[ТЕЛЕВ]ИЗИОННЫЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ КУРСЫ
[ДЛЯ] ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ

МОСКОВСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ФИЗИКА

Методическая разработка для слушателей телевизионных подготовительных курсов

МОСКВА 1977

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ТЕЛЕВИДЕНИЮ И РАДИОВЕЩАНИЮ

Совет ректоров высших учебных заведений г. Москвы

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Московские телевизионные подготовительные курсы
для поступающих в вузы

Давыдов В.И., Диденко А.Я., Качанов А.В.

ФИЗИКА

Методическая разработка для слушателей
телевизионных подготовительных курсов

Утверждено
редсоветом факультета "Т"

МОСКВА 1977

УДК 530.10 (075.4)

В.И.Давыдов, А.Я.Диденко, А.В.Качанов. Физика. Методическая разработка для слушателей телевизионных подготовительных курсов. М., Изд. МИФИ, 1977. 88 с.

Данная разработка является методическим указателем для слушателей физического отделения телевизионных подготовительных курсов для поступающих в вузы, содержит правила занятий, методические указания к выполнению домашних заданий и аннотации учебных телевизионных передач. В разработку включены типовые домашние задания с их решениями.

Редактор Н.Ф.Махаринская
Технический редактор Г.Н.Зайкина
Корректор Е.Н.Кочубей

Подписано в печать 20/XII-1977 г. Формат 60х84 1/16
Объем 5,25 п.л. Уч.-изд.л. 4 Цена 21 коп. Тираж 2500
Изд. № 028-2 Заказ 1658

Типография МИФИ, Каширское шоссе, д. 1

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Московские телевизионные подготовительные курсы созданы по инициативе Центрального телевидения Министерством высшего и среднего специального образования СССР в 1971 г. В настоящее время на курсах имеются отделения математики, физики и русского языка. Подготовку учебных телепередач и организацию занятий совместно с Главной редакцией научно-популярных и учебных программ Центрального телевидения осуществляет на отделениях математики и физики Московский инженерно-физический институт, на отделении русского языка – Московский государственный университет. В работе курсов принимают участие и другие вузы страны. Курирует работу телекурсов Совет ректоров высших учебных заведений г. Москвы.

Основная задача телевизионных курсов – оказание систематической помощи слушателям при подготовке к вступительным экзаменам в вузы. Занятия на курсах продолжаются в течение одного учебного года и состоят из двух циклов: основного и обзорно-консультационного[x)].

Методическая цель основного курса заключается в том, чтобы систематизировать знания слушателя, провести их в соответствие с требованиями, предъявляемыми на вступительных экзаменах, и способствовать выработке и закреплению навыков самостоятельной работы, необходимых как для дальнейшего успешного обучения в вузе, так и для будущей деятельности каждого специалиста, инженера, ученого.

---

x) Уточненное расписание занятий на каждую неделю публикуется в еженедельном обозрении программ Центрального телевидения и радиовещания "Говорит и показывает Москва".

В качестве основной формы занятий на телекурсах принята лекционная. Лекции читаются ведущими учеными и преподавателями московских вузов и сопровождаются демонстрацией экспериментов, физических приборов, различного иллюстративного материала: кинофрагментов, фотографий, рисунков, схем и т.п.

Для закрепления знаний слушателям регулярно предлагаются домашние задания, состоящие из задач, примеров и текстов различной трудности. Условия заданий публикуются в еженедельном обозрении программ Центрального телевидения и радиовещания "Говорит и показывает Москва". Как правило, задания соответствуют тематике лекций, в основу которых положена программа вступительных экзаменов. Выполнение некоторых заданий требует использования знаний, полученных в течение всего предшествующего периода занятий.

Присланные слушателями ответы на домашние задания проверяются преподавателями курсов. Результаты проверки сообщаются учащимся.

Кроме того, в течение года систематически проводятся контрольные опросы во время телепередач.

Постоянные слушатели приглашаются на очные собеседования с преподавателями (очные зачеты), проводимые в различных вузах Москвы и других городов. Во время очных зачетов учащиеся получают возможность проверить уровень своих знаний в условиях, близких к условиям вступительных экзаменов, таким образом проходят своеобразную психологическую подготовку. Слушателям, активно занимавшимся и успешно сдавшим зачеты, выдаются в конце учебного года свидетельства об окончании подготовительных телекурсов.

Обзорно-консультационный цикл проводится в июне-июле. На этих занятиях рассматриваются вопросы, вызвавшие наибольшие трудности у учащихся при изучении и повторении учебного материала.

Опыт работы курсов показывает, что слушатели, систематически занимающиеся в течение учебного года, успешно поступают в вузы страны и хорошо учатся. Так, из числа окончивших курсы в 1971–1975 гг. более 90% поступили и успешно обучаются в вузах.

ПРАВИЛА ПРИЕМА НА МОСКОВСКИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ КУРСЫ

На Московские телевизионные подготовительные курсы принимаются все желающие, как уже имеющие законченное среднее образование, так и учащиеся – выпускники школ, ПТУ и средних специальных учебных заведений. Прием на телекурсы проводится без конкурса.

Для зачисления слушатель должен прислать в адрес курсов в одном конверте "Анкету-заявление", "Регистрационную карточку" и четыре конверта со своим обратным адресом, один из них должен быть с почтовой маркой стоимостью 12 коп. В этих конвертах будут высланы методические указания и приглашения на зачеты.

"Анкета-заявление" оформляется на почтовой карточке. На лицевой стороне ее напишите свой адрес и номер телефона (домашнего или служебного). Обратная (чистая) сторона карточки заполняется ответами на вопросы анкеты, образец которой приводится ниже. Все записи следует делать параллельно узкой стороне карточки. Надпись "Анкета-заявление" делается на 1 см ниже края почтовой карточки. Далее ниже проставьте буквы, соответствующие отделениям, на которых собираетесь заниматься. Например, если вы предполагаете заниматься на всех отделениях, то проставьте три буквы, каждая из которых соответствует отделению: "Ф" – физики, "М" – математики, "Р" – русского языка. Ниже ответов на вопросы анкеты напишите текст заявления о приеме (см. образец "Анкеты-заявления") с перечислением выбранных вами отделений, поставьте подпись и дату.

"Регистрационная карточка" оформляется также на почтовой карточке. На лицевой стороне обязательно напишите свой адрес; чистую оформите так, как указано на образце. В левый верхний угол приклейте фотографию (размер 3 x 4 см). Надпись: "Регистрационная карточка" делается на 1 см ниже края почтовой открытки. Все записи выполняются параллельно узкой стороне. Для каждого отделения заполняется отдельная "Регистрационная карточка". В правом верхнем углу каждой карточки проставляется одна из букв "Ф", "М", "Р", соответствующая выбранному отделению.

В "Регистрационной карточке" указываются:

1. Фамилия, имя, отчество. 2. Номер школы, ПТУ или название среднего специального учебного заведения, в котором учились или учитесь; 3. Последняя годовая оценка, полученная в школе или среднем учебном заведении по предмету, соответствующему выбранному отделению. 4. Индекс почтового отделения. 5. Наименование вуза, в который собираетесь поступать.

На письмах с заявлениями в адрес курсов слушатель должен проставлять в левом верхнем углу конверта те же буквы ("Ф", "М", "Р"), что и в "Анкете–заявлении".

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

Перед выполнением домашних заданий следует предварительно ознакомиться со всеми указаниями, изложенными в данной методической разработке и приложениях к ней.

Кроме обязательных для выполнения домашних заданий, публикуемых в еженедельнике "Говорит и показывает Москва", слушателям рекомендуется разобрать задачи, указанные в списках литературы, приведенных в аннотациях телезанятий.

Для оперативной обработки корреспонденции и проверки результатов выполнения домашних заданий рекомендуется строго придерживаться правил оформления домашних заданий.

Результаты выполнения домашних заданий оформляются на почтовых карточках.

На лицевой стороне почтовой карточки в графах "куда" и "кому" напишите свой домашний адрес, свою фамилию, имя и отчество полностью; в графе "адрес отправителя" – адрес редакции. На обратной (чистой) стороне карточки выписываются ответы к задачам, примерам и текстам домашних заданий. Записи делаются параллельно широкой стороне открытки. Внизу следует оставить место для оценки.

Фото 3 x 4

№

Ф (индекс отделения)

РЕГИСТРАЦИОННАЯ КАРТОЧКА

1. Фамилия, имя, отчество
2. Год рождения
3. Место учебы (номер школы или ПТУ, если учитесь)
4. Последняя годовая оценка по физике в среднем учебном заведении
5. Ваш почтовый индекс
6. МИФИ (краткое название вуза, в который собираетесь поступать)

Подпись, дата

Образец оформления регистрационной карточки

№

АНКЕТА–ЗАЯВЛЕНИЕ

1. ФМР (индексы отделений)
2. Фамилия, имя, отчество
3. Род занятий (учусь, работаю)
4. МИФИ (краткое название вуза, в который собираетесь поступать)
5. Предполагаемая форма обучения в вузе (очное, вечернее, заочное)
6. Место работы, должность, стаж (если работаете)

Подпись, дата

Образец оформления анкеты–заявления

Образец оформления ответа на домашнее задание по физике

№ 8901* (шифр слушателя)

Ф ДЗ № 7 (номер домашнего задания)

№ п/п	Аналитическая формула ответа	Числовой ответ	Баллы	
1	$a = \frac{4\pi^2 R}{t}$	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$ м/с^2		
2	$t = \sqrt{\frac{2R}{a}}$	2,0 с		
3	$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$	$5{,}02 \cdot 10^{3}$ с		
4	$g_1 = g_n \frac{R^2}{(R+H)^2}$	3,2 м/с		
5	$L = \sqrt[3]{\frac{g_0 R^2 T^2}{4\pi^2}}$	$4{,}25 \cdot 10^{7}$ м		

Оценка

* Номер шифра указывается в присланном слушателю удостоверении.

Оформленная таким образом карточка с ответами вкладывается в конверт, который отправляется по адресу: 113162, Шаболовка 37, Московские подготовительные телекурсы. На конверте обязательно указывайте номер домашнего задания и проставляйте соответствующую букву "Ф", "М" или "Р". После проверки и оценки карточка возвращается слушателю.

Результаты выполнения домашних заданий и контрольных работ обобщаются сотрудниками курсов. Анализ часто встречающихся в ответах слушателей ошибок позволяет выяснить причины их появления и дать в передачах необходимые пояснения к заданиям, вызвавшим наибольшие затруднения. Кроме того, желательно, чтобы слушатель присылал в редакцию даже частично выполненные домашние работы, а также письменно сообщал о заданиях, которые не смог выполнить. Это даст преподавателям возможность своевременно корректировать программу занятий и методику изложения последующего учебного материала в целях повышения эффективности телеобучения.

В связи с вышеуказанным следует иметь в виду, что в течение года в тематическом плане телезанятий могут происходить некоторые изменения. Сроки отправления ответов следующие: две недели со дня публикации домашних заданий и контрольных работ; одна неделя со дня объявления по телевидению контрольного опроса.

В передачах, посвященным домашним заданиям, контрольным работам и контрольным опросам, слушателям сообщают полученные в результате статистической обработки ответов средние баллы, с которыми учащийся может сравнивать свою оценку.

Для самоконтроля слушателям рекомендуется вести график учета своей успеваемости, а также отмечать средние баллы по каждому домашнему заданию.

Рекомендуемая литература

Л-1. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика. Учебное пособие для 8-го класса средней школы. М., "Просвещение", 1976.

Л-2. Буховцев Б.Б., Мякишев Г.Я. Физика. Учебное пособие для 9-го класса средней школы. М., "Просвещение", 1976.

Л-3. Буховцев Б.Б., Мякишев Г.Я. Физика. Учебное пособие для 10-го класса средней школы. М., "Просвещение", 1976.

Л-4. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики т.1, II, III. М., "Высшая школа", 1973-1976.

Л-5. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. М., "Высшая школа", 1976.

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 1-4)

Занятие 1. ОПЕРАЦИИ НАД ВЕКТОРАМИ

Векторные и скалярные величины. Правила сложения и вычитания векторов. Теорема косинусов. Скалярное произведение векторов. Разложение векторов на составляющие. Проекции векторов на оси координат. Математические выражения в векторной форме и запись их в проекциях на оси координат.

Л-1. § 4-7; Л-4, т.1, § 23, 24.

Занятие 2. КИНЕМАТИКА

Механическое движение. Путь и перемещение. Равномерное прямолинейное движение. Скорость. Уравнение равномерного прямолинейного движения. Графики координаты и скорости равномерного прямолинейного движения. Сложение движений, происходящих вдоль одной прямой. Сложение движений, направленных под углом друг к другу.

Л-1. § 1-3, 8-12; Л-4, т. 1, § 1-13; Л-5. 1.2; 1.4; 1.6; 1.8; 1.12; 1.14; 1.16.

Занятие 3. КИНЕМАТИКА

Неравномерное движение. Средняя и мгновенная скорость. Равнопеременное движение. Ускорение. Уравнения равнопеременного движения. График скорости прямолинейного равнопеременного движения. Свободное падение тел. Движение тела, брошенного вертикально вверх.

Л-1. § 13-21; Л-4. т. 1, § 14-22, 53-55; Л-5. 1-19; 1.27; 1.31; 1.34; 1.39; 1.41; 1.47.

Занятие 4. КИНЕМАТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 1

Кинематика. Прямолинейное движение

Первые четыре занятия охватывают вопросы кинематики прямолинейного движения материальной точки. При работе над этим разделом необходимо освоить такие фундаментальные понятия, как путь, перемещение, скорость, ускорение. Особое внимание следует уделить формулировкам этих физических понятий. По окончании работы над этим разделом слушатель должен свободно владеть уравнениями кинематики в общем виде и уметь решить основную задачу кинематики: зная положение и скорость материальной точки в начальный момент времени и ускорение, определить ее положение в любой последующий момент.

Уравнения кинематики имеют вид:

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a}t;$$
$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2},$$

где $\vec{r}_0$ – радиус-вектор материальной точки в данной системе координат в начальный момент времени;
$\vec{V}_0$ – скорость материальной точки в начальный момент времени;
$\vec{a}$ – ускорение материальной точки;
$\vec{V}$ – скорость в момент времени t;
$\vec{r}$ – радиус-вектор, определяющий положение материальной точки в момент времени t.

Ниже предлагаются пять наиболее характерных задач этого раздела с краткими решениями. Обращаться к решениям необходимо после того, как вы убедились, что задача вызывает у вас серьезные трудности.

Прежде чем приступить к решению задач любого домашнего задания, необходимо прочитать условие и ясно представить физическое явление, о котором идет речь. Желательно, сделать чертеж или рисунок, поясняющий задачу. На чертеже указать стрелками все векторные величины. Затем сделать сокращенную запись условия задачи: все заданные величины с их численными значениями и единицами измерения выписываются в колонку, а внизу дописываются искомые величины.

Математическая связь между известными и искомыми величинами устанавливается на основании физических законов. Если запись производится в векторном виде, то следует выбрать удобную для решения задачи систему координат и осуществить переход к скалярным выражениям, спроектировав векторные величины на оси координат.

Ответ необходимо получить в виде аналитической формулы, приведенной к наиболее простой форме. Эту формулу полезно проверить по правилу размерности (размерность полученного выражения справа от знака равенства должна совпадать с размерностью величины, которую это выражение определяет).

Далее необходимо выполнить числовые расчеты, предварительно переведя все величины в одну систему измерения физических величин.

ЗАДАЧИ

1-1. Проплывая мимо пункта А вверх по течению реки, моторная лодка встретила плот. Через время $t_1 = 1$ ч после встречи мотор заглох. Ремонт продолжался в течение времени $t_2 = 20$ мин. За это время лодка свободно плыла по течению реки. После ремонта лодка пошла вниз по течению с прежней скоростью относительно воды и нагнала плот на расстоянии $L = 7$ км от пункта А. Найти скорость течения реки.

1-2. Лодка плывет вниз по течению реки по прямой, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к берегу. Найти минимальное значение величины скорости лодки относительно воды, если скорость течения реки $V_t = 2{,}5$ м/с.

1-3. Автомобиль начинает движение и, двигаясь равноускоренно, проезжает путь $S_1 = 50$ м за время $t_1 = 10$ с. Сколько времени от начала движения затратит автомобиль, чтобы пройти путь $S_2 = 450$ м?

1-4. Тело брошено вертикально вверх со скоростью $V_0 = 24{,}5$ м/с. Какой путь S прошло тело за время $t = 4$ с?

1-5. Из одной точки без начальной скорости свободно падают два предмета с интервалом $\tau = 3$ с. Через какое время после начала движения первого предмета расстояние между ними будет в $n = 3$ раза больше, чем оно было в момент начала движения второго предмета?

Решения

Задача № 1-1

$t_1 = 1$ час $= 3600$ с

$t_2 = 20$ мин $= 1200$ с

$L = 7$ км $= 7\cdot10^3$ м

$V = ?$

Решить удобнее всего в системе отсчета, связанной с движущимся плотом. В этой системе отсчета движение лодки происходило так: в течение времени t_1 лодка удалялась от плота, затем в течение времени t_2 была неподвижна и наконец за время t_2 приблизилась к плоту (так как двигалась с прежней скоростью относительно воды). За это время плот прошел расстояние L. Откуда скорость течения реки определяется следующим образом:

$$V = \frac{L}{2t_1 + t_2}; \quad V = 0{,}83\ \frac{м}{с}.$$

Задача № 1-2

$V = 2{,}5$ м/с

$\alpha = 30^\circ$

$V_л = ?$

В задаче дано направление скорости результирующего движения, направление и величина одного из слагаемых движений (рис. 1). Необходимо определить минимальное значение скорости второго движения.

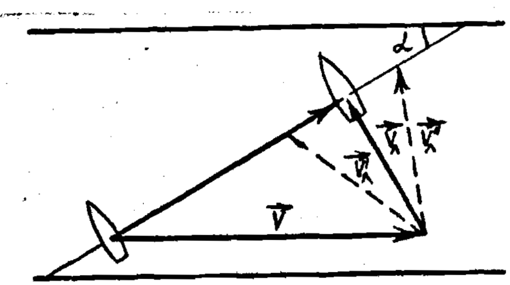


Рис. 1

Из рисунка видно, что вектор $V_\wedge$ направленный по нормали к направлению движения имеет минимальное значение ($V''_\wedge > V_\wedge$; $V'_\wedge > V_\wedge$). Поэтому

$$V_{\wedge мин} = V\sin\alpha, \quad V_{\wedge мин} = 1{,}3\ м/с.$$

Задача № 1-3

$S_1 = 50$ м

$t_1 = 10$ с

$S_2 = 450$ м

$\tau = ?$

Запишем уравнение равнопеременного движения

$$S_1 = \frac{a t_1^2}{2};$$

$$S_2 = \frac{a t^2}{2}.$$

Решая эту систему уравнений относительно t, получим

$$\tau = t = t_1\sqrt{\frac{S_2}{S_1}}; \quad \tau = t = 30 c.$$

Задача № 1-4

$V_0 = 24{,}5$ м/с

$t = 4$ с

$S = ?$

Уравнение движения имеет вид

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2},$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор материальной точки;

$\vec{r}_0$ – радиус-вектор материальной точки в начальный момент времени. Направим ось отсчета вертикально вверх, соединив начало оси с начальным положением тела. Тогда координата материальной точки определится уравнением

$$x = V_0 t - \frac{g t^2}{2}.$$

Однако пройденный путь может отличаться по величине от перемещения и от координаты.

Так как скорость определяется выражением $V = V_0 - g t$ и при $t = 4$ с скорость $V = -14{,}7$ м/с, то это значит, что тело поменяло направление вектора скорости на противоположное и движется вниз, пройдя наивысшую точку подъема. Так как $|V| < |V_0|$, то это говорит о том, что тело не достигло начального положения. Поэтому

$$S = H + |x|,$$

где H – максимальная высота подъема тела, причем $H = \frac{V_0^2}{2g}$.

Окончательно имеем

$$S = \frac{V_0^2}{g} - V_0 t + \frac{g t^2}{2}; \quad S = 42{,}0\ м.$$

Задача № 1-5

$\tau = 3$ с

$n = 3$

$t = ?$

Направим ось отсчета x сверху вниз и соединим начало отсчета с точкой, откуда начинают движение предметы. Тогда координата первого тела

$$x_1 = \frac{g t^2}{2},$$

координата второго тела

$$x_2 = \frac{g(t-\tau)^2}{2},$$

так как движение второго тела началось на время τ позже.

По условию задачи

$$n = \frac{x_2 - x_1}{\ell},$$

где $x_2 - x_1$ – расстояние между телами, а ℓ – путь, пройденный первым телом за время τ, причем $\ell = \frac{g\tau}{2}$.

Решая полученные уравнения относительно t, находим

$$t = \frac{\tau}{2}(n+1); \quad t = 6 c.$$

651

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 5–8)

Занятие 5. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Принцип инерции Галилея. Первый закон Ньютона. Взаимодействие тел. Сила. Масса. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона.

Л–1. § 28–32, 34–39; Л–4.т.1, § 30–48; Л–5. 2.1; 2.3; 2.10; 2.14; 2.17; 2.20.

Занятие 6. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Импульс материальной точки. Связь между изменением импульса и действующей силой. Система тел. Внутренние и внешние силы. Замкнутая система тел. Закон сохранения импульса.

Л–1. § 70–72; Л–4.т. 1, § 49–51; Л–5. 3.2; 3.6; 3.10; 3.16; 3.24; 3.27.

Занятие 7. ДИНАМИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Занятие 8. СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

Природа сил трения. Трение покоя и скольжения. Трение качения. Коэффициент трения. Деформация тел при взаимодействии. Упругие силы. Закон Гука. Сила тяжести.

Л–1. § 40, 41, 48–50; Л–4 т. 1, § 58–68; Л–5. 2.23; 2.24; 2.25; 2.26; 2.29; 2.32; 2.46.

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 2

Динамика материальной точки

Занятия 5, 6 и 7 посвящены динамике материальной точки. Важнейшими физическими понятиями этого раздела являются инерциальные системы отсчета, сила, масса тела, импульс материальной точки, замкнутая система тел.

Следует отчетливо представить себе, в чем состоит основная задача динамики и чем она отличается от основной задачи кинематики.

Зная силы, действующие на материальную точку, можно определить ускорение, а зная начальные условия, – определить и траекторию движения тела, координату и скорость в заданный момент времени

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m};$$

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a}\,t;$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{\vec{a}\,t^2}{2},$$

где $\Sigma\vec{F}$ – равнодействующая всех сил, действующих на материальную точку.

Силы трения и силы упругости, которые разбирают на 8-м занятии, являются двумя видами сил, имеющими место при взаимодействии тел, и определяют (вместе с силой тяготения в механике) силы, действующие на материальную точку.

При решении задач этого раздела рекомендуем слушателям придерживаться следующей последовательности действий, отражающей основные этапы, общие для решения задач динамики:

1. Прочитать условие задачи и выяснить начальные условия движения тел;

2. Схематически изобразить систему материальных точек или тел, движения которых рассматриваются в задаче; проанализировать взаимодействие тел.

3. Определить и изобразить на чертеже силы, действующие на каждое тело системы, помня, что сила – результат взаимодействия тел.

4. Выбрать систему координат.

5. Записать второй закон Ньютона для каждого из те системы.

6. Дополнить при необходимости полученную систему ура нений уравнениями кинематики, следующими из условия задач

7. Решить полученную систему уравнений относительн искомой величины.

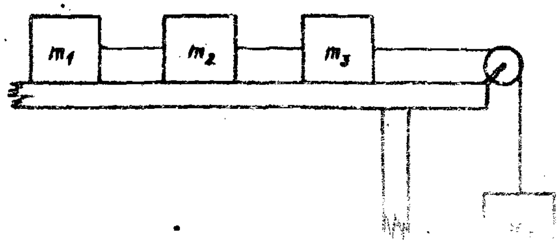
З А Д А Ч И

2-1. Тело массой $m_1 = 2{,}0$ кг, находящееся на накло ной плоскости, соединено нитью, перекинутой через блок, с те лом массой $m_2 = 3{,}0$ кг. Определить натяжение нити при дви жении грузов, если наклонная плоскость образует угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом. Трение отсутствует. Нить невесомая и нерастя жимая.

2-2. Стальной шарик массой $m = 3{,}0$ г свободно па дает с высоты $H_1 = 1{,}5$ м на горизонтальную плиту и под скакивает после удара на высоту $H = 1{,}0$ м. Чему равна ве личина изменения импульса шарика при ударе?

2-3. Снаряд, летящий горизонтально со скоростью $V_1 = 480$ м/с, разорвался на две части равной массы. Одна час полетела вертикально вверх со скоростью $V_2 = 400$ м/с от носительно земли. Определить величину скорости второй част

2-4. На горизонтальной поверхности стола находятся т тела массой соответственно $m_1 = 1{,}0$ кг, $m_2 = 2{,}0$ кг, $m_3 = 3{,}0$ кг, связанные между собой и с телом массой $m_4 = 4{,}0$ нитью, перекинутой через блок, как показано на рис. 2.



Найти натяжение нити между вторым и третьим телом, если коэффициент трения скольжения тел о поверхность стола $\mu = 0{,}20$.

2-5. Тело удерживается нитью на наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтом. Каково отношение максимальной и минимальной сил натяжения нити, при которых тело покоится? Нить параллельна наклонной плоскости, коэффициент трения $\mu = 0{,}20$.

Р е ш е н и я

Задача № 2-1

$m_1 = 2{,}0$ кг

$m_2 = 3{,}0$ кг

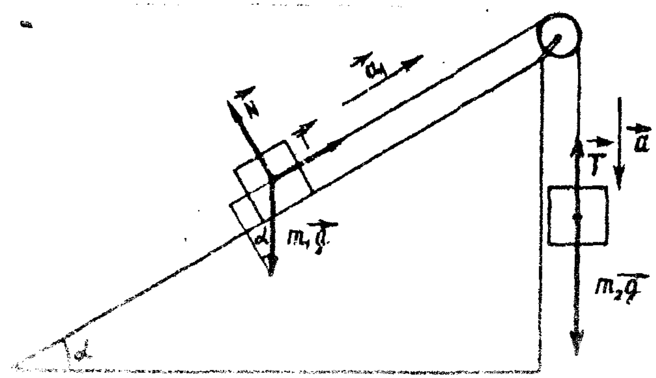
$\alpha = 30^\circ$

$T = ?$

На чертеже (рис. 3) пометим все силы, действующие на тела, и укажем возможное направление движения тел с помощью векторов $\vec{a}_1$ и $\vec{a}_2$. Спроектируем все силы на направление движения каждого из тел и запишем уравнения динамики, учитывая, что $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$. Получим систему уравнений

$$T - m_1 g \sin\alpha = m_1 a;$$

$$m_2 g - T = m_2 a.$$



Решая систему уравнения относительно T, получим

$$T = g\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1+m_2}(1+\sin\alpha);\quad T = 18\,H.$$

Задача № 2-2

$m_1 = 3{,}0$ г

$H_1 = 1{,}5$ м

$H_2 = 1{,}0$ м

$|\Delta m\vec{V}| = ?$

Изменение импульса шарика определяется соотношением

$$\Delta m\vec{V} = m\vec{V}_2 - m\vec{V}_1.$$

Проектируя векторное равенство на направление $\vec{V}_2$, получим скалярное равенство

$$|\Delta m\vec{V}| = mV_2 + mV_1.$$

В правой части равенства стоит сумма, так как векторы $\vec{V}_1$ и $\vec{V}_2$ направлены в противоположные стороны. Величины векторов определяются соотношениями

$$V_1 = \sqrt{2gH_1};\quad V_2 = \sqrt{2gH_2}.$$

Используя эти соотношения, получим

$$|\Delta m\vec{V}| = m\sqrt{2g}(\sqrt{H_1}+\sqrt{H_2});\quad |\Delta m\vec{V}| = 3\cdot 10^{-2}\,Hc.$$

Задача № 2-3

$V_1 = 480$ м/с

$V_2 = 400$ м/с

$V = ?$

Запишем закон сохранения импульса для рассматриваемых тел.

До соударения тел импульс снаряда был равен $m\vec{V}_1$, после разрыва – равен сумме импульсов осколков $\frac{m}{2}\vec{V}_2 + \frac{m}{2}\vec{V}$. По закону сохранения импульса системы тел

$$m\vec{V}_1 = \frac{m}{2}(\vec{V}_2 + \vec{V}).$$

Причем вектор $m\vec{V}_1$ должен быть диагональю параллелограмма, построенного на векторах $\frac{m\vec{V}}{2}$ и $\frac{m\vec{V}_2}{2}$ (рис. 4).

Так как угол между векторами $\frac{m\vec{V}_2}{2}$ и $m\vec{V}$ равен 90°, используем теорему Пифагора:

$$\frac{m^2V^2}{4} = \frac{m^2V_2^2}{4} + m^2V_1^2.$$

Откуда

$$V = \sqrt{4V_1^2 + V_2^2};\quad V = 1040\ м/с.$$

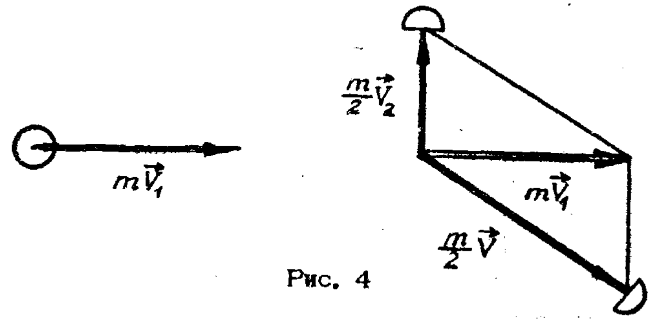


Рис. 4

Задача № 2-4

$m_1 = 1{,}0$ кг

$m_2 = 2{,}0$ кг

$m_3 = 3{,}0$ кг

$m_4 = 4{,}0$ кг

$\mu = 0{,}2$

$T_{23} = ?$

Силы, действующие на тела, показаны на рис. 5. Причем сила трения $F_{тр_1} = \mu N_1$, а так как $N_1 = mg$, то $F_{тр_1} = \mu m_1 g$. Аналогично $F_{тр_2} = \mu m_2 g$, $F_{тр_3} = \mu m_3 g$. Пренебрегая взаимодействием нити с блоком, запишем уравнения динамики для каждого тела

$$T_{12} - \mu m_1 g = m_1 a;\quad T - T_{23} - \mu m_3 g = m_3 a;$$

$$T_{23} - T_{12} - \mu m_2 g = m_2 a;\quad m_4 g - T = m_4 a.$$

Решая систему уравнений, найдем

$$T_{23} = m_4 g\frac{(\mu+1)(m_1+m_2)}{m_1+m_2+m_3+m_4};\quad T_{23} = 14{,}1\,H.$$

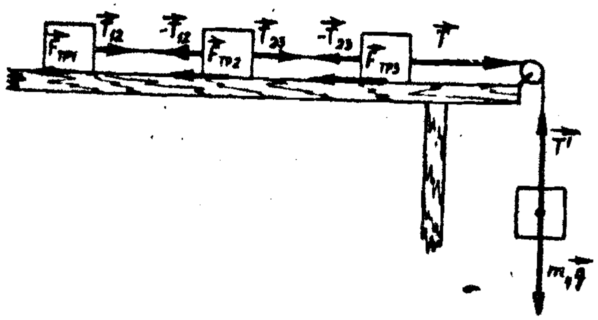


Рис. 5

Задача № 2-5

$\alpha = 45^\circ$

$\mu = 0{,}20$

$\frac{T_{макс}}{T_{мин}} = ?$

Рассмотрим два случая:

1. Тело движется равномерно вверх по наклонной плоскости. В этом случае так же, как и в покое

$$\vec{F}_{тр} + \vec{N} + \vec{T} + m\vec{g} = 0.$$

Причем $F_{тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$. Этот случай соответствует максимальному значению силы трения покоя и максимальному значению силы натяжения нити в состоянии покоя тела, так как сила натяжения уравновешивается суммой силы трения и составляющей силы тяжести на направление движения (рис. 6)

$$T_{макс} = \mu mg\cos\alpha + mg\sin\alpha.$$

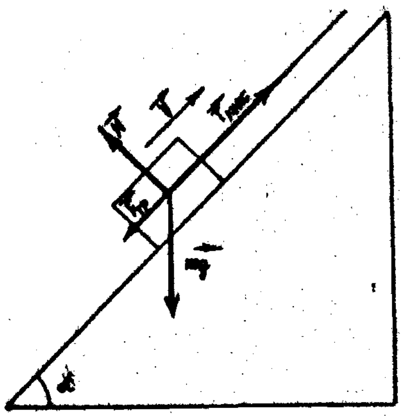


Рис. 6

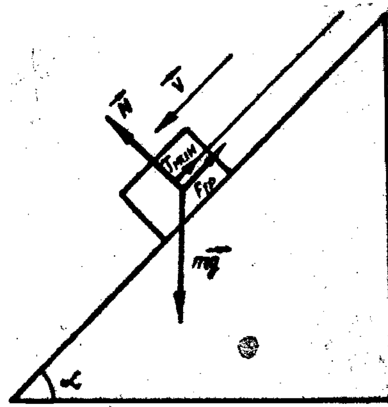


Рис. 7

2. Тело движется равномерно вниз. В этом случае натяжение нити будет минимальным, так как сила натяжения уравновешивается разностью между составляющей силы тяжести и силой трения (рис. 7)

$$T_{мин} = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha.$$

Окончательно

$$\frac{T_{макс}}{T_{мин}} = \frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}; \qquad \frac{T_{макс}}{T_{мин}} = 1{,}50$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 9-12)

З а н я т и е 9. РАБОТА. МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

Механическая работа. Мощность. Коэффициент полезного действия. Энергия. Потенциальная и кинетическая энергия. Связь между механической работой и энергией тела. Взаимное превращение потенциальной и кинетической энергии. Потенциальная энергия упруго деформированного тела.

Л-1. § 73-75, 80, 82-84; Л-4.т. 1, § 86-94, 96 - 100; Л-5. 4.3; 4.6; 4.9; 4.12; 4.16; 4.18; 4.20; 4.21.

З а н я т и е 10. ДИНАМИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

З а н я т и е 11. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Закон сохранения механической энергии. Абсолютно упругий удар. Абсолютно неупругий удар. Совместное применение законов сохранения импульса и энергии в механике.

Л-1. § 87, 88, 91; Л-4.т. 1, § 101-105; Л-5. 5.9; 5.28; 5.31; 5.33; 5.37; 5.39.

З а н я т и е 12. ДИНАМИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 3

Работа. Мощность. Энергия. Законы сохранения

Этот раздел насыщен важнейшими физическими понятиями и определениями физических величин. Формулы, количественно определяющие такие физические величины, как работа, мощность, энергия кинетическая и потенциальная, хорошо запоми-наются. Однако абитуриенты совершают часто ошибки при ре-шении задач данного раздела. Во избежание этого необходим ясно представить себе, какие силы совершают работу, над ка-ким телом и на что идет эта работа.

Усвоение закона сохранения механической энергии вызы-вает большие трудности из-за того, что иногда забывают ил недостаточно понимают, что он справедлив для замкнутых си-стем и только в том случае, когда между телами действую консервативные силы – силы гравитации и силы упругости (т. отсутствуют силы трения).

З А Д А Ч И

3–1. Какую работу совершает сила $F = 40$ Н за врем $t = 8{,}0$ с, поднимающая с земли вертикально вверх груз мас-сой $m = 2{,}0$ кг?

3–2. Вверх по наклонной плоскости от ее нижнего кра начинает двигаться тело с начальной скоростью $V_0 = 10$ м/с. На каком расстоянии от нижнего края плоскости кинетическа энергия тела уменьшится в два раза? Коэффициент трения ме-жду телом и плоскостью $\mu = 0{,}60$, угол наклона плоскост к горизонту $\alpha = 60^\circ$.

3–3. Два тела массой $m_1 = 2{,}0$ кг и $m_2 = 1{,}5$ кг подвешены на нитях в одной точке. Второе тело отвели в сто-рону, так, что угол между нитями стал равен $\alpha = 60^\circ$, и о пустили. На какой угол от вертикали отклонятся тела пос удара, если удар абсолютно неупругий?

3–4. При центральном абсолютно неупругом ударе шаро массой $m_1 = 0{,}50$ кг и $m_2 = 2{,}0$ кг, двигавшихся навстре друг другу с одинаковыми скоростями, в тепло перешла эне-гия $Q = 160$ Дж. Найти величину скорости шаров до удара.

3–5. Автомобиль массой $M = 1500$ кг начинает подни-маться равноускоренно по наклонной дороге. В конце подъем скорость автомобиля $V = 15$ м/с. Определить среднюю мо-ность, развиваемую мотором автомобиля, если время подъем $t = 15$ с, коэффициент трения при движении $\mu = 0{,}10$, на-клон дороги к горизонту $\alpha = 20^\circ$.

Р е ш е н и я

Задача № 3-1

$F = 40$ Н
$t = 8{,}0$ с
$m = 2{,}0$ кг

$A = ?$

Так как сила постоянна, то работа определяется соотношением $A = FS$, где путь $S = \frac{at^2}{2}$.

Ускорение определяется из уравнения динамики $F - mg = ma$

или $a = \frac{F}{m} - g$.

Откуда $A = F\frac{t^2}{2}\left(\frac{F}{m} - g\right)$; $A = 13{,}1 \cdot 10^3$ Дж.

Задача № 3-2

$V_0 = 10$ м/с
$\mu = 0{,}6$
$\alpha = 60^\circ$
$\frac{K_2}{K_1} = n = 0{,}5$

$\ell = ?$

Кинетическая энергия идет на работу против силы трения (на увеличение внутренней энергии) и на увеличение потенциальной энергии тела. При прохождении пути ℓ вдоль наклонной плоскости работа против силы трения равна $F_{тр}\ell = \mu mg\ell\cos\alpha$, увеличение потенциальной энергии тела равно $mg\ell\sin\alpha$. Поэтому кинетическая энергия на расстоянии от нижнего края плоскости равна

$$K_2 = K_1 - \mu mg\ell\cos\alpha - mg\ell\sin\alpha,$$

где $K_1 = \frac{mV_0^2}{2}$.

Учитывая, что $\frac{K_2}{K_1} = n = 0{,}5$, получим

$$\ell = \frac{(1-n)V_0^2}{2g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}; \quad \ell = 2{,}16 \text{ м}.$$

Задача № 3-3

$m_1 = 2{,}0$ кг
$m_2 = 1{,}5$ кг
$\alpha = 60^\circ$

$\beta = ?$

Тело 2 вначале имеет потенциальную энергию mgh. Значит в нижней точке траектории перед ударом оно имело скорость

$$V = \sqrt{2gh}.$$

Запишем закон сохранения импульса в проекциях на направление вектора $\vec{V}$

$$m_2V=(m_1+m_2)V'.$$

Используя равенства (см. рис. 8)

$$V'=\sqrt{2gh'}\ ;\quad h'=\ell(1-\cos\beta),$$

получим

$$\beta=\arccos\frac{m_1^2+2m_1m_2+m_2^2\cos\alpha}{(m_1+m_2)^2}\ ;\ \beta=25^\circ.$$

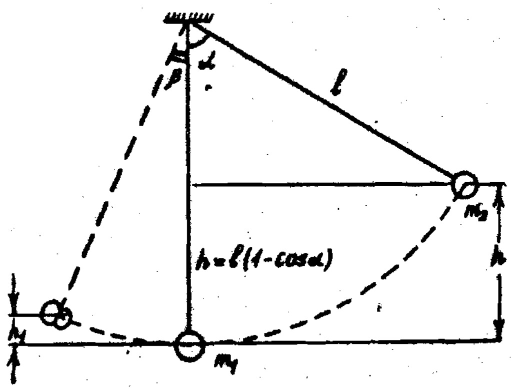


Рис. 8

Задача № 3-4

$m_1 = 0{,}50$ кг

$m_2 = 2{,}0$ кг

$Q = 160$ Дж

$V = ?$

Запишем закон сохранения импульса в проекциях на направление скорости тела 2 (см. рис. 8)

$$m_2V-m_1V=(m_1+m_2)V'.$$

Кинетическая энергия тел до удара

$K'=\frac{m_1+m_2}{2}V^2$, после удара

$$K''=\frac{m_1+m_2}{2}(V')^2=\frac{(m_2-m_1)^2}{2(m_1+m_2)}V^2.$$

При этом в тепло перешла энергия $Q=K'-K''$. Откуда

$$V=\sqrt{\frac{Q(m_1+m_2)}{2m_1m_2}}\ ;\quad V=14\ м/с.$$

Задача № 3-5

$M = 1500$ кг

$V = 15$ м/с

$t = 15$ с

$\mu = 0{,}10$

$\alpha = 20^\circ$

$N = ?$

По определению мощность равна $N=\frac{A}{t}$, где A – работа, совершаемая телом за время t. Работа мотора идет на увеличение кинетической и потенциальной энергии автомобиля и на преодоление сил трения.

$$A=\frac{MV^2}{2}+Mgh+S\mu Mg\cos\alpha.$$

Путь, пройденный автомобилем при равноускоренном движении за время t, равен $S=\frac{Vt}{2}$.

Учитывая, что высота подъема h связана с S соотношением $h=S\sin\alpha$, получим

$$N=\frac{MV^2}{2t}+Mg\frac{V}{2}(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)\ ;\ N=58{,}7\cdot10^3\ Вт.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 13–16)

Занятие 13. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

Линейная и угловая скорость. Центростремительное ускорение. Второй закон Ньютона в применении к движению по окружности.

Л-1. § 24-26, 36; Л-4. т.1, § 115-117, 122; Л-5. 6.6; 6.10; 6.13; 6.16; 6.28; 6.33; 6.37; 6.38; 6.43.

Занятие 14. ДИНАМИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

З а н я т и е 15. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Сила тяжести и вес. Первая космическая скорость. Невесомость.

Л-1. § 42-45, 57, 58; Л-4. т.1, § 123-130; Л-5.7.2; 7.3; 7.16; 7.19; 7.21; 7.24.

З а н я т и е 16. ДИНАМИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 4

Криволинейное движение. Закон всемирного тяготения

При работе над этим разделом необходимо обратить внимание на то, что движение тела, брошенного под углом к горизонту, есть равноускоренное движение с ускорением свободного падения и подчиняется уравнениям кинематики, приведенным в комментариях к первому типовому ДЗ.

Слушатель должен научиться записывать векторные уравнения кинематики в виде скалярных уравнений, спроектировав все векторные величины на оси выбранной системы координат.

Равномерное движение по окружности - это движение с ускорением, направленным перпендикулярно скорости. Нужно также обратить внимание на то, что равнодействующая всех сил, сообщающая телу центростремительное ускорение, не совершает работы.

З А Д А Ч И

4-1. Тело, летящее горизонтально на высоте $H = 19{,}6$ м над поверхностью земли со скоростью $V = 9{,}8$ м/с, разрывается на две части равной массы. Одна часть летит после разрыва вертикально вниз, другая - под углом $\alpha = 45^\circ$ к первоначальному направлению полета. Каково расстояние между точками падения обеих частей на землю?

4-2. Два тела одновременно с одинаковыми скоростями $V = 30$ м/с вылетают из одной точки так, что траектории их движения находятся в одной плоскости. Угол вылета первого тела $\alpha_1 = 20^\circ$ к горизонту, угол вылета второго тела $\alpha_2 = 65^\circ$ к горизонту. Каково расстояние между телами через время $t = 1{,}5$ с полета?

4-3. Происходит абсолютно упругое нецентральное столкновение двух одинаковых гладких шаров, один из которых до удара покоился. Определить угол между направлениями их скоростей после удара.

4-4. Обруч радиусом $R = 0{,}20$ м начинает скатываться без проскальзывания с наклонной плоскости на горизонтальную поверхность. В начальный момент движения высота центра обруча над горизонтальной поверхностью равна $h = 10$ м. С какой скоростью обруч будет катиться по горизонтальной поверхности? Трением качения пренебречь.

4-5. Однородная шарообразная планета вращается вокруг своей оси с угловой скоростью $\omega = 0{,}73 \cdot 10^{-4}$ рад/с. Вес тела, определенный на пружинных весах, на поверхности этой планеты оказывается на полюсе на $\frac{\Delta P}{P} = 0{,}34\%$ больше, чем на экваторе. Найти плотность планеты.

Р е ш е н и я

Задача № 4-1

$H = 19{,}6$ м

$V = 9{,}8$ м/с

$\alpha = 45^\circ$

$S = ?$

Скорости осколков V_1 и V_2 определяются из закона сохранения импульса. Выберем систему координат, начало которой находится на земле под точкой разрыва тела. Ось y направлена вверх, а ось x направлена вправо параллельно поверхности земли.

Тогда координаты осколков будут определяться выражениями

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= 0; \\ y_1 &= H - V_1 t - \frac{gt^2}{2}, \end{aligned}\right\}$$

$$x_2 = V_2 \cos\alpha\, t\,; \quad y_2 = H + V_2 \sin\alpha\, t - \frac{gt^2}{2}.$$

Время полета второго тела определяется условием $y_2 = 0$. Первое тело не перемещалось вдоль оси x. Подставляя полученное время полета t_2 в выражение для x_2, найдем искомую величину

$$S = \frac{2V}{g}\left(2Vtg\alpha + \sqrt{4V^2 tg^2\alpha + 2gH}\right); \quad S = 95\,м.$$

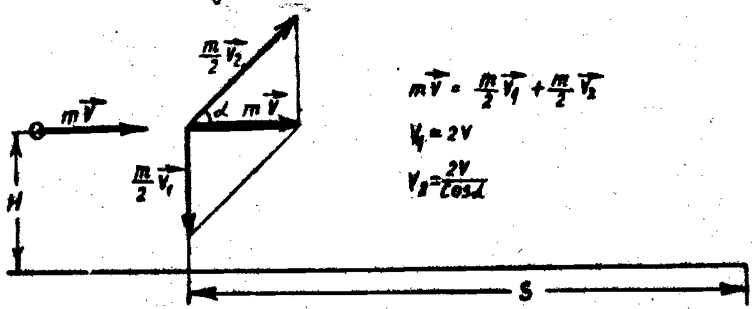


Рис. 9

Задача № 4-2

$V = 30$ м/с
$\alpha_1 = 20^\circ$
$\alpha_2 = 65^\circ$
$t = 1{,}5$ с

r = ?

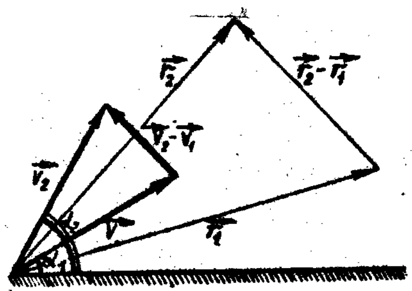


Рис. 10

Положения тел определим радиусами-векторами, проведенными из точки полета тел

$$\vec{r_1} = \vec{V_1} t + \frac{\vec{g}t^2}{2};$$

$$\vec{r_2} = \vec{V_2} t + \frac{\vec{g}t^2}{2}.$$

Откуда расстояние между телами $r = |\vec{r_2} - \vec{r_1}|$.

$$\vec{r} = \vec{r_2} - \vec{r_1} = (\vec{V_2} - \vec{V_1})t.$$

Из равнобедренного треугольника со сторонами $\vec{V_2}$ и $\vec{V_1}$ (см. рис. 10) и углом при вершине $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ находим величину относительной скорости. Окончательно получаем:

$$r = 2Vt\sin\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right), \quad r = 34\,м.$$

Задача № 4-3

$m_1 = m_2$,

φ = ?

Запишем закон сохранения импульса (рис. 11):

$$m\vec{V} = m\vec{V_1} + m\vec{V_2}$$

и закон сохранения кинетической энергии

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2}.$$

Откуда

$$\vec{V} = \vec{V_1} + \vec{V_2};$$

$$V^2 = V_1^2 + V_2^2,$$

что возможно лишь тогда, когда $\varphi = 90^\circ$.

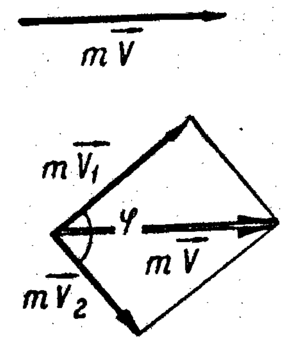


Рис. 11

Задача № 4-4

$R = 0{,}20$ м
$h = 10$ м

V = ?

Кинетическая энергия обруча на горизонтальной плоскости будет равна его потенциальной энергии в начале движения $E_к = E_п = mg(h-R)$, так как обруч по вертикали перемещается на величину $(h-R)$.

Кинетическая энергия будет складываться из энергии поступательного движения $\frac{mV^2}{2}$ и кинетической энергии вращения обода вокруг оси $\frac{mV^2}{2}$ (скорость поступательного движения равна линейной скорости движения точек обруча относительно центра)

$$mV^2 = mg(h-R);$$

$$V = \sqrt{g(h-R)}\,, \quad V = 9{,}8 \text{ м/с}.$$

Задача № 4-5

$\omega = 0{,}73 \cdot 10^{-4}$ рад/с

$\frac{\Delta P}{P} = 0{,}34\% = 3{,}4 \cdot 10^{-3}$

$\rho = ?$

На полюсе тело весит

$$P_п = \gamma \frac{mM}{R^2}.$$

На экваторе $- P_э = \gamma \frac{mM}{R^2} - m\omega^2 R$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{P_п - P_э}{P_э}.$$

Откуда находим

$$\rho = \frac{3(1+\Delta)}{4\pi\Delta\gamma}\omega^2, \quad \rho = 5{,}6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 17-20)

З а н я т и е 17. СТАТИКА. УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ

Момент силы. Два правила статики: условие равновесия тела при отсутствии вращения, условие равновесия тела с закрепленной осью вращения. Момент пары сил. Центр тяжести. Равновесие тел в поле силы тяжести.

Л-1. § 65-69; Л-4. т.1, § 69-83; Л-5. 8.8; 8.13; 8.16; 8.21; 8.28; 8.30; 8.37; 8.42.

З а н я т и е 18. СТАТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

З а н я т и е 19. ГИДРОСТАТИКА

Давление. Закон Паскаля. Силы давления жидкости на дно и стенки сосуда. Архимедова сила. Сообщающиеся сосуды.

Л-4. т.1, § 138-178; Л-5. 10.3; 10.5; 10.10; 10.14; 10.16; 10.20; 10.31; 10.35; 10.37.

З а н я т и е 20. ГИДРОСТАТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 5

Статика. Гидростатика

Работая над данным разделом, обратите внимание на то, что здесь имеем дело с протяженными твердыми телами, так что теперь силы, действующие на тела, характеризуются не только величиной и направлением, но и точкой приложения. Необходимо уяснить, в каких случаях возможен перенос силы и как он осуществляется.

При решении задач раздела "Статика" следует пользоваться условиями равновесия. Первое условие: векторная сумма всех действующих сил равна нулю – не всегда является достаточным для анализа статического равновесия тела. В тех случаях, когда тело может вращаться вокруг неподвижной (закрепленной) оси следует использовать второе условие равновесия: сумма моментов сил, вращающих тело вокруг оси, равна нулю. При этом моменты, приводящие во вращение тело по часовой стрелке и против, берутся с разными знаками.

Вопросы в разделе "Гидростатика" решаются с использованием закона Паскаля и понятий гидростатического давления и силы Архимеда.

З А Д А Ч И

5-1. Однородная балка длиной $L = 6{,}0$ м одной частью (длиной $\ell = 1{,}0$ м) лежит на горизонтальной платформе.

Остальная часть балки свешивается с платформы. Балка удерживается в равновесии в горизонтальном положении вертикальной силой, приложенной к концу свешивающейся части балки. Найти отношение максимального значения этой силы к ее минимальному значению.

5–2. Однородный цилиндр массой $M = 10$ кг удерживается в равновесии на наклонной плоскости нитью, намотанной на цилиндр и направленной вверх параллельно наклонной плоскости. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30^\circ$. Проскальзывание отсутствует. Найти силу натяжения нити.

5–3. На вращающемся горизонтальном столике на расстоянии $R = 0{,}50$ м от оси вращения лежит груз массой $m = 1$ кг. Коэффициент трения между грузом и поверхностью стола $\mu = 0{,}25$. Какова величина силы трения, удерживающей груз, если столик делает $n = 12$ об/мин?

5–4. Медный цилиндр с образующей длиной $\ell = 0{,}20$ м плавает в ртути так, что его образующая вертикальна. Поверх ртути наливают слой масла высотой $h = 0{,}30$ м. Определить гидростатическое давление на нижнее основание цилиндра. Плотность меди $\rho_1 = 8{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3; ртути – $\rho_2 = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3; масла – $\rho_3 = 0{,}80 \cdot 10^3$ кг/м^3.

5–5. Аэростат, заполненный гелием, начинает подниматься вертикально вверх и за время $t = 25$ с достигает высоты $H = 50$ м. Объем аэростата $V = 200$ м^3, масса оболочки и гондолы $m = 50$ кг. Определить среднюю силу сопротивления воздуха, считая ее независимой от скорости аэростата. Плотность гелия $\rho_1 = 0{,}18$ кг/м^3, воздуха – $\rho_2 = 1{,}3$ кг/м^3.

Решения

Задача № 5–1

$L = 6{,}0$ м

$\ell = 1{,}0$ м

$\dfrac{F_{макс}}{F_{мин}} = ?$

Максимальное значение силы определяется равенством моментов относительно точки А (рис. 12), так как при дальнейшем увеличении силы F балка будет поворачиваться вокруг оси, проходящей через эту точку

$$F_{макс} L = mg\frac{L}{2}.$$

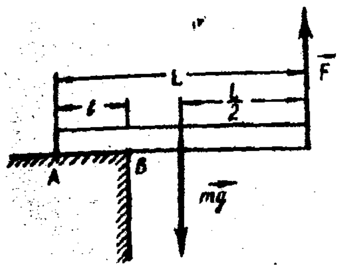


Рис. 12

Минимальное значение определяется соотношением

$$F_{мин}(L-\ell) = mg\left(\frac{L}{2}-\ell\right),$$

так как при дальнейшем уменьшении силы F балка будет вращаться вокруг оси, проходящей через точку В. Отсюда

$$\frac{F_{макс}}{F_{мин}} = \frac{L-\ell}{L-2\ell}; \quad \frac{F_{макс}}{F_{мин}} = 1{,}25.$$

Задача № 5–2

$M = 10$ кг

$\alpha = 30^\circ$

$T = ?$

Запишем условие равенства суммы моментов нулю относительно точки касания А (рис. 13):

$$mgR\sin\alpha = T \cdot 2R.$$

Откуда

$$T = \frac{mg\sin\alpha}{2}; \quad T = 25\,Н.$$

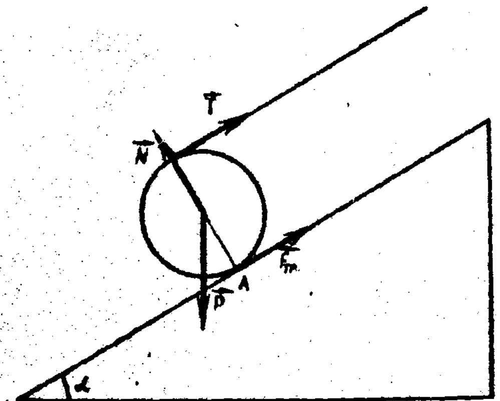


Рис. 13

Задача № 5–3

$R = 0{,}5$ м

$P = 9{,}8$ Н

$\mu = 0{,}25$

$n = 12$ об/мин

$F_{тр} = ?$

Задача решается с помощь уравнений динамики, несмотря на то что груз покоится на вращающемс диске. Относительно неподвижног наблюдателя груз вращается с цент ростремительным ускорением $a_ц = \frac{V^2}{R}$. Это ускорение сообщаетс силой трения $F_{тр}$, удерживающе груз на диске.

По второму закону Ньютона

$$F_{тр} = \frac{mV^2}{R}.$$

Используя условия задачи, можно записать:

$$V = 2\pi R n.$$

Откуда

$$F_{тр} = 4\pi^2 n^2 Rm; \quad F_{тр} = 0{,}79 Н.$$

Задача № 5–4

$\ell = 0{,}20$ м

$h = 0{,}30$ м

$\rho_1 = 8{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3

$\rho_2 = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3

$\rho_3 = 0{,}8 \cdot 10^3$ кг/м^3

$P = ?$

Давление в ртути на уровне основания цилиндра равно (рис. 14)

$$P = \rho_3 g h + \rho_2 g h_1.$$

Атмосферное давление при этом не учитываем.

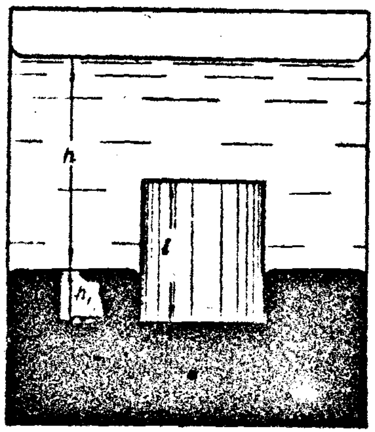


Рис. 14

Условие плавания цилиндра имеет вид

$$\rho_1 V g = h_1 S \rho_2 g + (\ell - h_1) S \rho_3 g.$$

Учитывая, что объем цилиндра $V = \ell S$, получим

$$\rho_1 \ell = h_1 \rho_2 + (\ell - h_1)\rho_3.$$

Отсюда находим h_1 и окончательно давление

$$P = g\left(\ell \frac{\rho_1 - \rho_3}{\rho_2 - \rho_3} \rho_2 + h\rho_3\right); \quad P = 4{,}0 \cdot 10^3 Па.$$

Задача № 5–5

$t = 25$ с

$H = 50$ м

$V = 200$ м^3

$m = 50$ кг

$\rho_1 = 0{,}18$ кг/м^3

$\rho_2 = 1{,}3$ кг/м^3

$F_c = ?$

Предполагая движение аэростата равноускоренным, запишем уравнение кинематики

$$H = \frac{at^2}{2}.$$

Откуда ускорение

$$a = \frac{2H}{t^2}.$$

Это ускорение сообщается силой равной $F = ma = m\frac{2H}{t^2}$, являющейся равнодействующей сил: F_A – силы Архимеда, $F_A = (\rho_2 - \rho_1)Vg$; F_c – средней силы сопротивления воздуха; mg – силы тяжести

$$F = F_A - F_c - mg.$$

Откуда

$$F_c = g\left[V(\rho_2 - \rho_1) - m\right] - \frac{2H}{t^2}(m + V\rho_1);$$

$$F_c = 1690 Н.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 21-23)

Занятие 21. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Основные положения молекулярно-кинетической теории. Броуновское движение. Движение молекул в газах, жидкостях и твердых телах. Взаимодействие молекул. Температура.

Л-2. § 1-11, 29, 55-57; Л-4. т.1, § 195-201, 213 - 220. Л-5. 11.4; 11.6; 11.8; 12.3; 12.8.

Занятие 22. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

Идеальный газ. Величины, характеризующие состояние газа. Уравнение состояния. Законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака и Шарля. Абсолютная шкала температур. Объединенный газовый закон. Уравнение состояния идеального газа.

Л-2 § 12-20, 30-35; Л-4. т.1, § 221-247; Л-5 11.7; 12.7; 12.22; 12.27; 12.28; 12.31; 12.35; 12.49; 12.56.

Занятие 23. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 6

Газовые законы. Тепловое расширение тел

Домашние задания этого раздела представляют собой ряд задач по расчету теплового расширения твердых тел и расчету параметров состояния идеального газа. При решении задач следует помнить порядок величины линейного коэффициента температурного расширения α равного $10^{-5}\,K^{-1}$, а также связь между объемным и линейным коэффициентом теплового расширения $\beta = 3\alpha$.

Необходимо помнить и законы механики. Особенно существенно это при решении задач, подобных 4-й и 5-й. По существу, это задачи по механике. В 4-й задаче удар атомов о поверхность является неупругим, и они полностью передают свой импульс поверхности при ударе.

ЗАДАЧИ

6-1. Цилиндрический металлический стержень с площадью основания $S = 10$ см^2 и длиной $L = 1{,}0$ м нагрет от 0°С до некоторой температуры. При этом длина стержня увеличилась на $\Delta L = 7{,}0$ мм. Найти, насколько увеличился объем стержня.

6-2. Находившийся при температуре $T_1 = 293$ К в закрытом баллоне газ нагрели на $\Delta t = 70°$С, при этом давление возросло на $\Delta P = 3{,}0$ атм. Определить первоначальное давление в баллоне.

6-3. Найти плотность азота при температуре $t = 10°$С и давлении $P = 2{,}0$ атм. Молярная масса $\mu = 28$ кг/кмоль.

6-4. На плоскую поверхность в вакууме напыляется слой серебра. Пучок атомов серебра падает на поверхность перпендикулярно к ней, все атомы серебра прилипают к поверхности. Скорость атомов в пучке $V = 400$ м/с, концентрация $n = 5{,}0 \cdot 10^{17}$ м$^{-3}$. Определить давление атомов серебра на поверхность. Молярная масса серебра $\mu = 107{,}9$ кг/кмоль.

6-5. В цилиндре, закрытом легко подвижным поршнем массой $m = 5$ кг и площадью $S = 10$ см^2, находится газ. Объем газа равен $V_0 = 5$ л. Каким станет объем газа, если цилиндр передвигать вертикально вниз с ускорением $a = 1$ м/с^2. Атмосферное давление $P_0 = 760$ мм рт.ст. Температура газа постоянна.

Задача № 6–1

$S = 10\ см^2 = 10^{-3}\ м^2$

$L = 1{,}0$ м

$t_1 = 0^\circ C$

$\Delta L = 7{,}0\ мм = 7\cdot 10^{-3}\ м$

$\Delta V = ?$

Зависимость длины и объема тела от температуры описываются соответственно соотношениями

$$L_t = L(1+\alpha\Delta t);$$

$$V_t = V(1+\beta\Delta t),$$

где коэффициенты объемного и линейного расширения связаны приблизительным равенством $\beta = 3\alpha$.

Из условия задачи известно удлинение стержня

$$\Delta L = L_t - L.$$

Искомое увеличение объема равно

$$\Delta V = V_t - V,$$

где $V = LS$.

Из полученных уравнений находим

$$\Delta V = LS\beta\Delta t$$

или, учитывая связь между коэффициентами α и β,

$$\Delta V = LS\,3\alpha\Delta t.$$

Так как $\alpha\Delta t = \frac{\Delta L}{L}$, то

$$\Delta V = 3\Delta L S;\quad \Delta V = 2{,}1\cdot 10^{-5}\ м^3.$$

Задача № 6–2

$T_1 = 293$ K

$\Delta T = 70$ K

$\Delta P = 3{,}0$ атм

$P_1 = ?$

Процесс нагревания газа происходит при постоянном объеме. Поэтому воспользуемся законом Шарля

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}.$$

Используя правила действий с пропорциями, получим $\frac{P_2 - P_1}{P_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_1}$

или $\frac{\Delta P}{P_1} = \frac{\Delta T}{T_1}$.

Отсюда

$$P_1 = \frac{\Delta P T_1}{\Delta T};\quad P_1 = 1{,}3\cdot 10^{6}\ Па.$$

Задача № 6–3

$t = 10^\circ C$

$P = 2{,}0$ атм

$\mu = 28$ кг/кмоль

$\rho = ?$

По определению плотность

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Пользуясь уравнением Клапейрона–Менделеева

$$PV = \frac{m}{\mu}RT,$$

можно определить зависимость плотности идеального газа от давления и температуры

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu P}{RT}.$$

Тогда

$$\rho = \frac{\mu P}{R(273+t)};\quad \rho = 2{,}4\ кг/м^3.$$

Задача № 6–4

$V = 400$ м/с

$n = 5{,}0\cdot 10^{17}\ м^{-3}$

$\mu = 107{,}9$ кг/кмоль

$P = ?$

По определению, давление равно $P = \frac{F}{S}$, где сила F, действующая на поверхность, определяется вторым законом Ньютона

$$F = \frac{\Delta(mV)}{\Delta t}.$$

Изменение импульса падающих на поверхность атомов

$$\Delta(mV) = V\Delta m,$$

так как удары атомов являются неупругими.

Здесь Δm – масса серебра, попадающая на поверхность за время Δt, и при массе одного атома m_1, равная

$$\Delta m = m_1 n S V \Delta t.$$

Масса атома связана с молярной массой соотношением

$$m_1 = \frac{\mu}{N_A},$$

где N_A – число Авогадро.

Решая систему уравнений, получаем

$$P = \frac{\mu n V^2}{N_A};$$

$$P = 1{,}43\cdot 10^{-2}\ Па.$$

Задача № 6-5

$m = 5$ кг
$S = 10$ см$^2 = 10^{-3}$ м^2
$V_0 = 5$ л $= 5\cdot 10^{-3}$ м^3
$a = 1$ м/с^2
$P_0 = 760$ мм рт.ст. $= 1{,}01\cdot 10^5$ Па
$V_1 = ?$

Ускорение a порш сообщает равнодействующ силы тяжести mg и сил давления газа на его вер нюю и нижнюю повер ность. По второму зако Ньютона

$$ma = mg + (P_0 - P_1)S,$$

где P_1 – давление внут цилиндра.

Давление в покоящемся цилиндре равно $P = P_0 + \frac{mg}{S}$.

Используя уравнение Бойля-Мариотта $PV_0 = P_1V_1$ и реш систему уравнений, получим

$$V_1 = V_0\frac{mg + P_0S}{m(g-a) + P_0S}; \quad V_1 = 5{,}2\cdot 10^{-3}\,м^3.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 24-26)

Занятие 24. ТЕПЛОТА. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

Механические и тепловые явления. Количество переда ной теплоты. Теплоемкость тел. Эквивалентность теплоты работы. Внутренняя энергия. Уравнение теплового баланса. П нятие о теплоизолированной системе тел. Применение зако сохранения энергии при изменении состояния идеального газ Тепловые машины.

Л-2. § 21-28, 36; Л-4. т.1, § 202-212; Л-5. 13.1 13.5; 13.7; 13.18; 13.21.

Занятие 25. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Плавление и отвердевание тел. Парообразование. Удельн теплота фазовых переходов. Абсолютная и относительная вла ность.

Л-2. § 37-54; Л-4. т. 1, § 248-276. Л-5. 14.2; 14.3; 14.6; 14.13; 14.19; 14.21; 14.22.

Занятие 26. ТЕПЛОТА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 7

Теплота

Задачи этого раздела посвящены вычислению работы, совершаемой системой при расширении, и определению количества теплоты, затрачиваемой на нагревание системы в различных процессах. Если речь идет о газе, то необходимо использовать и уравнение состояния идеального газа, в других случаях (например, задача № 7-2) необходимо вспомнить законы механики.

ЗАДАЧИ

7-1. Медный шар при нагревании увеличил свой объем на $\Delta V = 0{,}10$ см^3. Определить количество теплоты, сообщенное шару. Удельная теплоемкость меди $c = 3{,}8\cdot 10^2$ Дж/кг$\cdot$K, плотность меди при 0°C $\rho = 8{,}9\cdot 10^3$ кг/м^3, коэффициент линейного расширения меди $\alpha = 1{,}7\cdot 10^{-5}$ K^{-1}.

7-2. Горизонтально летящая со скоростью 300 м/с пуля массой $m = 10$ г попадает в тело массой $M = 5$ кг, висящее на нити, и застревает в нем. Определить, на сколько градусов нагрелась пуля, если на ее нагревание пошло $\eta = 50\%$ энергии, выделившейся при движении пули внутри тела. Удельная теплоемкость пули $c = 4{,}6\cdot 10^2$ Дж/кг$\cdot$K.

7-3. В вертикальном цилиндре под поршнем с поперечным сечением $S = 20$ см^2 заключен столб газа высотой $H = 30$ см при температуре $t = 27^\circ$C. Поршень может свободно перемещаться без трения. Масса поршня $M = 5{,}0$ кг. Цилиндр нагрели на $\Delta T = 50$ K. Определить работу, совершенную газом. Атмосферное давление $P = 1{,}0$ атм.

7–4. В теплоизолированном цилиндре под невесомым поршнем находится вода массой $m = 30$ г при температуре $t = 30^\circ$С. Площадь поршня $S = 500$ см^2, внешнее давление $P = 1$ атм. После включения в цилиндре электрического нагревателя поршень поднялся на высоту $h = 20$ см. Определить количество теплоты, выделенное нагревателем. Поршень движется без трения. Температура воды 100°С. Молярная масса водяного пара $\mu = 18$ кг/кмоль.

7–5. В цилиндре под невесомым поршнем с площадью основания $S = 100$ см^2 находится идеальный газ. После сообщения газу некоторого количества теплоты поршень переместится на $h = 10$ см. Определить количество теплоты, сообщенное газу. Внешнее давление $P = 760$ мм рт.ст.

Решения

Задача № 7–1

$\Delta V = 0{,}10$ см$^3 = 10^{-7}$ м^3

$c = 3{,}8\cdot 10^2$ Дж/кг К

$\rho = 8{,}9\cdot 10^3$ кг/м^3

$\alpha = 1{,}7\cdot 10^{-5}$К$^{-1}$

$Q = ?$

При нагревании твердых тел относительное увеличение объема мало, и поэтому работой расширения можно пренебречь. Теплота при этом расходуется практически на увеличение внутренней энергии

$$Q = cm\Delta t,$$

где m – масса шара, равная

$$m = \rho V.$$

Увеличение объема при нагревании определяется уравнением

$$\Delta V = \beta V \Delta t,$$

где коэффициент объемного расширения связан с коэффициентом линейного расширения $\beta = 3\alpha$.

Решая полученную систему уравнений, имеем

$$Q = \frac{c\rho\Delta V}{3\alpha};$$

$$Q = 6{,}6\cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

Задача № 7–2

$V_0 = 300$ м/с

$m = 10$ г $= 10^{-2}$ кг

$M = 5$ кг

$\eta = 0{,}5$

$c = 4{,}6\cdot 10^2$ Дж/кг К

$\Delta t = ?$

Запишем закон сохранения импульса для абсолютно неупругого удара пули и висящего тела

$$mV_0 = (m+M)u,$$

где u – скорость обоих тел после удара. Соответственно закон сохранения энергии будет иметь вид

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{(m+M)u^2}{2} + Q,$$

где Q – количество теплоты, выделившейся при неупругом ударе.

Уравнение теплового баланса для пули имеет вид

$$\eta Q = cm\Delta t.$$

Решая систему уравнений, получаем

$$\Delta t = \frac{\eta Q}{cm} = \eta\frac{MV_0^2}{(M+m)2c};$$

$$\Delta t = 49^\circ C.$$

Задача № 7–3

$S = 20$ см$^2 = 2\cdot 10^{-3}$ м^2

$H = 30$ см $= 0{,}3$ м

$t = 27^\circ$С

$\Delta T = 50$ К

$M = 5{,}0$ кг

$P = 1{,}0$ атм $= 1{,}01\cdot 10^5$ Па

$A = ?$

Давление газа в цилиндре равно $P_1 = P + \frac{Mg}{S}$ и объем газа $V = SH$.

Работа при изобарическом расширении равна

$$A = P_1\Delta V,$$

где ΔV – изменение объема при нагревании ($\Delta V = V' - V$), которое можно определить по закону Гей-Люссака

$$\Delta V = V\frac{\Delta T}{T} = V\frac{\Delta T}{(t+273)}.$$

Тогда

$$A = \frac{P_1 V\Delta t}{273+t} = \frac{(PS+Mg)H\Delta t}{273+t};$$

$$A = 12{,}5 \text{ Дж}.$$

Задача № 7-4

$m = 30\ г = 30\cdot10^{-3}$ кг

$t = 30^\circ C$

$S = 500\ см^2 = 5\cdot10^{-2}\ м^2$

$P = 1$ атм $= 1{,}01\cdot10^5$ Па

$h = 20$ см $= 0{,}2$ м

$t_п = 100^\circ C$

$\mu = 18$ кг/кмоль

$Q = ?$

После включения нагревателя теплота расходуется на нагревание всей воды до температуры $t_п$ и на испарение части воды

$$Q = cm\Delta t + rm_п,$$

где $\Delta t = t_п - t$, а удельная теплота парообразования r учитывает и изменение внутренней энергии, и работу расширения при испарении.

Свойства пара можно в данном случае описать уравнением Клапейрона–Менделеева

$$PV = \frac{m_п}{\mu} R(273 + t_п),$$

где $V = Sh$.

В результате получаем

$$Q = cm(t_п - t) + \frac{\mu PSh\cdot r}{R(273 + t_п)};$$

$$Q = 2{,}2\cdot10^4\ Дж.$$

Задача № 7-5

$S = 100\ см^2 = 10^{-2}\ м^2$

$h = 10$ см $= 0{,}1$ м

$P = 760$ мм рт.ст.$=$

$= 1{,}01\cdot10^5$ Па

$Q = ?$

По первому закону термодинамики количество теплоты, сообщенное газу, расходуется на совершение работы A и изменение внутренней энергии ΔU, причем

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

Так как $P = const$, то работа равна $A = P\Delta V$,

где $\Delta V = V_2 - V_1 = Sh$.

Внутренняя энергия идеального газа изменяется только за счет изменения кинетической энергии молекул

$$\Delta U = N\cdot\frac{3}{2}k(T_2 - T_1),$$

где $k = \frac{R}{N_A}$ – постоянная Больцмана;

$N = \frac{m}{\mu}N_A$ – число молекул в системе.

Начальное и конечное состояние газа описывается уравнениями состояния идеального газа

$$PV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1; \quad PV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2.$$

Из последних уравнений с учетом $\Delta V = Sh$ находим

$$T_2 - T_1 = Sh\frac{P\mu}{Rm}.$$

Тогда

$$\Delta U = \frac{3}{2}PSh,$$

и учитывая работу $A = PSh$, находим: $Q = \frac{5}{2}PSh$;

$$Q = 2{,}5\cdot10^2\ Дж.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 27–31)

З а н я т и е 27. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Электризация тел. Электрический заряд. Два рода электричества. Носители электрических зарядов. Закон сохранения электрического заряда. Точечный заряд. Закон Кулона.

Л–2. § 58–64; Л–4. т. П, § 1–11; Л–5. 15.6; 15.9; 15.10; 15.12; 15.16; 15.18; 15.20.

З а н я т и е 28. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Напряженность поля. Принцип суперпозиции полей. Силовые линии. Работа перемещения заряда в электрическом поле. Понятие потенциала. Эквипотенциальные поверхности. Напряженность и потенциал поля точечного заряда. Связь потенциала с напряженностью для однородного поля.

Л–2. § 65–68, 73–77; Л–4. т. П, § 12–15, 17–22; Л–5. 16.4; 16.8; 16.13; 16.16; 16.20; 16.26; 16.29.

З а н я т и е 29. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

З а н я т и е 30. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОРЫ

Электроемкость уединенной сферы. Конденсатор. Емкость плоского конденсатора. Последовательное и параллельное соединение конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора.

Л-2. § 78–84; Л-4. т. II, § 33–35, 38; Л-5. 17.3; 17.7; 17.11; 17.14; 17.16; 17.23; 17.29; 17.34.

З а н я т и е 31. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 8

Электростатика

Домашние задания по теме "Электростатика" посвящены решению задач по расчету сил взаимодействия точечных зарядов; работе, совершаемой при перемещении зарядов в электрическом поле. При этом необходимо четко представлять смысл принципа суперпозиции электрических полей, без использования которого невозможно решение задачи № 8–4 предлагаемого домашнего задания, которая легко решается, если исходить из закона сохранения энергии.

З А Д А Ч И

8–1. Заряженные шарики, находящиеся на расстоянии ℓ = 0,5 м, отталкиваются друг от друга с силой F = 2Н. Суммарный заряд шариков $q = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл. Определить заряды шариков q_1 и q_2.

8–2. Два одноименных точечных заряда величиной $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл и q_2 = 15 ед. СГСЭ находятся на расстоянии

r_1 = 0,50 см друг от друга. Какую работу совершили электрические силы, если расстояние между зарядами уменьшилось в n = 5 раз?

8–3. При переносе точечного заряда $q = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии ℓ = 2 см от поверхности заряженного металлического шара радиусом R = = 3 см, электрические силы совершили работу $A = 0{,}9 \cdot 10^{-4}$ Дж. Найти поверхностную плотность заряда σ на шаре. (При решении задачи считать, что заряд равномерно распределен по поверхности шара).

8–4. Маленький металлический шарик, заряд которого q = 40 ед. СГСЭ, а масса m = 2 г, падает в поле тяжести (g = 10 м/с^2) по оси равномерно заряженного тонкого кольца. Каково ускорение шарика в точке, расположенной на h = = 0,6 м выше плоскости кольца, если заряд кольца q_2 = $= -1 \cdot 10^{-4}$ Кл, радиус кольца R = 0,8 м.

8–5. Два плоских воздушных конденсатора емкостью по С = 9000 пФ соединены параллельно и заряжены до напряжения U = 500 В. Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить в n = 2 раза расстояние между обкладками одного из конденсаторов?

Р е ш е н и я

Задача № 8–1

ℓ = 0,5 м

F = 2 Н

$q = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл

---

q_1 = ? q_2 = ?

Так как шарики отталкиваются, ясно, что заряды шариков одинаковы по знаку. Чтобы найти величину зарядов, можно использовать закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\ell^2}$$

и очевидное соотношение

$$q_1 + q_2 = q.$$

Полученные уравнения обладают симметрией относительно величин q_1 и q_2. Это отражает тот факт, что сила взаимодействия зарядов не изменится, если их поменять местами, и поэтому безразлично, как расставить обозначения.

Система уравнений сводится к квадратному уравнению, решение которого выглядит так:

$$q_1 = \frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 - 4\pi\varepsilon_0 F\ell^2}; \quad q_1 = 3{,}3\cdot 10^{-6}\ Кл;$$

$$q_2 = \frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 - 4\pi\varepsilon_0 F\ell^2}; \quad q_2 = 16{,}7\cdot 10^{-6}\ Кл.$$

Задача № 8-2

$q_1 = 2\times10^{-8}$ Кл

$q_2 = 15$ ед. СГСЭ $= 5\times10^{-9}$ Кл

$r_1 = 0{,}50$ см $= 5\times10^{-3}$ м

$n = 5$

$A = ?$

Работа электрических сил може быть найдена как разность потенци альных энергий в начальном и ко нечном состоянии

$$A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{r_1} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{r_2},$$

где $r_2 = \frac{r_1}{n}$.

Отсюда получаем

$$A = \frac{q_1 q_2 (1-n)}{4\pi\varepsilon_0 r};$$

$$A = -7{,}2 \times 10^{-6}\ Дж.$$

То, что работа электрических сил оказалась отрицатель ной, вполне понятно: электрические силы расталкивают шарики. Уменьшение расстояния между зарядами происходит в резуль тате действия сторонних сил.

Задача № 8-3

$q = 2\times10^{-9}$ Кл

$\ell = 2$ см $= 2\times10^{-2}$ м

$R = 3$ см $= 3\times10^{-2}$ м

$A = 0{,}9 \times 10^{-4}$ Дж

$\sigma = ?$

Работа электрических сил

$$A = q\Delta\varphi.$$

Так как потенциал бесконечно уда ленной точки считают равным нул то

$$\Delta\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{q_0}{R+\ell},$$

где $q_0 = 4\pi R^2\sigma$ — заряд шара.

Отсюда получаем

$$\sigma = -\frac{\varepsilon_0 A (R+\ell)}{R^2 q};$$

$$\sigma = -2{,}2\cdot10^{-5}\ Кл/м^2.$$

Задача № 8-4

$q_1 = 40$ СГСЭ $= 1{,}3\times10^{-8}$ Кл

$m = 2$ г $= 2\times10^{-3}$ кг

$g = 10$ м/с^2

$h = 0{,}6$ м

$R = 0{,}8$ м

$q_2 = -10^{-4}$ Кл

$a = ?$

Ускорение связано с действующими на тело силами второго закона Ньютона

$$a = \frac{mg + F_{эл}}{m}, \quad (1)$$

где сила электрического взаимодействия определяется выражением $F_{эл} = q_1 E$. Напряженность E на месте расположения шарика складывается как векторная сумма напряженностей полей, создаваемых в этой точке зарядом каждого малого элемента кольца длиной $\Delta\ell$ (рис. 15).

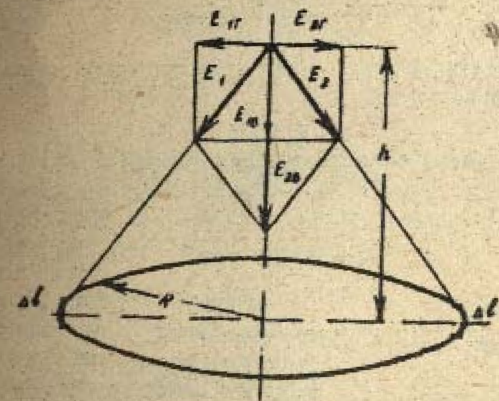


Рис. 15

Напряженность поля на оси кольца, создаваемая элементом кольца длиной $\Delta\ell$ с зарядом Δq_1, равна

$$E_1 = \frac{\Delta q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{\Delta q}{4\pi\varepsilon_0 (R^2 + h^2)}.$$

Диаметрально противоположный элемент кольца создает такую же по величине напряженность поля E_2, но направленную так, что горизонтальные составляющие векторов $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$

взаимно компенсируют друг друга. Таким образом, при сложении напряженностей поля от всех элементов кольца горизонтальные составляющие дают в сумме ноль, а вертикальные выражаются

$$E_{1верт} = E_1 \cos\alpha = E_1 \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}} .$$

Суммарная напряженность поля

$$E = E_{верт} = \Sigma E_{iверт} = \frac{h \Sigma \Delta q}{4\pi\varepsilon_0 (R^2 + h^2)^{3/2}} .$$

Сумма зарядов всех элементов равна заряду кольца q_2. Таким образом,

$$E = \frac{q_2 h}{4\pi\varepsilon_0 (R^2 + h^2)^{3/2}} .$$

В результате получаем

$$a = g + \frac{q_1 q_2 h}{4\pi\varepsilon_0 m (R^2 + h^2)^{3/2}} ;$$

$$a = 13{,}6 \text{ м/с}^2 .$$

Задача № 8-5

$C = 9000$пФ

$U = 500$ В

$n = 2$

$A = ?$

При увеличении расстояния между обкладками конденсатора внешние силы совершают работу, равную изменению энергии системы

$$A = W_2 - W_1 .$$

Для энергии конденсатора справедливы соотношения

$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2} ; \quad W_1 = \frac{q^2}{2C_1} ,$$

где $q = 2CU_0$ – заряд батареи;

$C_1 = 2C$ – начальная емкость батареи;

$C_2 = \frac{C(1+n)}{n}$ – конечная емкость батареи.

Решая совместно систему уравнений, получаем

$$A = \frac{CU_0^2 (n-1)}{n+1} ; \qquad A = 0{,}75 \text{ Дж}.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 32–37)

Занятие 32. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрический ток как упорядоченное движение зарядов. Условия возникновения и поддержания электрического тока. Постоянный ток. Закон Ома для однородного участка цепи.

Л-2. § 85–93, 97–106; Л-4. т. П, § 39–43, 46–51; Л-5. 18.5; 18.9; 18.12; 19.5; 19.13; 19.26; 19.32.

Занятие 33. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Занятие 34. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

Сторонние силы. ЭДС источника тока. Закон Ома для полной цепи. Закон Ома для участка цепи с ЭДС.

Л-2. § 94–96; Л-4. т.П, § 47–82; Л-5. 20.4; 20.11; 20.13; 20.16; 20.26; 20.35; 20.39.

Занятие 35. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Занятие 36. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА

Работа и мощность тока. Энергия электрического тока и ее превращение в другие виды энергий. Закон Джоуля–Ленца.

Л-2. § 94–96; Л-4. т.П, §§ 56–64. Л-5. 21-2; 21.12; 21.14; 21.20; 21.27; 21.32; 21.35; 21.45; 21.46; 21.53.

Занятие 37. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 9

Постоянный ток

Домашние задания этого раздела посвящены расчету цепей постоянного тока, определению характеристик этих цепей, таких как электрическое сопротивление, температурный коэффициент сопротивления. При решении задач необходимо правильно записывать законы Ома для участков цепи с ЭДС и без нее. При решении задач на мощность электрического тока (задачи № 9-4 и 9-5) необходимо ясно представить зависимость мощности, выделяющейся во внешней цепи, от ее сопротивления. Эта мощность достигает максимума тогда, когда внешнее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника тока.

ЗАДАЧИ

9-1. Металлическая сфера диаметром d = 10 см, заряженная до потенциала φ = 100 В, заземляется проводником. Определить среднее значение силы тока в проводнике, если процесс разрядки продолжался $t = 1\cdot10^{-8}$ с.

9-2. При замыкании аккумулятора на внешнее сопротивление R_1 = 1,8 Ом по нему идет ток I_1 = 1,0 А. При замыкании на сопротивление R_2 = 4,8 Ом – ток I_2 = 0,40 А. Определить ЭДС аккумулятора.

9-3. Два источника тока с ЭДС $\mathcal{E}_1$ = 1,7 В и $\mathcal{E}_2$ = 1,4 В и внутренним сопротивлением r_1 = 0,8 Ом и r_2 = 0,4 Ом соединены последовательно и подключены к сопротивлению R = 5,0 Ом. Определить напряжение на зажимах 1-го источника тока.

9-4. Параллельно сопротивлению R = 10 Ом, подключенному к аккумулятору, включили неизвестное сопротивление R_x. При этом мощность, выделяемая на внешнем участке цепи, не изменилась. Определить величину R_x. Внутреннее сопротивление аккумулятора r = 1 Ом.

9-5. Максимальная полезная мощность, отдаваемая источником тока, P_m = 5 Вт. Максимальный ток, который идет через источник тока при коротком замыкании, $I_{к.з}$ = 10 А. Определить ЭДС источника.

Решения

Задача № 9-1

d = 10 см = 0,1 м
φ = 100 В
$t = 1\cdot10^{-8}$ с

$I_{ср}$ = ?

По определению, средний ток

$$I_{ср} = \frac{\Delta q}{t},$$

где $\Delta q = 4\pi\varepsilon_0 \frac{d}{2}\varphi$ – заряд сферы.

Отсюда получаем

$$I_{ср} = \frac{2\pi\varepsilon_0 d\varphi}{t}; \quad I_{ср} = 5{,}5\cdot10^{-2}\text{ А}.$$

Задача № 9-2

R_1 = 1,8 Ом
R_2 = 4,8 Ом
I_1 = 1,0 А
I_2 = 0,40 А

$\mathcal{E}$ = ?

Закон Ома для первого соединения

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}$$

и соответственно для второго соединения

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}.$$

Полученная система содержит два неизвестных $\mathcal{E}$ и r. Преобразуем уравнения следующим образом:

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_1} - R_1;$$

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_2} - R_2.$$

Приравнивая правые части, получаем

$$\frac{\mathcal{E}}{I_1} - R_1 = \frac{\mathcal{E}}{I_2} - R_2.$$

Теперь уже нетрудно найти ЭДС аккумулятора

$$\mathcal{E} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}; \ \mathcal{E} = 2B.$$

Задача № 9–3

$\mathcal{E}_1 = 1{,}7$ В

$\mathcal{E}_2 = 1{,}4$ В

$r_1 = 0{,}8$ Ом

$r_2 = 0{,}4$ Ом

$R = 5{,}0$ Ом

$U_1 = ?$

Допустим, что цепь состоит из двух участков: один содержит 1-й источник, а другой – 2-й источник и сопротивление R. Обозначим потенциалы зажимов 1-го источника – φ_1 и φ_2. Тогда искомое напряжение $U = \varphi_2 - \varphi_1$. Запишем законы Ома для каждого участка, учитывая, что токи в них одинаковы:

для I-го участка

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_1}{r_1} = \frac{-U_1 + \mathcal{E}_1}{r_1};$$

для II-го участка

$$I = \frac{\varphi_2 - \varphi_1 + \mathcal{E}_2}{R + r_2} = \frac{U_1 + \mathcal{E}_2}{R + r_2}.$$

Приравнивая правые части уравнений, находим

$$U_1 = \frac{\mathcal{E}_1 (R + r_2) - \mathcal{E}_2 r_1}{R + r_1 + r_2}; \quad U_1 = 1{,}3B.$$

Задача № 9–4

$R = 10$ Ом

$r = 1$ Ом

$P_1 = P_2$

$R_x = ?$

До включения сопротивления ток в цепи равен

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

и соответственно мощность на внешнем участке

$$P_1 = I_1^2 R.$$

После включения сопротивления R_x

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{r + \frac{R R_x}{R + R_x}};$$

$$P_2 = I_2^2 \frac{R R_x}{R + R_x}.$$

После преобразований, учитывая, что $P_1 = P_2$, находим

$$R_x = \frac{r^2 R}{R^2 - r^2}; \quad R_x = 0{,}1 \text{ Ом}.$$

Задача № 9–5

$P_m = 5$ Вт

$I = 10$ А

$\mathcal{E} = ?$

Ток короткого замыкания равен

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Мощность во внешней цепи максимальная, если ее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника

$$R = r.$$

(Это утверждение слушателям предлагается доказать самостоятельно).

При этом в цепи идет ток

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{2r},$$

и мощность принимает известное нам значение

$$P_m = I_0^2 r.$$

Из этих уравнений находим

$$P_m = \frac{1}{4} I^2 r, \quad r = \frac{4P_m}{I^2};$$

$$\mathcal{E} = Ir = \frac{4P_m}{I}; \ \mathcal{E} = 2B.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 38–42)

Занятие 38. МАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОКОВ

Магнитные взаимодействия и магнитное поле. Сила, действующая на проводник с током. Закон Ампера. Индукция магнитного поля. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.

Л-2. § 114–122; 132–134; Л-4. т. II, § 118, 123, 124, 125, 137; Л-5. 23.7; 23.9; 23.10; 23.11; 23.14; 23.18.

Занятие 39. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Занятие 40. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Магнитный поток. ЭДС индукции. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции.

Л-2. § 123-128; Л-4. т. П, § 139-142; Л-5. 23.21; 23.22; 23.24; 23.27; 23.28; 23.34.

Занятие 41. САМОИНДУКЦИЯ

ЭДС самоиндукции. Индуктивность. Экстратоки замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля.

Л-2. § 129-131; Л-4. т. П, § 157-159; Л-5. 23.27; 23.35; 23.38; 23.41; 23.44; 23.47; 23.52.

Занятие 42. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 10

Электродинамика

Домашние задания раздела "Электромагнетизм" содержат задачи по расчету магнитных полей постоянных токов, сил взаимодействия проводников с током. При решении задач по явлению электромагнитной индукции следует помнить, что, хотя причиной возникновения ЭДС индукции в случае переменного магнитного поля является вихревое электрическое поле, а в случае движения проводника в постоянном магнитном поле - действие на свободные заряды силы Лоренца, математическая формулировка закона электромагнитной индукции одна и та же,

$$\mathcal{E}_{инд} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

При решении задач необходимо уметь определять направление сил, действующих на проводники с током со стороны магнитного поля, и направление индукционных токов.

ЗАДАЧИ

10-1. Проводник длиной $L = 0{,}5$ м и сопротивлением $R = 2{,}6$ Ом расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}02$ Тл. Какое напряжение приложено к проводнику, если со стороны магнитного поля на него действует сила $F = 0{,}02$ Н ? Вектор $\vec{B}$ составляет с проводником угол $\alpha = 60^\circ$.

10-2. Реактивный самолет, имеющий размах крыльев $L = 50$ м, летит горизонтально со скоростью $V = 800$ км/ч. Определить разность потенциалов, возникающую между концами крыльев, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна $B_в = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

10-3. По двум металлическим стержням, расположенным параллельно друг другу на расстоянии $\ell = 0{,}5$ м друг от друга под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту и замкнутым проводником, скользит железный стержень массой $m = 10$ г. Система расположена в однородном вертикальном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл. Определить установившуюся скорость движения стержня, если коэффициент трения $\mu = 0{,}5$, а сопротивление контура постоянно и равно $R = 0{,}1$ Ом.

10-4. Катушка диаметром $d = 6$ см, содержащая $n = 500$ витков медной проволоки сечением $S = 0{,}4$ мм^2, расположена в однородном магнитном поле, индукция которого направлена вдоль оси катушки и равномерно изменяется со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 2 \cdot 10^{-2}$ Тл/с. Концы катушки замкнуты накоротко. Определить тепловую мощность, выделяющуюся в катушке. Удельное сопротивление меди $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом.м.

10-5. Электромотор с постоянными магнитами, включенный в цепь постоянного тока напряжением $U = 220$ В, развивает максимальную мощность $P = 330$ Вт. Какой ток протекает при этом по цепи?

Решения

Задача № 10-1

$L = 0{,}5$ м
$R = 2{,}6$ Ом
$B = 0{,}02$ Тл
$F = 0{,}02$ Н
$\alpha = 60^\circ$

$U = ?$

Неизвестное напряжение связано с током, текущим по проводнику, и его сопротивлением законом Ома $U = IR$. На проводник с током со стороны магнитного поля действует сила

$$F = IBL\sin\alpha.$$

Из этих уравнений находим

$$U = \frac{FR}{BL\sin\alpha};$$

$$U = 6 \text{ В}.$$

Задача № 10-2

$L = 50$ м
$v = 800$ км/ч $= 222$ м/с
$B_B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл

$\Delta\varphi = ?$

При перемещении проводника (самолета) в магнитном поле на свободные заряды проводника (электроны) действует сила Лоренца $F_\Lambda = evB_B$, направленная перпендикулярно скорости и вектору B_B. В результате свободные заряды смещаются к одному концу проводника, и между концами возникает разность потенциалов.

Установившаяся разность потенциалов определяется равенством $F_\Lambda = eE$, где напряженность поля связана с $\Delta\varphi$ соотношением $E = \frac{\Delta\varphi}{L}$. Таким образом, приходим к выводу

$$\Delta\varphi = EL = \frac{F_\Lambda}{e} L = vB_BL;$$

$$\Delta\varphi = 0{,}5 \text{ В}.$$

Задача № 10-3

$\ell = 0{,}5$ м
$\alpha = 30^\circ$
$m = 10$ г $= 10^{-2}$ кг
$B = 0{,}1$ Тл
$R = 0{,}1$ Ом
$\mu = 0{,}5$

$v = ?$

В проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает ЭДС индукции $\mathcal{E} = B\ell v\sin\alpha$, которая создает в контуре ток

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{B\ell v\sin\alpha}{R}.$$

На этот ток действует сила Ампера

$$F_A = IB\ell = \frac{B^2\ell^2 v\sin\alpha}{R},$$

препятствующая движению проводника. При установившемся движении векторная сумма сил, действующих на проводник, равна нулю.

Запишем это условие в проекциях на ось, параллельную стержням и направленную вниз

$$mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha - F_A\cos\alpha - \mu F_A\sin\alpha = 0.$$

Подставляя выражение для силы Ампера, находим

$$v = \frac{mgR(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{B^2\ell^2\sin\alpha(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}; \quad v = 0{,}47 \text{ м/с}.$$

Задача № 10-4

$d = 6$ см $= 0{,}06$ м
$n = 500$
$S = 0{,}4$ мм$^2 = 4 \cdot 10^{-7}$ м^2
$\frac{\Delta B}{\Delta t} = 2 \cdot 10^{-2}$ Тл/с
$\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м

$P = ?$

Тепловая мощность в цепи постоянного тока

$$P = I^2R,$$

где ток в катушке обусловлен возникающей в ней ЭДС индукции и равен

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R},$$

а сопротивление катушки

$$R = \rho\frac{\pi d n}{S}.$$

Величина ЭДС индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока

$$|\mathcal{E}| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|,$$

и так как изменение магнитного потока равно

$$\Delta\Phi = \frac{\pi d^2}{4} n\Delta B, \text{ то } \mathcal{E} = \frac{\pi d^2}{4} n \frac{\Delta B}{\Delta t}.$$

Откуда

$$P = \frac{\pi d^3 nS}{16\rho}\left(\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)^2; \quad P = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}.$$

Задача № 10-5

$U = 220$ В

$P_м = 330$ Вт

$I_м = ?$

В электромоторе электрическая энергия преобразуется частично в энергию механическую, а частично – в тепловую. Механическая мощность

$$P = UI - I^2R.$$

Ток в моторе определяется по закону Ома

$$I = \frac{U-\mathcal{E}_и}{R},$$

где $\mathcal{E}_и$ – ЭДС индукции, возникающая в электродвигателе. Из этих двух уравнений получаем

$$P = \frac{(U-\mathcal{E}_и)\mathcal{E}_и}{R}.$$

В числителе этого выражения стоит квадратичная функция относительно $\mathcal{E}_и$. Корнями ее являются значения $\mathcal{E}_1 = 0$ и $\mathcal{E}_2 = U$ и, следовательно, это функция достигает максимума при $\mathcal{E}_и = \frac{U}{2}$.

Значит, максимальная мощность мотора

$$P_м = \frac{(U-\frac{U}{2})\frac{U}{2}}{R} = \frac{U^2}{4R}; \qquad R = \frac{U^2}{4P_м}.$$

Теперь можно найти необходимый ток

$$I_м = \frac{U}{2R} = \frac{2P_м}{U}, \qquad I_м = 3А.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 43-46)

Занятие 43. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Колебательное движение. Свободные и вынужденные колебания. Условия возникновения свободных колебаний. Математический маятник. Свободные гармонические колебания. Частота и период свободных колебаний. Превращение энергии при колебаниях. Резонанс.

Л-3. § 1-15; Л-4. т.Ш, § 1-9; Л-5. 9.1; 9.3; 9.4; 9.6; 9.10; 9.14; 9.17.

Занятие 44. КОЛЕБАНИЯ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Занятие 45. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Свободные и вынужденные электромагнитные колебания. Колебательный контур. Превращение энергии в колебательном контуре. Период и частота свободных электромагнитных колебаний.

Л-3. § 16-20; Л-4. т. Ш, § 26-29; Л-5. 24.11; 24.16; 24.17.

Занятие 46. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Действующие значения напряжения и силы тока. Закон Ома для электрической цепи переменного тока. Преобразование переменного тока.

Л-3. § 21-25; 26-35; Л-4. т.Ш, § 152-168; Л-5. 24.1; 24.2; 24.3; 24.4; 24.7; 23.56; 24.9; 24.10.

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 11

Механические и электромагнитные колебания. Переменный ток

Механические колебания являются одним из важнейших видов движения с переменным ускорением, которые изучаются в курсе физики средней школы. Наиболее простые из них – гармонические колебания.

При решении задач этого раздела необходимо знать уравнение гармонических колебаний, описывающих положение колеблющегося тела в различные моменты времени

$$x = x_0 \cos(\omega t + \varphi).$$

Необходимо также понимать смысл физических величин, входящих в это уравнение: амплитуды $- x_0$ (существенно положительная величина), циклической частоты $- \omega$, фазы $- (\omega t + \varphi)$, начальной фазы $- \varphi$, и уметь представить их на графике зависимости смещения x от времени t.

Причиной возникновения гармонических колебаний тела является действие силы, величина которой пропорциональна величине смещения. Это может быть сила упругости или равнодействующая других сил, имеющих различную природу. Поэтому задачи по определению периода или частоты колебаний часто могут быть сведены к анализу сил, действующих на колеблющееся тело, и к определению коэффициента пропорциональности (коэффициенту жесткости) между равнодействующей силой и смещением. Тогда для определения периода достаточно воспользоваться формулой

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Можно также использовать уравнение движения. Для гармонических колебаний это уравнение приводится к уравнению для проекции на линию, вдоль которой совершается колебание

$$a_x = -\omega_0^2 x, \text{ где } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

и следовательно,

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Многие задачи колебательного движения могут быть решены с использованием закона сохранения энергии. Полная механическая энергия при гармонических колебаниях складывается из кинетической и потенциальной энергии тела

$$E = K + \Pi = \frac{mV^2}{2} + \frac{Kx^2}{2}.$$

Следует иметь в виду, что механическая энергия сохраняется, если система замкнута и в ней отсутствуют силы трения. В этом случае колебания не должны быть затухающими.

Электромагнитные колебания представляют собой периодические изменения заряда, тока, напряжения, а также электрического и магнитного полей. Наиболее часто встречающимся

объектом рассмотрения в задачах по этой теме является колебательный контур, содержащий емкость C, индуктивность L и сопротивление $- R$. Поэтому необходимо четко знать принцип работы колебательного контура и законы, описывающие изменение заряда, тока, напряжения и энергии в его отдельных элементах.

Следует иметь в виду, что наличие активного сопротивления R в контуре приводит к выделению тепла и затуханию колебаний, так же как действие сил трения – к затуханию механических колебаний. При малых активных сопротивлениях период свободных колебаний в контуре описывается формулой Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

При решении задач по теме "Переменный электрический ток" следует ясно представлять основные принципы получения переменного тока (явление электромагнитной индукции) и его преобразования. Необходимо понимать величины, характеризующие переменный ток (действующие и амплитудные значения силы тока, напряжения), и величины, характеризующие действие различных элементов в цепи (активное сопротивление $- R$, индуктивное $- \omega L$, емкостное $- \frac{1}{\omega C}$).

ЗАДАЧИ

11–1. К невесомой пружине подвешен груз массой m = 25 г. Определить период колебаний груза, если пружина удлиняется на $\Delta \ell$ = 2,0 см под действием силы F = 0,15 Н.

11–2. В лифте колеблется математический маятник с длиной нити ℓ = 1,2 м. Чему равен период колебаний маятника, если лифт движется вниз равнозамедленно с ускорением a = 2,2 м/с^2?

11–3. При изменении емкости переменного конденсатора на ΔC = 50 пФ резонансная частота контура увеличилась с f_1 = 100 гКц до f_2 = 120 кГц. Определить величину индуктивности в контуре.

11–4. Квадратная коротко замкнутая рамка со стороной a = 10 см вращается в однородном магнитном поле с угловой скоростью ω = 300 рад/с. Определить действующее значение тока в рамке, если сопротивление рамки $R = 10$ Ом, а величина индукции магнитного поля $B = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ Тл. Ось вращения рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции.

11-5. Катушка индуктивности $L = 0{,}13$ Гн включена в сеть переменного тока последовательно с конденсатором $C = 1{,}5$ мкФ. Найти тепловую мощность, выделяемую в катушке индуктивности, если действующее напряжение в сети $U = 100$ В, частота $f = 400$ Гц, а омическое сопротивление катушки $R = 15$ Ом.

Решения

Задача № 11-1

$m = 25\text{ г} = 25 \cdot 10^{-3}$ кг

$\Delta \ell = 2\text{ см} = 2 \cdot 10^{-2}$ м

$F = 0{,}15$ Н

$T = ?$

Период колебания груза, подвешенного на невесомой пружине, равен

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}.$$

Неизвестное в этом выражении значение коэффициента жесткости пружины – K можно определить из закона Гука $F = K\Delta\ell$, где F – сила, вызывающая удлинение пружины на величину $\Delta\ell$. Отсюда

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m\Delta\ell}{F}}; \quad T = 0{,}36\text{ с}.$$

Задача № 11-2

$\ell = 1{,}2$ м

$a = 2{,}2$ м/с

$T = ?$

При движении лифта с постоянным ускорением a натяжение нити маятника $F_н$ в положении его равновесия (нить вертикальна) определяется из второго закона Ньютона $m\vec{g} + \vec{F}_н = m\vec{a}$, откуда $\vec{F}_н = m(\vec{g} - \vec{a})$.

Ускорение свободного падения направлено вниз. При равнозамедленном движении вниз ускорение тела направлено в противоположную сторону. Следовательно, абсолютная величина силы

$$F_н = m(g + a).$$

Поэтому в лифте, движущемся с ускорением a, маятник длиной ℓ имеет период

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g+a}}; \quad T = 2\text{ с}.$$

Задача № 11-3

$\Delta C = 50\text{ пФ} = 50 \times 10^{-12}$ Ф

$f_1 = 100\text{ кГц} = 10^5$ Гц

$f_2 = 120\text{ кГц} = 1{,}2 \times 10^5$ Гц

$L = ?$

Период свободных колебаний в контуре определяется по формуле Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Соответствующая частота колебаний равна

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

До изменения емкости период равен

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC_1};$$

после изменения

$$T_2 = \sqrt{L(C_1 - \Delta C)}.$$

Знак – "минус" выбран потому, что после изменения емкости частота увеличилась, а, следовательно, период уменьшился. Возведем оба уравнения в квадрат и вычтем из 1-го уравнения 2-е, тогда

$$T_1^2 - T_2^2 = 4\pi^2 LC_1 - 4\pi^2 LC_1 + 4\pi^2 L\Delta C.$$

Откуда

$$L = \frac{T_1^2 - T_2^2}{4\pi^2\Delta C}.$$

Заменяя $T_1 = \frac{1}{f_1}$; $T_2 = \frac{1}{f_2}$, получим

$$L = \frac{f_2^2 - f_1^2}{4\pi^2 f_1^2 f_2^2 \Delta C}; \quad L = 1{,}6 \cdot 10^{-2}\text{ Г}.$$

Задача № 11-4

$a = 10$ см

$\omega = 300$ рад/с

$R = 10$ Ом

$B = 2{,}0\cdot 10^{-2}$ Тл

$I_g = ?$

Согласно закону электромагнитной индукции в рамке, вращающейся в магнитном поле, возникает ЭДС индукции, пропорциональная скорости изменения магнитного потока:

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Для рамки, вращающейся в однородном магнитном поле,

$$\Phi = BS\cos\omega t;$$

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -BS\omega\sin\omega t; \quad S = a^2.$$

Амплитудное значение ЭДС в рамке $\mathcal{E}_0 = BS\omega = Ba^2\omega$. Ток в рамке будет также изменяться по синусоидальному закону

$$i = I_0\sin(\omega t + \varphi),$$

где амплитудное значение тока определяется по закону Ома

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{R} = \frac{Ba^2\omega}{R}.$$

Действующее значение силы тока

$$I_g = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{Ba^2\omega}{\sqrt{2}\,R}; \quad i = 4{,}24\cdot 10^{-3}\,A.$$

Задача № 11-5

$L = 0{,}13$ Г

$C = 1{,}5$ мкФ $= 1{,}5\cdot 10^{-6}$ Ф

$U = 100$ В

$f = 400$ Гц

$R = 15$ Ом

$P = ?$

Тепловая мощность в цепи переменного тока выделяется только на активном сопротивлении катушки R. По закону Джоуля-Ленца значение тепловой мощности $P = I_g^2 R$, где I_g – действующее значение тока. По закону Ома для электрической цепи переменного тока

$$I_g = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}},$$

где

$$\omega = 2\pi f.$$

Следовательно, значение тепловой мощности

$$P = \frac{U^2 R_r}{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}; \qquad P = \frac{U^2 R}{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2};$$

$$P = 38\,Вт.$$

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 47-49)

З а н я т и е 47. ВОЛНЫ

Распространение колебаний в среде. Звук. Физическая природа электромагнитных волн. Скорость распространения электромагнитных волн. Шкала электромагнитных волн.

Л-3. § 36-49, 55-71, 132-134; Л-4. т. Ш, § 18-25; 33, 34, 54-55, 58-63; Л-5. 24.13; 24.18; 24.19; 24.20.

З а н я т и е 48. ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Основные закономерности геометрической оптики: закон прямолинейного распространения света, закон независимости световых лучей, закон отражения света, закон преломления. Абсолютный и относительный показатели преломления света. Сферическое зеркало.

Л-3. § 78-85; Л-4. т. Ш, § 79-83, 91-93; Л-5. 25.1; 25.6; 25.8; 25.9; 25.14; 25.22; 26.6; 26.10; 26.11.

З а н я т и е 49. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 12

Геометрическая оптика

В основе геометрической оптики лежат три простых закона:

1. Закон прямолинейного распространения света;
2. Закон отражения света.
3. Закон преломления света.

Решение задач по этому разделу удобно начинать с построения чертежа и в дальнейшем пользоваться знаниями геометрии.

Следует иметь в виду, что при работе с энергетическими характеристиками света необходимо знать основные понятия фотометрии. Определения таких физических величин, как световой поток, сила света, освещенность, связь между ними и единицы их измерения следует хорошо запомнить, дальше вам поможет знание геометрии.

На знании геометрии основаны вывод формул сферического зеркала и линзы. Однако следует понимать физическую природу световых явлений; знать, например, что показатель преломления среды определяется отношением скорости распространения света в вакууме к скорости распространения в среде.

Для построения изображений какой-либо точки предмета, которое может быть получено с помощью зеркала или линзы, достаточно провести от предмета два различных луча. Пересечение их после отражения от зеркала или после прохождения через линзу дает действительное изображение точки. Если же пересекаются не сами отраженные или прошедшие лучи, а их продолжения, то изображение является мнимым.

При выборе лучей для построения изображений следует использовать характерные точки оптической системы, фокус и центр линзы, полюс, фокус и оптический центр сферического зеркала. Часто бывают удобны и методы с использованием побочных оптических осей.

З А Д А Ч И

12-1. Два плоских зеркала расположены под углом $\alpha = 120^\circ$ друг к другу, так что расстояние между мнимыми изображениями источника $L = 25$ см. Определить, на каком расстоянии от линии пересечения зеркал расположен источник, если он находится на биссектрисе угла α.

12-2. Луч света падает на плоскопараллельную пластинку толщиной $d = 4$ см под углом $\alpha = 20^\circ$ к нормали. Вычислить смещение луча, т.е. расстояние между направлениями луча до и после преломления, если пластинка находится в воздухе, а показатель преломления стекла $n = 1,6$.

12-3. На высоте $h = 1,5$ м от освещаемой поверхности расположен точечный источник света, над которым параллельно поверхности находится полупрозрачное зеркало, отражающее $\eta = 60\%$ падающего на него света. Найти высоту относительно стола, на которой расположено зеркало, если освещенность поверхности под источником увеличилась в $m = 1,2$ раза.

12-4. Предмет расположен на главной оптической оси вогнутого зеркала на расстоянии $a = 60$ см от полюса. Определить фокусное расстояние зеркала, если изображение предмета действительное и увеличено в $k = 1,5$ раза.

12-5. На тонкую трехгранную призму из стекла с углом при вершине $\alpha_1 = 20^\circ$ падает луч света перпендикулярно грани. Найти угол между падающим лучом и лучом, выходящим из призмы, если показатель преломления стекла $n = 1,65$.

Р е ш е н и я

Задача № 12-1

$\alpha = 120^\circ$

$L = 25\,см = 0,25\,м$

$x = ?$

Изображения $S'S''$ источника S находятся на перпендикулярах, опущенных из точки S на плоскости зеркал, причем расстояния от источника до зеркал равны между собой и равны расстояниям от зеркал до изображений (рис. 16). Рассмотрим прямоугольные треугольники SON и SMS',

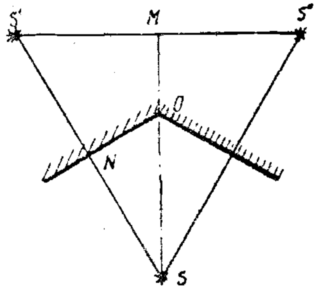


Рис. 16

которые подобны, так как $\angle SON=\angle SS'M$ (как углы со взаимно перпендикулярными сторонами).

Из подобия треугольников следует, что
$$\frac{MS}{SS'}=\frac{NS}{OS}$$
или
$$OS=\frac{NS\cdot SS'}{MS}=\frac{SS'^2}{2MS}.$$
Из анализа треугольника MSS' видно, что

$$SS'=\frac{MS'}{\cos\frac{\alpha}{2}}=\frac{L}{2\cos\frac{\alpha}{2}};\quad MS=MS'tg\frac{\alpha}{2}=\frac{L}{2}tg\frac{\alpha}{2}.$$

Таким образом,

$$x=OS=\frac{L}{4\sin\frac{\alpha}{2}\cdot\cos\frac{\alpha}{2}}=\frac{L}{2\sin\alpha};\quad x=0{,}14\,м.$$

Задача № 12-2

d = 4 см

α = 20°

n = 1,6

R = ?

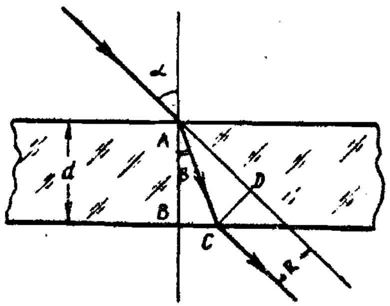


Рис. 17

Смещение луча равно CD (рис. 17). Рассмотрим прямоугольный треугольник CAD. Длина стороны CD может быть представлена

$$CD=AC\sin(\alpha-\beta).$$

Из рассмотрения треугольника ABC следует, что
$$AC=\frac{d}{\cos\beta}.$$

Таким образом,

$$R=CD=\frac{d\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}=d(\sin\alpha-\cos\alpha\cdot tg\beta).$$

По закону преломления
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=n.$$
Откуда
$$\sin\beta=\frac{\sin\alpha}{n};\quad\cos\beta=\frac{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}{n};\quad tg\beta=\frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}.$$
Следовательно,
$$R=d\sin\alpha\left(1-\frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}\right);\quad R=5{,}5\cdot10^{-3}\,м.$$

Задача № 12-3

h = 1,5 м

η = 0,6

m = 1,2

H = ?

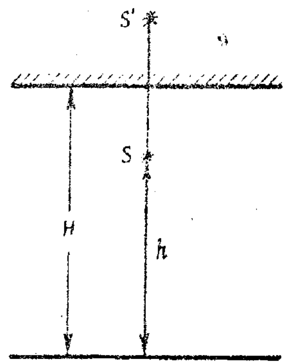


Рис. 18

Освещенность горизонтальной поверхности стола, создаваемая одним источником в точке под источником, равна (рис. 18)
$$E=\frac{I}{h^2},$$
где I – сила света источника.

Введение зеркала, расположенного параллельно поверхности стола, приводит к увеличению освещенности на величину $\Delta E=\eta\frac{I}{r^2}$,

где r – расстояние от поверхности стола до изображения мнимого источника S'. Из чертежа следует
$$r=2H-h.$$

По условию задачи

$$\frac{E+\Delta E}{E} = m$$

или

$$1 + \eta \frac{h^2}{(2H-h)^2} = m ,$$

откуда

$$H = \frac{h}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{\eta}{m-1}}\right); \quad H = 2 м .$$

Задача № 12-4

$d = 60$ см $= 0{,}60$ м

$k = 1{,}5$

$F = ?$

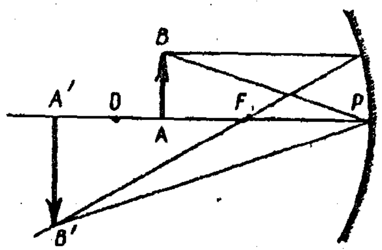


Рис. 19

По условию задачи (рис. 19)

$$PA = d , \quad \frac{A'B'}{AB} = k .$$

Фокусное расстояние сферического вогнутого зеркала для случая действительного изображения, находящегося на расстоянии f от зеркала, определяется формулой:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} .$$

Из подобия треугольников APB, $A'P'B'$ следует, что $\frac{f}{d} = \frac{A'B'}{AB}$, откуда $f = kd$. Следовательно,

$$F = d\frac{k}{k+1}; \quad F = 0{,}36 м .$$

Задача № 12-5

$\alpha = 20^\circ$

$n = 1{,}65$

$\alpha_2 = ?$

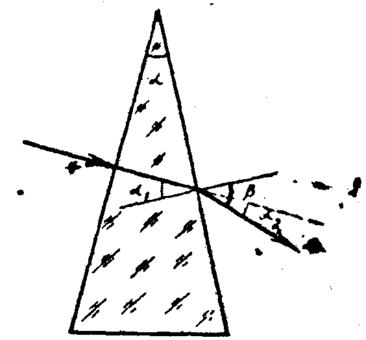


Рис. 20

Луч света, падающий перпендикулярно грани призмы, проходит ее без изменения направления до встречи со второй гранью (рис. 20). На поверхности второй грани луч преломляется, так что

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta} = \frac{1}{n} .$$

Угол между падающим лучом и лучом, выходящим из призмы, равен

$$\alpha_2 = \beta - \alpha_1 = \beta - \alpha ,$$

так как углы α_1 и α равны как углы со взаимно перпендикулярными сторонами.

Из закона преломления $\sin\beta = n\sin\alpha, \beta = \arcsin(n\sin\alpha_1)$ и, следовательно, $\alpha_2 = \arcsin(n\sin\alpha) - \alpha$, $\alpha_2 = 14{,}5^\circ$.

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 50-54)

Занятие 50. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. ЛИНЗЫ

Плоские и сферические преломляющие поверхности. Тонкая линза. Формула тонкой линзы. Оптическая сила линзы. Построение изображений. Правило знаков.

Л-3. § 85-93; Л-4. т. Ш, § 84-90, 94-98; Л-5.25.16; 25.19; 26.19; 26.20; 26.21; 26.23; 26.27; 26.29; 26.30.

З а н я т и е 51. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

З а н я т и е 52. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

Принцип суперпозиции световых волн. Когерентные источники. Явление интерференции света. Применение явления интерференции на практике. Явление дифракции световых волн. Дифракция от щели.

Л-3. § 104-113; Л-4. т.Ш, § 123-136; Л-5. 29.1; 29.4; 29.5; 29.6.

З а н я т и е 53. КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

Дисперсия света. Спектр испускания и поглощения. Фотоэффект. Основные законы фотоэффекта. Объяснение законов фотоэффекта на основе представления о фотонах. Фотоэлементы и их применение.

Л-3. § 103, 126-131, 138-142; Л-4.т. Ш, § 154-163, 167-169, 177-181, 190; Л-5.29.7; 29.9; 29.14; 29.15.

З а н я т и е 54. ОПТИКА. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ 13

Геометрическая оптика. Квантовые свойства света

Иногда задачи геометрической оптики могут быть решены аналитически с использованием выведенных формул сферического зеркала или линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Фокус линзы или зеркала и изображения могут быть мнимыми. В этих случаях соответствующие расстояния считаются отрицательными и формула записывается в виде

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F} \quad \text{(изображение и фокус мнимые)}$$

или

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad \text{(фокус действительный, изображение мнимое)}$$

Если из условия задачи неизвестно, является ли изображение или фокус действительным либо мнимым, то все члены считаются положительными. Результаты вычислений покажут, правильно ли выбраны знаки. При отрицательном ответе соответствующую величину следует считать мнимой.

При решении задач следует также иметь в виду, что фокусное расстояние линзы зависит не только от свойств материала линзы, но и от свойств окружающей среды. Так для двояковыпуклой линзы

$$F = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)},$$

где n - относительный показатель преломления, равный отношению абсолютного показателя преломления материала линзы к абсолютному показателю преломления окружающей среды.

Волновые представления о свете подтверждаются на опыте такими явлениями, как интерференция и дифракция. Поэтому решения некоторых задач этого раздела основываются на четком понимании этих явлений, в основе которых лежит принцип независимости действия световых лучей. Из чего следует, что в зависимости от разности хода двух когерентных лучей волны могут либо усиливать, либо ослаблять друг друга.

Основой квантовых представлений о свете являются такие понятия, как энергия кванта света - $h\nu$ или $\frac{hc}{\lambda}$ и его импульс - $\frac{h\nu}{c}$ или $\frac{h}{\lambda}$. Явления, подверждающие на опыте квантовую природу света, связаны с понятиями импульса и энергии. К этим явлениям относятся фотоэффект и наблюдаемое на опыте давление света.

З А Д А Ч И

13–1. Из стекла с показателем преломления $n = 1{,}65$ изготовлена плоско-выпуклая линза с радиусом кривизны $R = 25$ см. Найти линейное увеличение предмета, расположенного на расстоянии $a = 60$ см от центра линзы на ее главной оптической оси.

13–2. В стекле с показателем преломления $n = 1{,}52$ имеется сферическая полость радиусом $r = 3{,}0$ см, заполненная водой. Показатель преломления воды $n_2 = 1{,}33$. На полость падают параллельные лучи света. Определить радиус светового пучка, который проник в полость.

13–3. Светящаяся точка, находящаяся на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d = 80$ см от центра линзы, передвинута к линзе на отрезок $a = 10$ см. На какое расстояние сместилось изображение точки, если фокусное расстояние линзы $F = 50$ см?

13–4. Рубиновый лазер излучает в импульсе $N = 2{,}0 \cdot 10^{19}$ световых квантов с длиной волны $\lambda = 694$ нм. Чему равна средняя мощность вспышки лазера, если ее длительность $\tau = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ с?

13–5. При освещении металла монохроматическим светом фотоэлектроны приобретают скорость $V_1 = 3 \cdot 10^5$ м/с. Определить скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла при освещении его монохроматическим светом с частотой на $\Delta\nu = 10^{13}$ Гц больше.

Р е ш е н и я

Задача № 13–1

$n = 1{,}65$

$R = 25$ см $= 0{,}25$ м

$d = 60$ см $= 0{,}60$ м

$k = ?$

Линейное увеличение линзы равно

$$k = \frac{f}{d},$$

где f – расстояние от изображения до линзы. По формуле собирающей линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

Радиус кривизны R_1 – плоской поверхности $R_1 \to \infty$, поэтому $\frac{1}{R_1} \to 0$, для выпуклой поверхности $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}$.

Формула плоско-выпуклой линзы имеет вид

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1)\frac{1}{R}.$$

Из формулы линзы

$$\frac{d}{f} = (n-1)\,\frac{d}{R} - 1.$$

И, следовательно,

$$k = \frac{R}{(n-1)d - R}; \qquad k = 1{,}8.$$

Задача № 13–2

$n_1 = 1{,}52$

$R = 3{,}0$ см $= 0{,}03$ м

$n_2 = 1{,}33$

$r_1 = ?$

Поверхность пузырька воды в стекле является рассеивающей поверхностью (рис. 21). По закону преломления для луча, падающего на поверхность пузырька на расстоянии r от оптической оси, справедливо соотношение

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

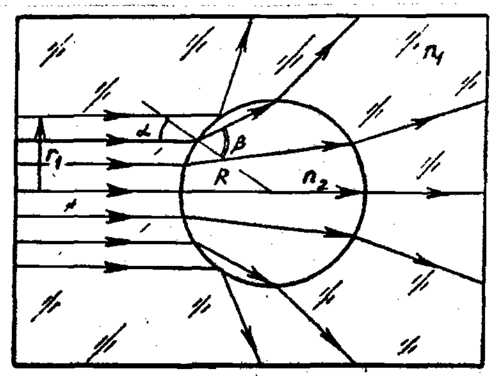


Рис. 21

При этом $r = R\sin\alpha$. Луч света не будет проникать в пузырек при $\beta = 90^\circ$ (полное внутреннее отражение), т.е. при $\sin\alpha_1 = \frac{n_2}{n_1}$. Тогда $r_1 = R\sin\alpha_1 = R\frac{n_2}{n_1}$; $r_1 = 2{,}6\cdot 10^{-2}$ м.

Задача № 13-3

F = 50 см = 0,50 м

d = 80 см = 0,80 м

a = 10 см = 0,10 м

b = ?

Положение изображения в начальный момент времени определяется расстоянием f от изображения до линзы. По формуле линзы

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}, \text{ откуда } f_1 = \frac{Fd}{d-F}.$$

После перемещения источника расстояние от изображения до линзы будет равно f_2.

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d-a}, \quad \text{откуда} \quad f_2 = \frac{F(d-a)}{d-a-F}.$$

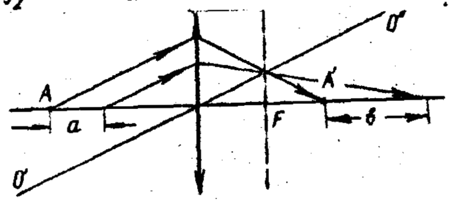


Рис. 22

Как видно из построения (рис. 22), например, методом побочной оптической оси ($O'O''$), изображение удалилось от линзы, поэтому

$$b = f_2 - f_1 = \frac{F(d-a)}{d-a-F} - \frac{Fd}{d-F}.$$

Откуда следует

$$b = \frac{F^2 a}{(d-a-F)(d-F)}; \quad b = 0{,}21 \text{ м}.$$

Задача № 13-4

$N = 2{,}0\cdot 10^{19}$

λ = 694 нм = $694\cdot 10^{-9}$ м

$\tau = 2{,}0\cdot 10^{-3}$ с

$P_{ср}$ = ?

Энергия кванта света с длиной волны λ равна $\frac{hc}{\lambda}$, где h – постоянная Планка, c – скорость света.

Полная энергия в импульсе

$$E = \frac{Nhc}{\lambda}.$$

И следовательно, среднее значение мощности в импульсе

$$P_{ср} = \frac{E}{\tau} = \frac{Nhc}{\lambda\tau}.$$

Постоянная Планка равна $h = 6{,}62\cdot 10^{-34}$ Дж·с, скорость света $c = 3\cdot 10^8$ м/с

$$P_{ср} = 2{,}9\cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Задача № 13-5

$V_1 = 3\cdot 10^5$ м/с

$\Delta\nu = 10^{13}$ Гц

V_2 = ?

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия кванта, выбивающего фотоэлектрон, равна

$$h\nu_1 = A + \frac{mV_1^2}{2},$$

где A – работа выхода электрона из металла, $\frac{mV_1^2}{2}$ – кинетическая энергия вылетающего электрона.

При изменении частоты кванта уравнение имеет вид

$$h(\nu_1 + \Delta\nu) = A + \frac{mV_2^2}{2}.$$

Вычитая из 2-го уравнения 1-е, получим

$$h\Delta\nu = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2}, \text{ откуда } V_2 = \sqrt{V_1^2 + \frac{2h\Delta\nu}{m}}.$$

Учитывая, что масса электрона $m = 9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг, получим $V_2 = 3{,}2\cdot 10^5$ м/с.

АННОТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ (ЗАНЯТИЯ 55-57)

Занятие 55. СТРОЕНИЕ АТОМА

Опыты Резерфорда и спектральные закономерности. Электронная оболочка и ядро атома. Взаимодействие атомов с излучением.

Л-3. § 146-153; Л-4. т. Ш, § 191-206, 221.

З а н я т и е 56. АТОМНОЕ ЯДРО

Составные части ядра: протоны и нейтроны. Характеристика атомных ядер: заряд, масса, время жизни. Энергия связи атомных ядер.

Л-3. § 157-173; Л-4. т. Ш, § 207-218, 222-225; Л-5. 29.17; 29.18; 29.19; 29.20.

З а н я т и е 57. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ

Приближенные вычисления

Числовые значения величин, которые приходится использовать при решении физических задач, являются большей частью приближенными. Поэтому при получении числового ответа рекомендуется соблюдать ряд правил, которые помогут избежать бесполезные затраты труда и времени.

1. При сложении и вычитании приближенных чисел окончательный результат округляют так, чтобы он не имел значащих цифр в тех разрядах, которые отсутствуют хотя бы в одном из чисел.

Например, при сложении чисел

$$\begin{array}{r} 3{,}35 \\ 1{,}27 \\ +\ 0{,}06162 \\ 1{,}0151 \\ \hline 5{,}69772 \end{array}$$

результат следует округлять до сотых долей (т.е. принять равным 5,70) в соответствии с количеством значащих цифр после запятой, имеющимся в числе 1,27 ж).

2. При умножении следует округлять сомножители так, чтобы каждый из них содержал столько значащих цифр (после запятой), сколько их имеет сомножитель с наименьшим числом таких цифр.

Например, вместо вычисления выражения

$$2{,}612 \times 1{,}3 \times 4{,}0735$$

следует вычислить выражение

$$2{,}6 \times 1{,}3 \times 4{,}1.$$

ж) Значащими цифрами называются все цифры, кроме нуля, а также и нуль в случае, когда он стоит между значащими цифрами или в конце числа и когда известно, что единиц соответствующего разряда в данном числе не имеется (например, в числе 5,70 нуль является значащей цифрой).

Окончательный результат надо округлить до такого же количества значащих цифр. При промежуточных вычислениях результат рекомендуется округлять с сохранением одной дополнительной значащей цифры.

3. При делении приближенных чисел следует использовать те же правила, что и при умножении.

4. При возведении в квадрат или куб следует в результате брать столько значащих цифр, сколько их имеется в основании степени.

Например, $1{,}32^2 = 1{,}74$.

5. При извлечении квадратного или кубического корня результат следует округлять до стольких значащих цифр, сколько их имеется в подкоренном выражении.

Например, $\sqrt{1{,}17 \times 10^{-8}} = 1{,}08 \times 10^{-4}$.

6. При вычислении сложных выражений следует применять указанные правила в соответствии с видом производимых действий.

Например, $\dfrac{(3{,}2 + 17{,}062) \times \sqrt{3{,}7}}{5{,}1 \times 2{,}007 \times 10^3}$.

Сомножитель 5,1 имеет наименьшее число значащих цифр – две. Поэтому результаты всех промежуточных вычислений следует округлять до трех значащих цифр:

$$\frac{(3{,}2+17{,}062)\sqrt{3{,}7}}{5{,}1\times 2{,}007\times 10^3} = \frac{20{,}3 \times 1{,}92}{10{,}3 \times 10^3} = \frac{39{,}0}{10{,}3\times 10^3} = 3{,}8\times 10^{-3}$$

(окончательный результат округляется в данном примере до двух значащих цифр).

Следует иметь в виду, что приводимые числовые данные в большинстве задач домашних заданий подбираются таким образом, что вычисления ответов могут выполняться с использованием счетной логарифмической линейки, т.е. с точностью до трех значащих цифр.

Основные физические и некоторые астрономические величины

Физические

Нормальное ускорение свободного падения	$g_n = 9{,}80665$ м/с^2 $\quad 9{,}8$ м/с^2
Постоянная тяготения (гравитационная постоянная)	$G = 6{,}6720 \cdot 10^{-11}$ м^3/кг·с^2
Нормальное атмосферное давление	атм $= 101\,325$ Н/м^2 $\quad 1{,}013 \cdot 10^5$ Па
Число Авогадро	$N_A = 6{,}02204 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38066 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Универсальная газовая постоянная	$R = 8{,}31441$ Дж/моль·К
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 8{,}85418782 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Заряд электрона	$e = 1{,}602189 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса протона	$m_p = 1{,}672648 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса электрона	$m_e = 9{,}10953 \cdot 10^{-31}$ кг
Атомная единица массы (а.е.м.)	$= 1$ а.е.м. $= 1{,}66 \times 10^{-27}$ кг (соответствует энергия 931,3 МэВ)
Число Фарадея	$F = 96{,}484$ Кл/моль
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м $= 1{,}26 \cdot 10^{-6}$ Г·м$^{-1}$
Скорость света в вакууме	$c = 299792458$ м/с $\quad 3 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Планка	$\hbar = 6{,}626176 \cdot 10^{-34}$ Дж.с

Астрономические

Средний радиус Земли	$6{,}37 \cdot 10^6$ м
Средняя плотность Земли	5 500 кг/м^3
Масса Земли	$5{,}96 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6{,}95 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$1{,}97 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Луны	$1{,}74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7{,}3 \cdot 10^{22}$ кг
Среднее расстояние от Луны до Земли	$3{,}84 \cdot 10^8$ м
Период обращения Луны вокруг Земли	27 суток 7 часов 43 мин
Средняя плотность Солнца	1 400 кг/м^3
Среднее расстояние от Земли до Солнца	$1{,}49 \cdot 10^8$ км

Список замеченных опечаток

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
15	4-я сверху	$V = 2{,}5$ м/с	$V = 2{,}6$ м/с	Авторов
15	13-я снизу	t_2	t_1	—"—
16	1-я снизу	соединив	совместив	—"—
17	12-я сверху	$S = H + \|x\|$	$S = 2H - x$	—"—
17	17-я сверху	соединим	совместим	—"—
17	4 и 5-я сверху	$x_2 - x_1$	$\|x_2 - x_1\|$	—"—
32	9-я сверху	$V_1 = 2V$	$V_1 = 2V \operatorname{tg} \alpha$	—"—