

УДК 53.01
ББК 22.3
ГРНТИ 29.01.45
ВАК 13.00.02

Педагогическое проектирование системы олимпиадных задач по электродинамике в школе

Т. В. Галоватюк  ¹

МБОУ г. Ульяновска «Средняя школы № 85», 432066, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 28 апреля 2021 года мая 2021 года*
Опубликована 12 июня 2021 года

Аннотация. Рассмотрен процесс педагогического проектирования системы олимпиадных задач по электродинамике в школе. В процессе выполнения работы была внедрена система задач и заданий по электродинамике для подготовки к олимпиадам по физике учащихся одиннадцатых классов общеобразовательной школы. Проведён анализ задач олимпиадного типа по электродинамике. В ходе выполнения работы проведён педагогический эксперимент, который показал эффективность системы подготовки учащихся к олимпиадам по физике. В результате педагогического эксперимента показано, что разработанная система олимпиадных задач по электродинамике позволяет проводить эффективную подготовку к решению задач по физике олимпиадного типа.

Ключевые слова: физика, физическое образование, задачи по физике, система подготовки учащихся, система задач по физике, педагогический эксперимент

RACS: 01.40.-d

Введение

В настоящее время существует большое количество олимпиад по физике и физико-математических дисциплин, поэтому становится актуальной создание системы подготовки школьников к олимпиадам по физике различного уровня. Одной из приоритетных задач современного образования по физике в старших классах общеобразовательной школы становится обучение и воспитание наиболее подготовленных учащихся по физике к участию к олимпиадах различных уровней. При этом важным оказывается не только развитие предметной подготовки учащихся по физике, но и выявление этой подготовки, ещё никак не проявившейся у обучающихся.

Цель работы является исследование внедрение системы олимпиадных задач по электродинамике в общеобразовательной школе.

Объектом исследования является система олимпиадных задач по электродинамике в 11 классе общеобразовательной школы.

Предметом исследования является процесс обучения решению задач по электродинамике разного уровня и типа в 11 классе общеобразовательной школы.

Научная новизна работы заключается в совместном использовании традиционных и смешанных форм подготовки к олимпиадам по физике.

¹E-mail: nazarowa.tanja@yandex.ru

В качестве методов исследования применяются методы решения олимпиадных задач по электродинамике в 11 классе общеобразовательной школы.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать систему олимпиадных задач по электродинамике в систематически организованной подготовке в традиционной форме в сочетании с использованием информационных технологий, то можно создать эффективную систему подготовки к олимпиадам по физике в общеобразовательной школе.

Обзор работ по методике решения задач по физике в школе

Решение задач по физике в процессе изучения физики в общеобразовательной школе играет важнейшую роль в развитии мышления учащихся. Процесс решения задач по физике является неотъемлемой частью всего многопланового процесса изучения курса физики в общеобразовательной школе. С помощью задач по физике учащиеся постигают премудрости физики, применяют положения физических теорий для анализа конкретных ситуаций, учатся логически рассуждать, преодолевая возникающие трудности, избавляются от заблуждений. Преподаватель физики имеет возможность повлиять на ход мыслей учащихся, ненавязчиво, казалось бы, но довольно настойчиво, раз за разом повторяя негромко одни и те же истины, на которые можно опереться не только в простых типовых задачах, но и при решении трудных задач по физике. Результаты разработки системы олимпиадных задач по физике были описаны в работах [1,2].

Общие методические вопросы решения задач по физике рассматривались в работах [3–9]. Креативные методы и эвристические приёмы решения сложных и нестандартных задач по физике рассматривались в работах [10–15]. Методическому аспекту формирования умений решения задач, развитию логического, предметно-специфического мышления учащихся всегда уделялось серьезное внимание в научных педагогических исследованиях (по физике, прежде всего, следует отметить работы А. В. Усовой [16], Н. Н. Тулькибаевой, А. А. Боброва, Б. Ф. Абросимова, В. К. Кобушкина, С. Е. Коменецкой, В. П. Орехова [3, 5], О. Ф. Кабардина, В. А. Орлова, И. Л. Касаткиной, Г. А. Дзида, Ю. А. Саурова и др.). В работе [16] была предложена структура учебной деятельности по решению физических задач. Разветвлённая система из разноуровневых задач по физике приводится в [17]. Например, методические аспекты системы задач по физике рассматривалась в работе [18]. Компьютерная интерактивная система решения задач по физике рассматривалась в работе [19]. Общие вопросы педагогики в методике преподавания были рассмотрены в [20–23].

Элементы системы олимпиадных задач по электродинамике

Система олимпиадных задач по физике направлена на практическую реализацию одной из приоритетных задач современного школьного образования по физике, которая становится ключевым элементом в процессе обучения физике. При этом важным оказывается не только последовательная реализация стандартных методов углубленной подготовки по физике, но и развитие олимпиадной подготовки учащихся по физике, необходимой не только для успешного поступления в ведущие вузы, но и успешного обучения в вузах и становления будущего специалиста в области физики. Значение работы с одарёнными учащимися трудно переоценить в связи с характерными особенностями в социально-экономическом развитии страны в настоящее время, приводящими к острой необходимости подготовки специалистов самого высокого уровня в области физики.

При создании системы задач по физике из задач, связанных между собой и имеющих несколько уровней сложности, проводят всесторонний анализ учебного материала по физике в рамках выбранных разделов и тем, устанавливают соответствие темам,

производят отбор содержания, производят выбор методов и методических приёмов для составления и отбора задач, выполняют техническое создание системы задач по физике в соответствии с предъявляемыми требованиями к уровню олимпиадных заданий.

В самостоятельной части работы разработана система олимпиадных задач по электродинамике для 11 класса. Произведён подбор и анализ олимпиадных задач по электродинамике по программе Всероссийской олимпиады школьников по физике для 11 класса. Выполним анализ олимпиадных задач по электродинамике в одиннадцатом классе общеобразовательной школы.

Задача 1. Электрические заряды и проводящая сфера

Экспериментатор Глюк поместил точечный заряд Q_1 на расстоянии $R/3$ от центра тонкостенной незаряженной проводящей сферы O (рис. 1). Радиус тонкостенной незаряженной проводящей сферы равен R . Снаружи тонкостенной незаряженной проводящей сферы находится точечный заряд Q_2 на расстоянии $2R$ от центра сферы. Сфера расположена на расстоянии от Земли значительно большем R и соединена с Землёй через источник с электродвижущей силой \mathcal{E} и ключ K . Потенциал Земли примите равным нулю.

1. Найдите потенциал электрического поля φ в центре сферы при разомкнутом ключе K .
2. Найдите электрический заряд Q сферы после замыкания ключа K и наступления равновесия.

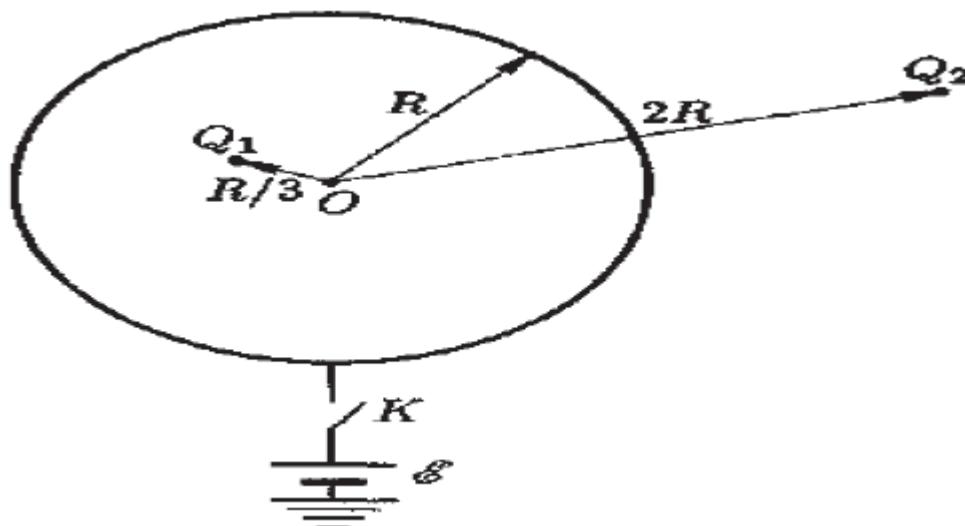


Рис. 1. Тонкостенная незаряженная проводящая сфера.

Решение.

1. До замыкания ключа заряды на внутренней и внешней поверхностях сферы распределяются неравномерно, но их суммарный заряд равен нулю. Потенциал в центре сферы

$$\varphi = k \frac{Q_1}{R/3} + k \frac{Q_2}{2R} = \frac{k}{R} \left(3Q_1 + \frac{Q_2}{2} \right). \tag{1}$$

2. После замыкания ключа на внутренней и внешней поверхностях сферы появятся заряды q_1 и q_2 . Причём $q_1 = -Q_1$. Найдём q_2 . Потенциал сферы равен \mathcal{E} и создаётся зарядами Q_2 и q_2 , так как заряды Q_1 и q_1 вне сферы поля не создают. Уберём мысленно заряды Q_1 и q_1 . Распределение заряда q_2 при этом не изменится. В поле, создаваемом зарядами Q_2 и q_2 , потенциал сферы (равный \mathcal{E}) равен потенциалу в центре сферы:

$$k \frac{q_2}{R} + k \frac{Q_2}{2R} = \mathcal{E}. \tag{2}$$

Откуда

$$q_2 = \frac{\mathcal{E}R}{k} - \frac{Q_2}{2} = 4\pi\epsilon_0\mathcal{E}R - \frac{Q_2}{2}. \quad (3)$$

$$Q = q_1 + q_2 = -Q_1 - \frac{Q_2}{2} + 4\pi\epsilon_0R\mathcal{E}. \quad (4)$$

Задача 2. Три батарейки

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь (рис. 2), подключив по ошибке одну из батареек параллельно, а не последовательно двум другим. Найдите силу тока через резисторы в получившейся электрической цепи. Каждый резистор имеет сопротивление R . Все батарейки одинаковы и имеют электродвижущую силу \mathcal{E} . Внутренние сопротивления батареек малы по сравнению с величиной сопротивления R .

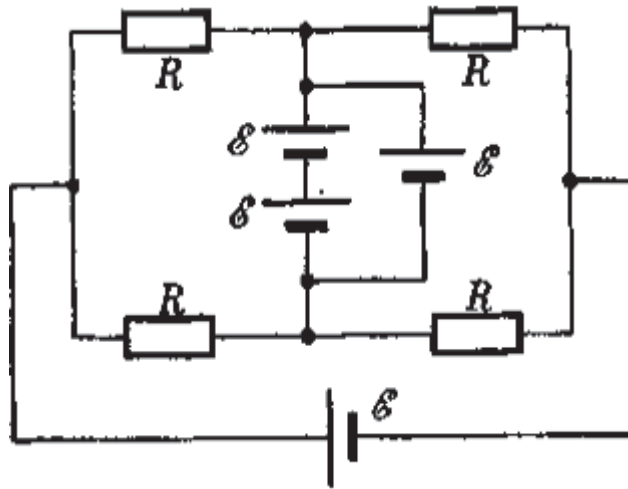


Рис. 2. Электрическая схема с тремя батарейками.

Решение.

Прежде всего, исследуем подробнее систему одинаковых батареек в центре схемы (рис. 3). Напряжение U_{12} между точками 1 и 2 можно рассчитать по двум формулам

$$U_{12} = 2\mathcal{E} - 2Ir, \quad (5)$$

$$U_{12} = \mathcal{E} + (I - \Delta I)r, \quad (6)$$

откуда $U_{12} = \frac{4}{3}\mathcal{E} - \frac{2}{3}\Delta Ir$. Это означает, что система ведёт себя как одна батарейка с электродвижущей силой $\frac{4}{3}\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением $\frac{2}{3}r$, которым в дальнейшем можно пренебречь. Заменим схему на эквивалентную схему (рис. 4). Из соображений симметрии $I_1 = I_2$.

Следовательно,

$$\mathcal{E} = U_{14} = I_1R + (I_1 + \Delta I)R, \quad (7)$$

$$I_1R = U_{13} = U_{12} + U_{23} = (I_2 + \Delta I)R - \frac{4}{3}\mathcal{E}, \quad (8)$$

откуда

$$I_1 = -\frac{1}{6}\frac{\mathcal{E}}{R}, \quad (9)$$

$$\Delta I = \frac{4}{3}\frac{\mathcal{E}}{R}. \quad (10)$$

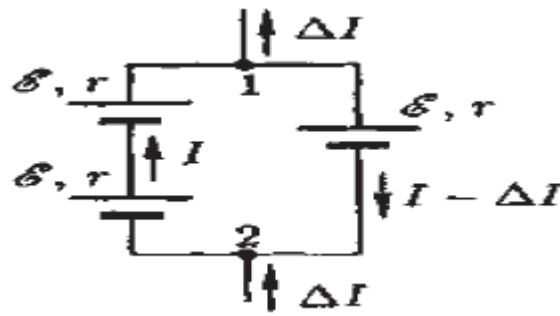


Рис. 3. Электрическая схема с тремя батарейками.

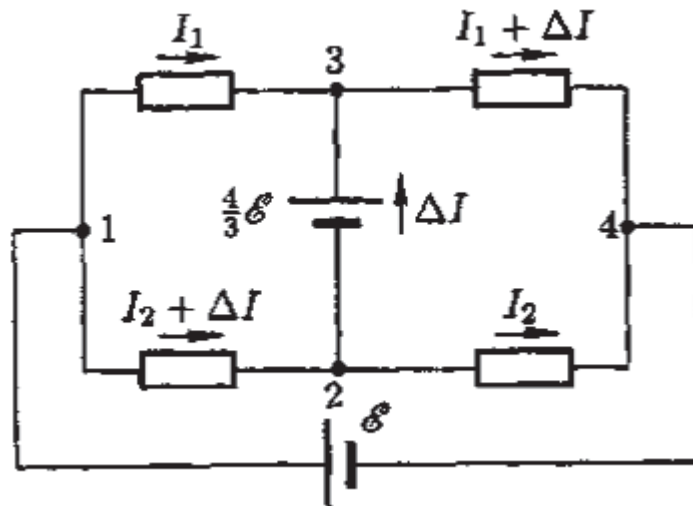


Рис. 4. Эквивалентная схема.

Таким образом, токи через резисторы

$$I_1 = I_2 = -\frac{1}{6} \frac{\mathcal{E}}{R}, \quad (11)$$

$$I_1 + \Delta I = I_2 + \Delta I = \frac{7}{6} \frac{\mathcal{E}}{R}. \quad (12)$$

Задача 3. Зарядка-разрядка.

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь (рис. 5), в которой все элементы можно считать идеальными. Конденсатор ёмкостью C не заряжен. Электродвижущая сила батареи задана. Ключ K замыкают, а затем размыкают в тот момент, когда скорость изменения энергии, запасённой в конденсаторе, составляет 75% от максимальной энергии. Найдите количество теплоты, выделившееся в электрической цепи при замыкании ключа.

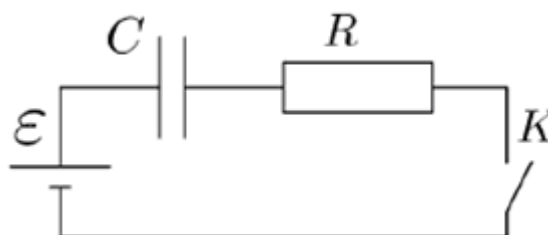


Рис. 5. Схема электрической цепи.

Решение.

Скорость изменения энергии конденсатора:

$$P = \frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2C} \right) = \frac{q}{C} \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} I. \quad (13)$$

Здесь I – сила тока в электрической цепи, q – заряд на конденсаторе.

Запишем закон Ома для полной электрической цепи

$$\varepsilon = RI + \frac{q}{C}. \quad (14)$$

Работа батареи идёт на зарядку конденсатора и на тепловые потери на резисторе:

$$\varepsilon I = P + I^2 R. \quad (15)$$

Максимум мощности достигается при силе тока $I = \varepsilon / (2R)$.

Из уравнения (14) найдём электрический заряд на ёмкости:

$$q = C \left(\varepsilon - \frac{\varepsilon}{2R} R \right) = \frac{C\varepsilon}{2}. \quad (16)$$

Из (15) найдём максимальную скорость изменения энергии:

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4R}. \quad (17)$$

По условию в момент размыкания ключа

$$P = \frac{3}{16} \frac{\varepsilon^2}{R}. \quad (18)$$

Подставляя это выражение в уравнение (17) получим:

$$I^2 - \frac{\varepsilon}{R} I + \frac{3}{16} \left(\frac{\varepsilon}{R} \right)^2 = 0.$$

Решая это квадратное уравнение, найдём:

$$I = \frac{\varepsilon}{2R} \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{\varepsilon}{R} \right)^2 - \frac{3}{16} \left(\frac{\varepsilon}{R} \right)^2} = \frac{\varepsilon}{2R} \pm \frac{\varepsilon}{4R}.$$

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{4R}, \quad (19)$$

$$I_2 = \frac{3\varepsilon}{4R}. \quad (20)$$

Из уравнения (14) найдём соответствующие заряды:

$$q_1 = \frac{3C\varepsilon}{4}, \quad q_2 = \frac{C\varepsilon}{4}.$$

Джоулево тепло, выделившееся на резисторе равно:

$$W = \left(q\varepsilon - \frac{q^2}{2C} \right). \quad (21)$$

Соответственно,

$$W_1 = \frac{24}{32}C\varepsilon^2 - \frac{9}{32}C\varepsilon^2 = \frac{15}{32}C\varepsilon^2, \quad W_2 = \frac{8}{32}C\varepsilon^2 - \frac{1}{32}C\varepsilon^2 = \frac{7}{32}C\varepsilon^2.$$

Таким образом, задача имеет два решения:

$$W_1 = \frac{15}{32}C\varepsilon^2, \quad W_2 = \frac{7}{32}C\varepsilon^2. \quad (22)$$

Ответ: $W_1 = \frac{15}{32}C\varepsilon^2$, $W_2 = \frac{7}{32}C\varepsilon^2$.

Задача 4. Перезарядка конденсаторов

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь из трёх одинаковых конденсаторов ёмкостью C , резистора сопротивлением R и диода, которая представлена на рис. 6. Вольт-амперная характеристика диода, включённого в электрическую цепь, представлена на рис. 7. Первоначально левый (на рис. 6) конденсатор заряжен до напряжения U_0 , при этом заряд верхней пластины является положительным. Два других конденсатора не заряжены, ключ разомкнут. Затем ключ замыкают. Определите:

1. напряжение на конденсаторах через большой промежуток времени после замыкания ключа,
2. тепло, которое выделится в схеме к этому моменту времени,
3. тепло, выделившееся к этому моменту на диоде,
4. тепло, выделившееся к этому моменту на резисторе.

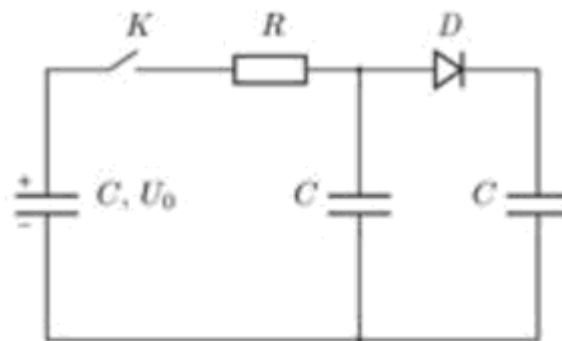


Рис. 6. Схема электрической цепи.



Рис. 7. Вольт-амперная характеристика диода.

Решение.

Нужно рассмотреть два случая: малых напряжений, U_0 когда правый конденсатор вообще не будет заряжаться, так как напряжение на среднем конденсаторе не превзойдёт напряжение открытия диода U_D , и случая, когда заряжается и правый конденсатор. Если диод не открывается, то первоначальный заряд левого конденсатора делится поровну между двумя конденсаторами. Напряжения на конденсаторах через большой промежуток времени после замыкания ключа:

$$U_1 = \frac{U_0}{2}, \quad U_2 = \frac{U_0}{2}, \quad U_3 = 0 \quad \dots$$

Видно, что этот случай реализуется при $U_D \geq U_0/2$. Выделившееся в цепи количество теплоты Q найдём из закона сохранения энергии:

$$Q = \frac{CU_0^2}{2} - 2 \frac{C(U_0/2)^2}{2} = \frac{CU_0^2}{4}.$$

Поскольку ток через диод не протекал, всё тепло выделилось на резисторе.

Теперь рассмотрим случай $U_D \leq U_0/2$. При зарядке правого конденсатора напряжение на нём U_3 будет меньше, чем напряжение на среднем U_2 на величину U_D . Напряжения на левом и среднем конденсаторах U_1 и U_2 к окончанию перезарядки будут равными:

$$U_1 = U_2 = U.$$

Условие сохранения заряда:

$$CU_0 = 2CU + C(U - U_D),$$

откуда

$$U = \frac{U_0 + U_D}{3}.$$

Общее количество теплоты, выделившееся к концу процесса в схеме будет равно разности начальной и конечной энергий конденсаторов:

$$Q = \frac{CU_0^2}{2} - 2 \frac{CU^2}{2} - \frac{C(U - U_D)^2}{2} = \frac{C(U_0^2 - U_D^2)}{3}.$$

Напряжение на третьем конденсаторе:

$$U_3 = U - U_D = \frac{(U_0 - 2U_D)}{3}.$$

Тепло, выделившееся на диоде

$$Q_D = q_D U_D,$$

где $q_D = CU_3$ – заряд правого конденсатора к концу процесса перезарядки. Таким образом

$$Q_D = \frac{C(U_0 U_D - 2U_D^2)}{3}.$$

Остальное тепло выделится на резисторе:

$$Q_R = Q - Q_D = \frac{C(U_0^2 - U_0 U_D + U_D^2)}{3}.$$

Задача 5. Конденсаторы

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь, показанную на рис. 8. Параметры собранной электрической цепи указаны на схеме (рис. 8). Вначале ключ К разомкнут.

1. Определите напряжение на конденсаторе ёмкостью C .
2. Определите силу тока, который потечёт через резистор сопротивлением $3R$, сразу после замыкания ключа К.
3. Какое напряжение установится на конденсаторе ёмкостью C после того, как переходные процессы в цепи завершатся?

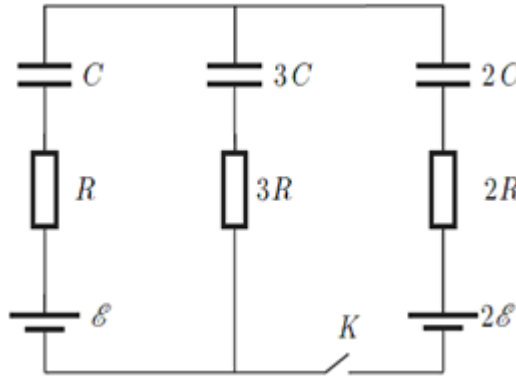


Рис. 8. Схема электрической цепи.

Решение.

1. В самом начале в замкнутом контуре, состоящем из ёмкостей C и $3C$, ток не протекал. На рис. 9 изображена эквивалентная схема этой цепи. Суммарный заряд, сосредоточенный на верхних обкладках конденсаторов C и $3C$, равен нулю.

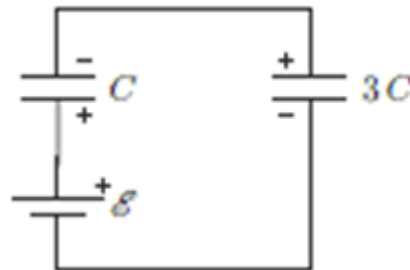


Рис. 9. Схема электрической цепи.

Значит, $\varepsilon = \frac{q}{C} + \frac{q}{3C} = \frac{4q}{3C}$. После алгебраических преобразований найдём искомое напряжение:

$$U_C = \frac{q}{C} = \frac{3}{4}\varepsilon .$$

2. Сразу после замыкания ключа К, заряд и напряжение на конденсаторе $2C$ равны нулю. Согласно второму закону Кирхгофа для контура 1 (рис. 10) запишем:

$$\varepsilon = -I_1R + U_C + U_{3C} + I_33R . \tag{23}$$

Поскольку $\varepsilon = U_C + U_{3C}$, уравнение (23) примет вид:

$$I_1R = I_33R ,$$

или

$$I_1 = 3I_3 .$$

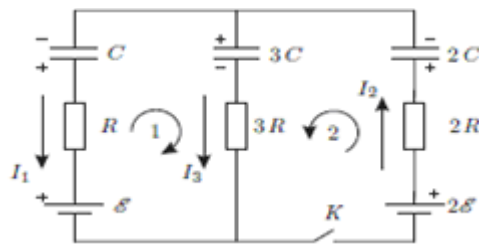


Рис. 10. Схема электрической цепи.

Согласно второму закону Кирхгофа для контура 2 запишем:

$$2\varepsilon = I_2 2R + U_{3C} + I_3 3R ,$$

или

$$\frac{7\varepsilon}{4R} = 2I_2 + 3I_3 .$$

По первому закону Кирхгофа $I_2 = I_1 + I_3 = 4I_3$. Тогда

$$I_3 = \frac{7\varepsilon}{44R} . \tag{24}$$

3. После того, как переходные процессы завершатся, ток по контурам течь не будет. На рис. 11 изображена эквивалентная схема этой цепи. Суммарный заряд, сосредоточенный на верхних обкладках конденсаторов C , $2C$ и $3C$, равен нулю: $q_1 + q_2 = q_3$.

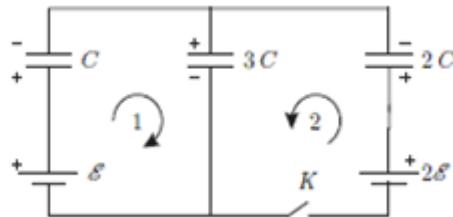


Рис. 11. Схема электрической цепи.

Для контура 1 имеем

$$\varepsilon = \frac{q_1}{C} + \frac{q_3}{3C} , \tag{25}$$

Для контура 2 имеем

$$2\varepsilon = \frac{q_2}{2C} + \frac{q_3}{3C} . \tag{26}$$

Решая полученную систему уравнений, найдём

$$q_1 = \frac{1}{6}C\varepsilon , \quad U_1 = \frac{q_1}{C} = \frac{1}{6}\varepsilon . \tag{27}$$

Задача 6. Заряженный конденсатор

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь, показанную на рис. 12). В этой электрической цепи конденсатор C заряжен до напряжения 3ε . Затем ключ K замыкают.

Найдите:

1. максимальную силу тока в цепи,
2. силу тока в цепи в момент времени, когда заряд на конденсаторе становится равным нулю,

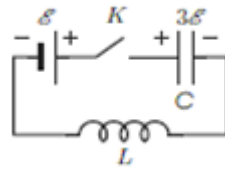


Рис. 12. Схема электрической цепи.

3. заряд на конденсаторе в момент времени, когда сила тока в цепи становится равной нулю.

Все элементы можно считать идеальными.

Решение.

1) Начальный заряд на конденсаторе $q_0 = 3C\varepsilon$. После замыкания ключа ток течет против электродвижущей силы. Максимальной сила тока будет тогда, когда заряд на конденсаторе будет равен $q = C\varepsilon$. Электродвижущая сила совершит отрицательную работу. Запишем закон сохранения энергии:

$$(q - q_0) \varepsilon = \frac{q^2}{2C} - \frac{q_0^2}{2C} + \frac{LI_{\max}^2}{2}, \quad (28)$$

$$I_{\max} = \varepsilon \sqrt{\frac{4C}{L}}.$$

2) На конденсаторе заряда нет. Поэтому электродвижущая сила совершает работу $= -\varepsilon q_0$.

Запишем закон сохранения энергии:

$$-\varepsilon q_0 = -\frac{q_0^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}. \quad (29)$$

Отсюда $I = \varepsilon \sqrt{\frac{3C}{L}}$.

3) Пусть против электродвижущей силы протекает положительный заряд q и $\ell = 0$. Запишем закон сохранения энергии:

$$-\varepsilon q = \frac{(q_0 - q)^2}{2C} - \frac{q_0^2}{2C}. \quad (30)$$

Одно из решений $q = 0$ совпадает с начальным положением системы. Заряд на конденсаторе при этом равен $Q_1 = 3C\varepsilon$. Второе решение $q = 4C\varepsilon$ соответствует случаю, когда заряд на конденсаторе равен $Q_2 = q_0 - q = -C\varepsilon$.

Знак заряда противоположный начальному. То есть

$$Q_1 = 3C\varepsilon, \quad (31)$$

$$Q_2 = -C\varepsilon. \quad (32)$$

Задача 7. Цепь с конденсатором

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь, показанную на рис. 13. Электрическая схема (рис. 13) состоит из источника постоянного тока с электродвижущей силой ε и внутренним сопротивлением r , конденсатора ёмкостью C и резистора R . В начальный момент конденсатор не заряжен.

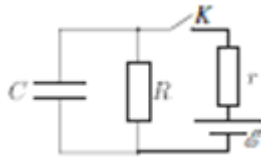


Рис. 13. Схема электрической цепи.

Ключ К в схеме сначала замыкают, а затем размыкают в тот момент, когда скорость изменения энергии, запасённой в конденсаторе, достигает максимума. Какое количество теплоты выделится в схеме после размыкания ключа?

Решение.

Энергия, запасённая в конденсаторе, $W = q^2/(2C)$, где q – заряд на обкладках конденсатора, а C – ёмкость конденсатора.

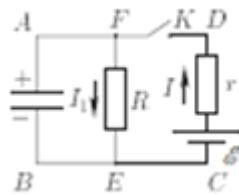


Рис. 14. Схема электрической цепи.

Дифференцируя выражение для энергии по времени, получим:

$$\frac{dW}{dt} = P = UI_C . \tag{33}$$

Запишем второе правило Кирхгофа для контура ABCD (рис.14), обозначая через I силу тока, текущего через резистор r :

$$Ir + U = \varepsilon , \tag{34}$$

откуда

$$I = (\varepsilon - U) / r . \tag{35}$$

Применяя второе правило для контура ABEF, получим:

$$U = (I - I_C) R , \tag{36}$$

где учтено, что сила тока I_R , текущего через резистор R , равна $I_R = I - I_C$.

Подставим в (36) выражение из (35). Тогда

$$I_C = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon R - U(R + r)}{Rr} . \tag{37}$$

Исследуем на максимум произведение

$$U \frac{dq}{dt} = U \frac{\varepsilon}{r} - U^2 (R + r) / Rr . \tag{38}$$

Это квадратный многочлен, представляющий из себя уравнение параболы, ветви которой направлены вниз. Его значение достигает максимума в вершине параболы, то есть при

$$U = \frac{R}{2(R + r)} \varepsilon . \tag{39}$$

Такое же напряжение будет на конденсаторе в момент размыкания ключа. Тогда количество теплоты, выделившееся в цепи после размыкания ключа, равно

$$Q = W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C\varepsilon^2}{8} \left(\frac{R}{R+r} \right)^2. \quad (40)$$

Задача 8. Нелинейный элемент

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь, изображённую на рис. 15, которая состоит из батареи с электродвижущей силой $\varepsilon = 10$ В, резистора сопротивлением $R = 100$ Ом, конденсатора ёмкости $C = 8$ мкФ и нелинейного элемента, вольт-амперная характеристика которого изображена на рис. 16. В некоторый момент времени ключ К замыкается. Предполагая, что сила тока, протекающего через нелинейный элемент в любой момент времени много меньше силы тока, протекающего через батарею, определите количество теплоты, выделившейся на нелинейном элементе.

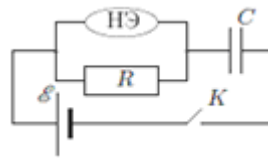


Рис. 15. Схема электрической цепи.

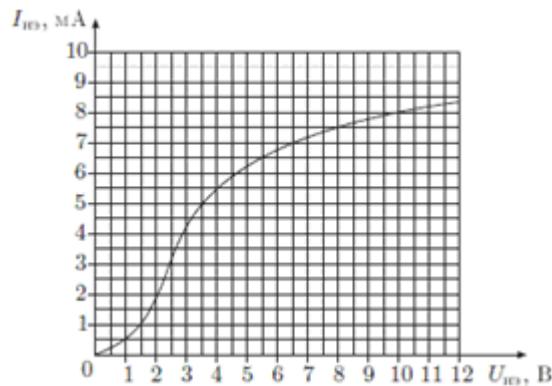


Рис. 16. Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента.

Решение.

Пусть q – заряд конденсатора. По закону Ома $U_n + \frac{q}{C} = \varepsilon$, следовательно, получаем $dq = -CdU_n$. Рассмотрим малый отрезок времени dt :

$$dq = \left(I_n + \frac{U_n}{R} \right) dt ,$$

следовательно, можно выразить

$$dt = \frac{dq}{I_n + \frac{U_n}{R}} \approx -\frac{RCdU_n}{U_n} ,$$

так как $I_n \ll \frac{U_n}{R}$.

Выделившееся на нелинейном элементе количество теплоты равно:

$$Q = \int_0^\infty U_n I_n dt \approx -RC \int_{10}^0 I_n dU_n ,$$

так как при протекании электрического тока напряжение на нелинейном элементе изменяется от ε в первый момент времени до нуля по окончании зарядки конденсатора. Поэтому $Q = RCS$, где S – площадь под графиком вольт-амперной характеристики. По графику определяем, что $S = (51.5 \pm 0.5)$ мВт значит $Q = (41.2 \pm 0.4)$ мкДж.

Задача 9. Цепь и соленоид

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь, изображённую на рис. 17, которая состоит из двух резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 и конденсатора ёмкостью C . Участок АВ провода проходит вдоль диаметра одного из витков длинного соленоида, сила тока в котором линейно растёт со временем. Найдите электрический заряд q конденсатора в установившемся режиме в электрической цепи, если электрический ток в резисторе R_1 при этом равен I_1 .

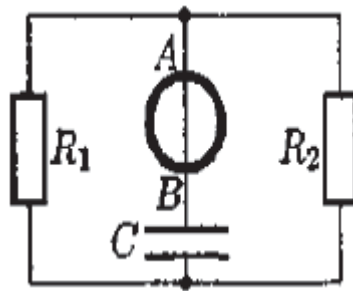


Рис. 17. Электрическая цепь с соленоидом.

Решение.

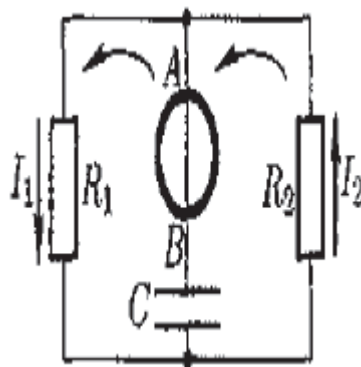


Рис. 18. Электрическая цепь с соленоидом с расстановкой токов в цепи.

Из-за изменения магнитного поля в каждом контуре возникает электродвижущая сила индукции, равная скорости изменения потока через этот контур. Пусть \mathcal{E} – электродвижущая сила в контуре, содержащем R_1 и C (рис. 18), тогда в контуре, содержащем R_1 и R_2 , ЭДС равна $2\mathcal{E}$. Запишем второе правило Кирхгофа для этих контуров:

$$\mathcal{E} = I_1 R_1 + \frac{q}{C}, \tag{41}$$

$$2\mathcal{E} = I_1 R_1 + I_2 R_2. \tag{42}$$

В установившемся режиме заряд конденсатора постоянен, ток через него не идёт, и, следовательно, $I_1 = I_2$. Решая уравнение, находим

$$q = \frac{1}{2} C I_1 (R_2 - R_1). \tag{43}$$

Задача 10. Заряд, полый шар и диэлектрик

Теоретик Баг поместил маленький шарик, обладающий электрическим зарядом Q , в центр закреплённого незаряженного проводящего полого шара с радиусами концентрических поверхностей R_1 и R_2 ($R_1 < R_2$). Полый шар окружён снаружи концентрическим слоем диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε и радиусом наружной поверхности R_3 (рис. 19). Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы удалить шарик через узкий канал в слоях проводника и диэлектрика на расстояние от полого шара, значительно большее R_3 ?

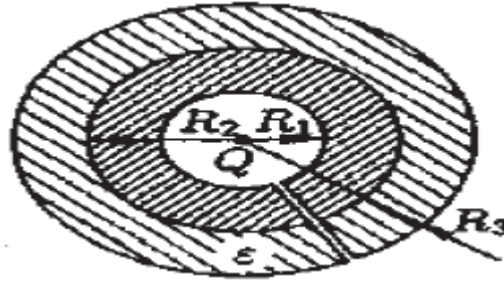


Рис. 19. Система, состоящая из заряда, полого шара и диэлектрика.

Решение.

Минимальная работа для удаления шарика через узкий канал в слоях проводника и диэлектрика равна изменению энергии электрического поля. Сравнив мысленно картины полей в начале и в конце опыта, можно заключить, что это изменение энергии есть разность $W_1 - W_2$, где W_1 – энергия поля в слое диэлектрика с радиусами поверхностей R_2 и R_3 (поле создано зарядом Q , помещённым в центр этого слоя), W_2 – энергия поля в «пустом» объёме между сферами с радиусами R_1 и R_3 (поле создано зарядом Q , помещённым в общий центр этих сфер). Энергии W_1 и W_2 удобно искать как энергии соответствующих сферических конденсаторов с ёмкостями C_1 и C_2 , имеющих на обкладках заряд Q .

Найдём C_2 и W_2 . Напряжение на конденсаторе с радиусами R_1 и R_3 :

$$U = \left(k \frac{Q}{R_1} + k \frac{-Q}{R_3} \right) - 0 = kQ \frac{R_3 - R_1}{R_1 R_3}, \tag{44}$$

где $k = 1 / (4\pi\varepsilon_0)$. Ёмкость конденсатора

$$C_2 = \frac{Q}{U} = \frac{R_1 R_3}{k (R_3 - R_1)}, \tag{45}$$

то энергия

$$W_2 = \frac{Q^2}{2C_2} = \frac{kQ^2 (R_3 - R_1)}{2R_1 R_3}. \tag{46}$$

Аналогично находим

$$C_1 = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon R_2 R_3}{k (R_3 - R_2)}, \tag{47}$$

$$W_1 = \frac{kQ^2 (R_3 - R_2)}{2\varepsilon R_2 R_3}. \tag{48}$$

Искомая работа равна

$$A = W_2 - W_1 = \frac{kQ^2}{3R_3} \left(\frac{R_3 - R_1}{R_1} - \frac{R_3 - R_2}{\varepsilon R_2} \right). \tag{49}$$

Задача 11. Система из двух проводников с перемычкой

Экспериментатор Глюк исследовал систему, состоящую из двух параллельных проводников с перемычкой. Есть система, состоящая из двух параллельных проводников, перемычки и двух электрических конденсаторов. Перемычка способна перемещаться вдоль параллельных проводников, у которых скорость является постоянной величиной $v = 10 \text{ м/с}$. Расстояние между двумя параллельными проводниками составляет $\ell = 0.5 \text{ м}$. В систему последовательных соединением включили два конденсатора между параллельными проводниками, причём известно отношение электрических ёмкостей включённых в цепь электрических конденсаторов $n = C_2/C_1 = 1.5$. Вся система помещена во внешнее магнитное поле, которое с течением времени сохраняет постоянное значение вектора индукции магнитного поля. Вектор индукции магнитного поля ориентирован перпендикулярно плоскости, в которой лежат параллельные проводники и перемычка. Определите значение модуля вектора индукции магнитного поля, если на электрическом конденсаторе C_2 напряжение равно $U = 0.5 \text{ В}$.

Решение.

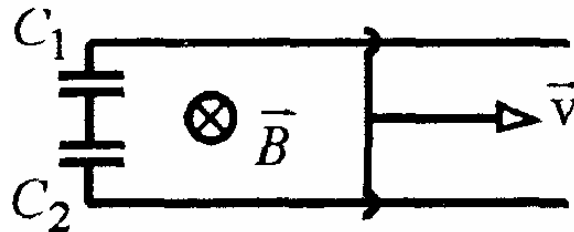


Рис. 20. Система, состоящая из двух параллельных проводников, перемычки и двух электрических конденсаторов.

На рис. 20 изображена система, состоящая из двух параллельных проводников, перемычки и двух электрических конденсаторов, которая находится во внешнее магнитное поле.

Применим закон электромагнитной индукции Фарадея для вычисления электродвижущей силы индукции. Тогда выражением модуля электродвижущей силы индукции, возникающей при перемещении перемычки в постоянном магнитном поле с индукцией B , вычислим по формуле

$$|\mathcal{E}| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\Delta S}{\Delta t} = \frac{B\ell v\Delta t}{\Delta t} = B\ell v. \quad (50)$$

Общая ёмкость системы, состоящей из соединённых последовательно двух электрических конденсаторов C_1 и C_2 , равна

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_2}{1 + (C_2/C_1)} = \frac{C_2}{1 + n}. \quad (51)$$

Затем вычислим заряд, накопленный конденсаторами, согласно выражению

$$q = C\mathcal{E} = \frac{C_2}{1 + n} B\ell n. \quad (52)$$

Следовательно, можно найти модуль индукции магнитного поля

$$B = \frac{(1 + n) q}{\ell v C_2}. \quad (53)$$

Но при последовательном соединении конденсаторов для зарядов на каждом электрическом конденсаторе выполняется $q = q_2 = C_2 U$, где q_2 заряд на ёмкости C_2 . Отсюда получаем выражение для определения модуля индукции магнитного поля

$$B = \frac{(1+n)U}{lv}. \quad (54)$$

Подсчитывая численное значение модуля индукции магнитного поля, получим $B = 0.25$ Тл.

Ответ: $B = \frac{(1+n)U}{lv} = 0.25$ Тл.

Задача 12. Электромагнитная пушка

Теоретик Баг построил электромагнитную пушку необычной конструкции на основе длинного соленоида. В длинном соленоиде радиусом r создано однородное магнитное поле с индукцией B_0 , направленной вдоль оси O цилиндра (рис. 21). На расстоянии R_0 от оси, перпендикулярно оси, укреплена прямолинейная трубка AM из диэлектрика. Угол AOM равен $\alpha = \pi/3$. Длина трубки значительно меньше длины соленоида. Внутри трубки в точке A находится небольшой шарик массой m с положительным электрическим зарядом q . Найдите скорость шарика в момент вылета из трубки в следующих случаях.

1. Магнитное поле исчезает за малое время, в течение которого шарик смещается на расстояние, значительно меньше R_0 .

2. Индукция магнитного поля уменьшается с постоянной скоростью $dB/dt = -k < 0$ в течение всего времени движения шарика по трубке.

Трением и электромагнитным действием трубки на шарик пренебречь.

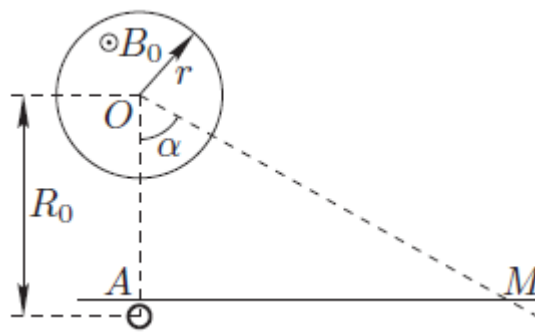


Рис. 21. Электромагнитная пушка.

Решение.

1. Разобьём время выключения поля на сколь угодно малые интервалы времени. Пусть магнитный поток через поперечное сечение соленоида за один из таких интервалов длительностью Δt изменился на $\Delta\Phi$. Тогда напряжённость вихревого электростатического поля в точке A направлена вдоль трубки и равна

$$E = \frac{-\Delta\Phi}{2\pi R_0 \Delta t}. \quad (55)$$

Сила, действующая на шарик, $F = qE$. Поскольку $F\Delta t = m\Delta v$, где Δv изменение скорости, то

$$-\frac{q}{2\pi R_0} \Delta\Phi = m\Delta v. \quad (56)$$

Суммирование данных уравнений за всё время включения поля даёт:

$$-\frac{q}{2\pi R_0} \sum \Delta\Phi = m \sum \Delta v. \quad (57)$$

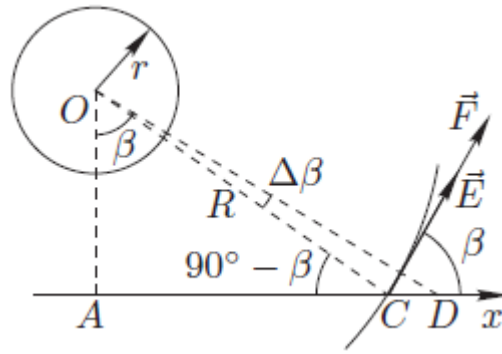


Рис. 22. Электромагнитная пушка.

У нас

$$\sum \Delta\Phi = 0 - B_0\pi r^2 = -B_0\pi r^2, \quad (58)$$

$$\sum \Delta v = v_1. \quad (59)$$

Шарик вылетает из трубки со скоростью, равной скорости v_1 , полученной в точке A:

$$v_1 = \frac{r^2 q B_0}{2mR_0}. \quad (60)$$

2. Направим ось Ox вдоль оси трубки (рис. 22). Пусть в произвольный момент времени при движении шарик находится в точке C на расстоянии R от оси соленоида, имеет скорость v и его положение x характеризуется углом β . Напряжённость вихревого электрического поля в точке C

$$E = \frac{\pi r^2 |dB/dt|}{2\pi R} = \frac{kr^2}{2R}. \quad (61)$$

На шарик действует сила $F = qE$, её проекция на ось Ox : $F_x = F \cos \beta$. За малое время Δt шарик переместится на расстояние $CD = v\Delta t$, получив приращение скорости Δv , причём $F_x \Delta t = m\Delta v$. Имеем, с учётом выражений для F_x , F и E :

$$\frac{kr^2 q \Delta t}{2R} \cos \beta = m\Delta v. \quad (62)$$

По теореме синусов для треугольника OCD :

$$v\Delta t \approx \frac{\Delta\beta}{\sin(\pi/2 - \beta)}. \quad (63)$$

Отсюда $\Delta t \cos \beta / R = \Delta\beta / v$. С учётом последнего соотношения равенство (62) принимает вид

$$kr^2 q \Delta\beta = 2mv\Delta v. \quad (64)$$

Поскольку $2v\Delta v = \Delta v^2$, то $kr^2 q \Delta\beta = m\Delta v^2$. У нас

$$\sum \Delta\beta = \frac{\pi}{3} - 0 = \frac{\pi}{3}, \quad (65)$$

$$\sum \Delta(v^2) = v_2^2 - 0 = v_2^2. \quad (66)$$

Шарик вылетит из трубки со скоростью

$$v_2 = \sqrt{\frac{\pi k r^2 q}{3m}}. \quad (67)$$

Результаты педагогического эксперимента

Целью педагогического эксперимента было выявление в экспериментальном классе одарённых учеников и дальнейшее развитие творческого потенциала учеников, проявивших склонности к решению олимпиадных задач.

Местом проведения педагогического эксперимента по апробации системы олимпиадных задач по физике является МБОУ «Средняя школа № 85 г. Ульяновска», находящийся по адресу г. Ульяновск, ул. Ефремова 145А. Сроки проведения педагогического эксперимента по апробации системы олимпиадных задач по физике: с 22.10.2018 по 20.12.2019. Объектом педагогического эксперимента является 11 А класс (профильный), состоящий из 27 человек и 11 Б класс, состоящий из 28 человек.

Проведём описание одного из экспериментальных классов. Все педагогические исследования проводились в технологическом классе МБОУ СШ № 85 г. Ульяновска в 11 Б классе. В этом классе всего 27 учащихся, из них 13 девочек, 14 мальчиков. Большинство детей 2002 года рождения. В целом дети воспитываются в хороших семьях, где родители уделяют должное внимание своим детям. По результатам медицинского обследования все дети здоровы. У некоторых детей имеются незначительные нарушения речи.

В классе шесть учеников имеют высокий уровень успеваемости по всем предметам. Успевают на оценки 4 и 5 девять человек. Успевают с одной тройкой три человека. Успевают на тройки, четверки и пятёрки по разным предметам девять человек. Неудачников учащихся в классе нет. Абсолютная успеваемость составляет 100%, качественная успеваемость 56%.

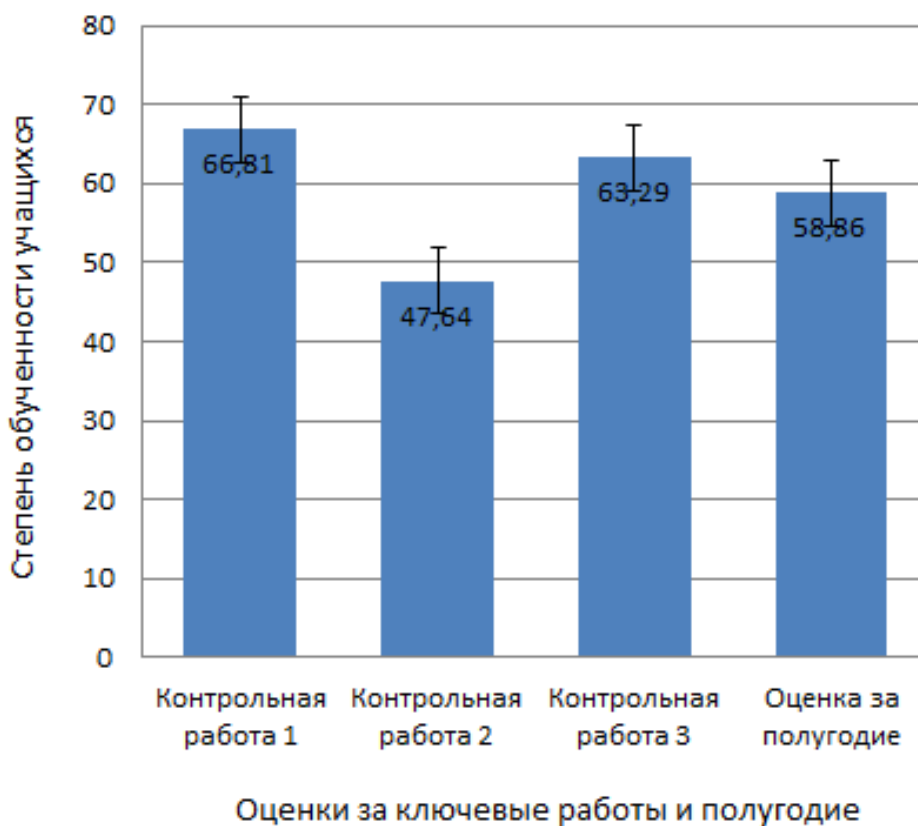


Рис. 23. Гистограмма распределения количества оценок за ключевые работы и полугодие учеников 11 Б класса из экспериментальной группы.

На рис. 23 изображена гистограмма распределения количества оценок за ключевые работы и полугодие учеников 11 Б класса из экспериментальной группы. Гистограмма,

изображённая на рис. 23, показывает распределение оценок по основным контрольным работам, проводимым в первом полугодии 11 класса и общая оценка за первое полугодие. Первая контрольная работа проводилась в начале первого полугодия по теме «Электромагнитная индукция». Вторая контрольная работа проводилась в середине первого полугодия по теме «Переменный электрический ток». И третья контрольная работа проводилась в конце первого полугодия по теме «Электромагнитные волны». В ходе подготовки к контрольным работам использовались физические задачи разного уровня, включая задачи олимпиадного типа. Кроме того, у учеников было много самостоятельных работ и на основании этого выставлена оценка за первое полугодие.

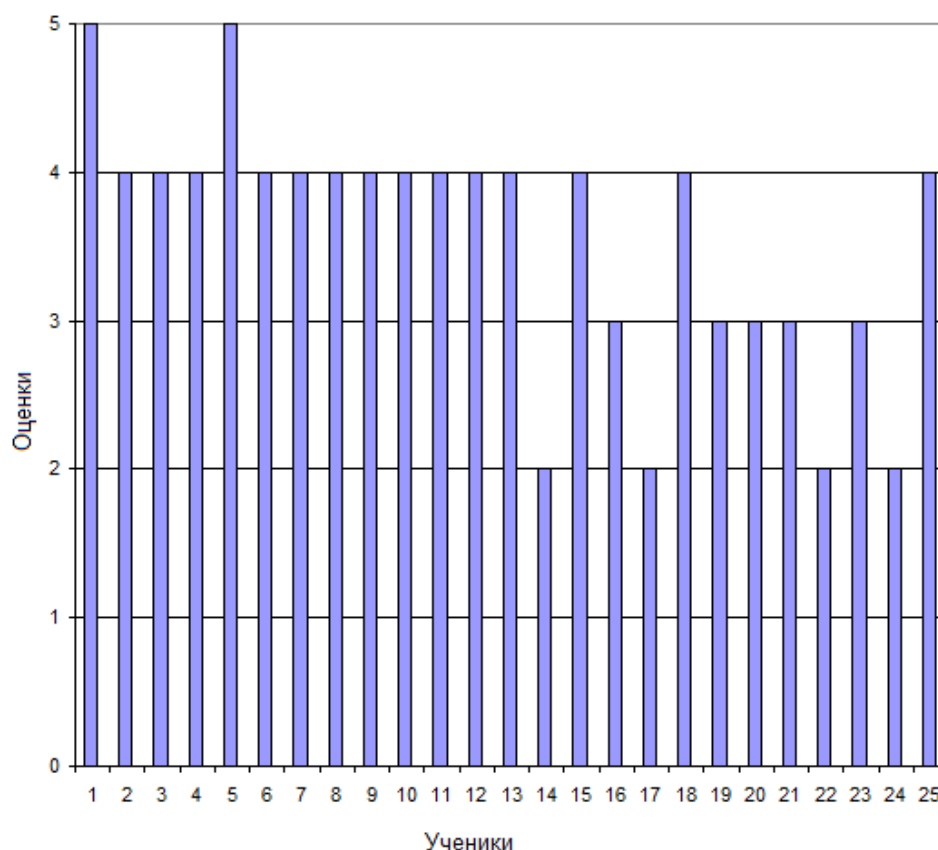


Рис. 24. Гистограмма распределения оценок на контрольной работе 1 от 27.09.2019 учеников 11 Б класса из экспериментальной группы.

На рис. 24 изображена гистограмма распределения оценок на контрольной работе 1 от 27.09.2019 учеников 11 Б класса из экспериментальной группы.

В классе есть дети, которые отличаются неординарным мышлением, феноменальной памятью, сообразительностью и находчивостью. Таких было выделено шесть человек. Девочки увлекаются музыкой, мальчики в классе спортивные, практически все посещают спортивную секцию, большинство детей посещают различные кружки во внеурочное время. Класс активный, дети принимают активное участие во всех школьных мероприятиях, у некоторых детей есть выраженные черты. Многие из учащихся хорошо рисуют, принимают участие в художественных конкурсах.

Учебная мотивация носит разнообразный характер. На уроках желательно развивать интерес детей к предметам, поощрять их самостоятельными занятиями дома. На уроках дети активны, хорошо воспринимают материал, на переменах подвижны. Учащиеся умеют работать совместно. При решении коллективных задач быстро ориентируются, находят общий язык. В целом учащиеся хорошо знают друг друга, отношения между ними доброжелательные.

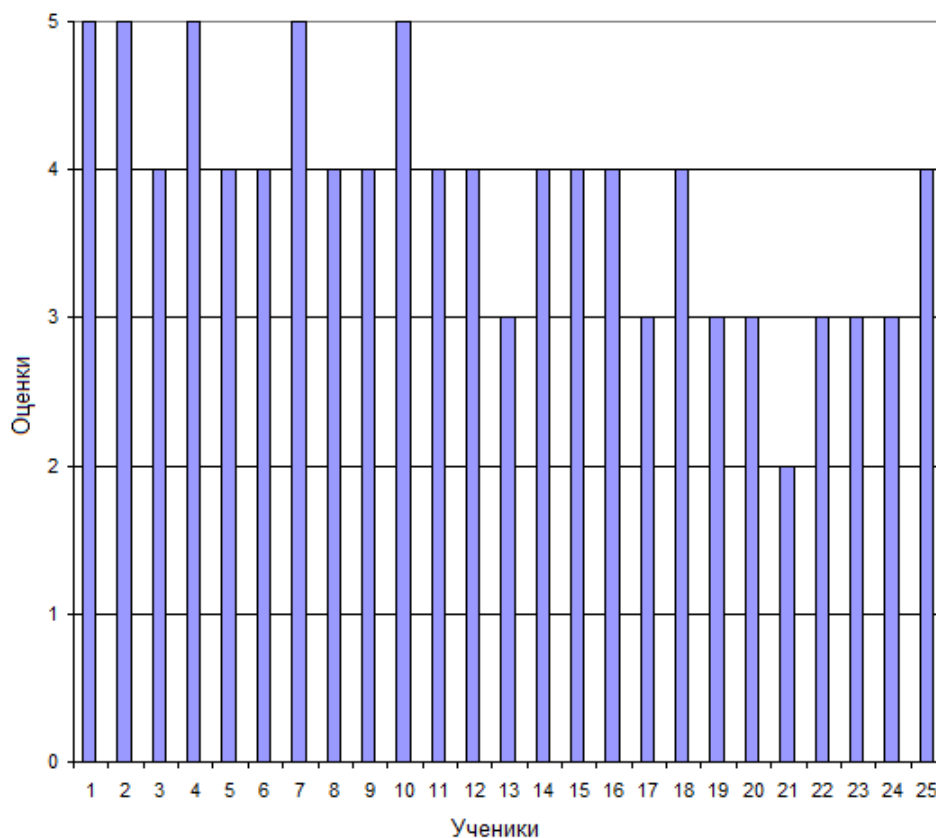


Рис. 25. Гистограмма распределения оценок на контрольной работе 2 от 7.11.2019 учеников 11 Б класса из экспериментальной группы.

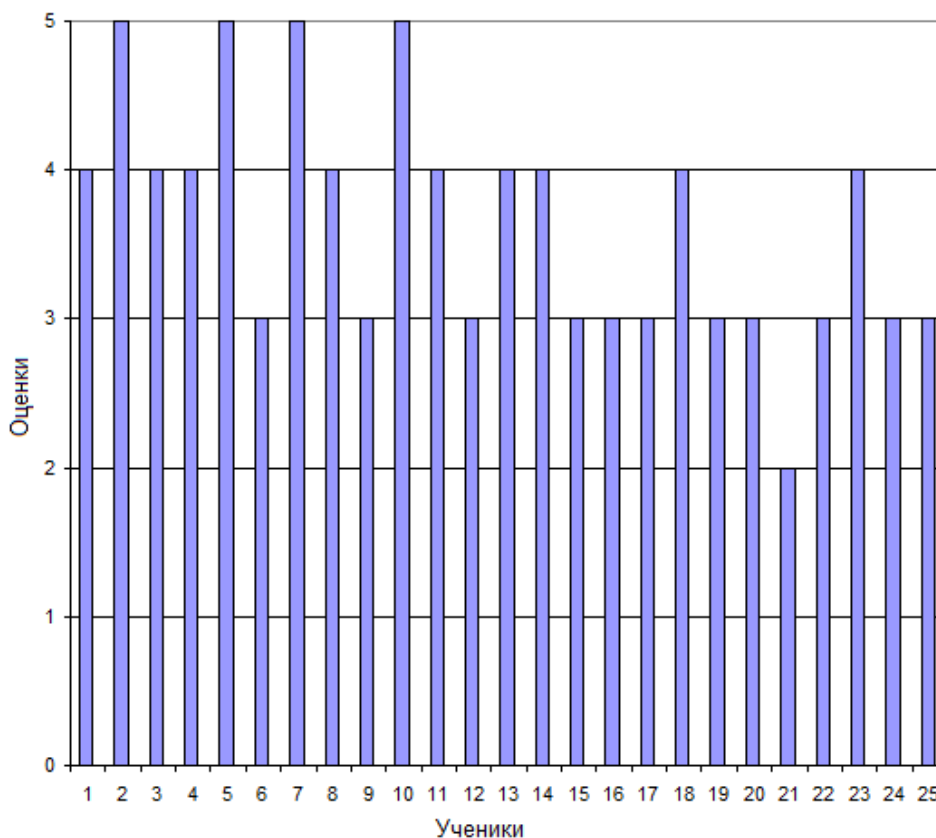


Рис. 26. Гистограмма распределения оценок на контрольной работе 3 от 3.12.2019 учеников 11 Б класса из экспериментальной группы.

Заключение

В работе создана и апробирована система олимпиадных задач по электродинамике, направленная на практическую реализацию одной из приоритетных задач современного школьного образования по физике, заключающуюся в качественной подготовке по физике. В процессе выполнения работы была создана система задач и заданий по электродинамике для подготовки к олимпиадам по физике учащихся 11 классов. В ходе выполнения работы проведён педагогический эксперимент, который показал эффективность системы подготовки учащихся к олимпиадам по физике. Разработанная система олимпиадных задач по физике позволяет проводить эффективную подготовку к решению олимпиадных задач по физике. Подготовка в традиционной форме, которая организована систематически и планомерно, в сочетании с использованием информационных технологий позволяет организовать эффективную подготовку одарённых учащихся к олимпиадам по физике. Систематическая подготовка по физике, организованная в традиционной форме, в сочетании с использованием информационных компьютерных технологий позволяет организовать эффективную подготовку при изучении электродинамики к олимпиадам по физике различного уровня.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать систему олимпиадных задач по электродинамике в систематически организованной подготовке в традиционной форме в сочетании с использованием информационных технологий, то можно создать эффективную систему подготовки к олимпиадам по физике в общеобразовательной школе, подтверждена полностью.

В результате педагогического эксперимента показано, что разработанная система олимпиадных задач по электродинамике позволяет проводить эффективную подготовку к решению олимпиадных задач по физике. В рамках теоретической части работы была разработана система олимпиадных задач по физике для 11 класса. Разработанная система задач по электродинамике на практике показала хорошие результаты при подготовке учащихся к олимпиадам по физике. Это факт служит следствием того, что разработанная система задач по электродинамике для 11 класса способствует развитию мышления учащихся, их подготовке к участию в олимпиадах и творческих поисках; воспитывает трудолюбие, настойчивость, волю, целеустремлённость и является хорошим средством контроля над знаниями, умениями и навыками.

Список использованных источников

1. Алтунин К. К., Лушникова Ю. О., Назарова Т. В. Электронный курс по олимпиадным задачам по физике // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — 2018. — С. 6–8.
2. Алтунин К. К., Лушникова Ю. О., Назарова Т. В. Электронный курс по олимпиадным задачам по физике // Наука online. — 2018. — № 2 (3). — С. 53–69.
3. Каменецкий С. Е., Орехов В. П. Методика решения задач по физике в средней школе. Пособие для учителей. — Москва : Просвещение, 1971. — 448 с.
4. Каменецкий С. Е., Солодухин Н. А. Модели и аналогии в курсе средней школы: пособие для учителей. — Москва : Просвещение, 1982. — 96 с.
5. Орехов В. П., Усова А. В. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Часть 2. — Москва : Просвещение, 1980. — 350 с.

6. Резников Л. И., Шамаш С. Я., Эвенчик Э. Е. Методика преподавания физики в средней школе : механика : пособие для учителей. — Москва : Просвещение, 1974. — 238 с.
7. Шаповалов А. А. Размышления при решении физических задач. — Барнаул : Издательство БГПУ, 2001. — 150 с.
8. Разумовский В. Г., Браверман Э. М. Урок физики в современной школе (творческий поиск учителя). — Москва : Просвещение, 1993. — 288 с.
9. Елизаров К. Н. Вопросы методики преподавания физики в средней школе : пособие для учителей. — Москва : Учпедгиз, 1962. — 240 с.
10. Абросимов Б. Ф. Способы и методы поиска решения задач: учебно-методическое пособие. — Москва : Экзамен, 2006. — 287 с.
11. Дегтярев С. Н. Креативные методы и эвристические приёмы решения физических задач. — Тюмень : ТОГИРРО, 2009. — 28 с.
12. Красин М. С. Решение сложных и нестандартных задач по физике. Эвристические приёмы поиска решений. — Москва : ИЛЕКСА, 2008. — 360 с.
13. Красин М. С. Система эвристических приёмов решения задач по физике. Теория, методика, примеры: учебно-методическое пособие. — Калуга : Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, 2009. — 147 с. — ISBN: 978-5-88725-176-9.
14. Ильясов И. И. Система эвристических приёмов решения задач. — Москва : Издательство Российского открытого университета, 1992. — 138 с.
15. Козырева Н. А. Педагогическое сопровождение одарённых детей // Успехи современного естествознания. — 2004. — № 5. — С. 55–58.
16. Усова А. В., Бобров А. А. Формирование учебных умений и навыков учащихся на уроках физики. — Москва : Просвещение, 1988. — 111 с.
17. Балаш В. А. Задачи по физике и методы их решения. — Москва : Просвещение, 1983. — 434 с.
18. Кокин В. А. Система задач по физике // Вестник Поволжской государственной социально-гуманитарной академии. — 2012. — № 7. — С. 272–278.
19. Лазарев А. Н., Кузько А. Е., Дремов Е. Н. Компьютерная интерактивная система решения задач по физике // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Лингвистика и педагогика. — 2013. — № 1. — С. 114–121.
20. Бордовская Н. В. Педагогика. — СПб. : Питер, 2000. — 401 с.
21. Латынина Д. Н. История педагогики. Воспитание и образование в России. — Москва : Издательский дом «Форум», 2008. — 315 с.
22. Сластенин В. А. Педагогика. — Москва : Школа-Пресс, 2009. — 512 с.
23. Харламов И. Ф. Педагогика. — Москва : Высшая школа, 2000. — 356 с.

Сведения об авторах:

Татьяна Валерьевна Галоватюк — учитель физики и математики МБОУ г. Ульяновска «Средняя школы № 85», 432066, Ульяновск, Россия.

E-mail: nazarowa.tanja@yandex.ru

ORCID iD  0000-0003-4222-067X

Web of Science ResearcherID  AAZ-8100-2020

Pedagogical design of the system of Olympiad problems in electrodynamics at school

T. V. Galovatyuk 

MBOU Ulyanovsk "Secondary School No. 85", 432066 Ulyanovsk, Russia,

Submitted April 28, 2021

Resubmitted May 11, 2021

Published June 12, 2021

Abstract. The process of pedagogical design of the system of Olympiad problems in electrodynamics at school is considered. In the process of performing the work, a system of tasks and assignments in electrodynamics was introduced to prepare students of the eleventh grade of a general education school for physics olympiads. The analysis of problems of the Olympiad type in electrodynamics was carried out. In the course of the work, a pedagogical experiment was carried out, which showed the effectiveness of the system for preparing students for Olympiads in physics. As a result of the pedagogical experiment, it was shown that the developed system of olympiad problems in electrodynamics allows for effective preparation for solving problems in physics of the olympiad type.

Keywords: physics, physical education, problems in physics, student training system, physics problem system, pedagogical experiment

PACS: 01.40.-d

References


1. Kamenetsky S. E., Orekhov V. P. Methodology for solving problems in physics in high school. Teacher's Guide. — Moscow : Education, 1971. — 448 p.
2. Kamenetsky S. E., Solodukhin N. A. Models and Analogies in High School Course: A Manual for Teachers. — Moscow : Education, 1982. — 96 p.
3. Orekhov V. P., Usova A. V. Methods of teaching physics in grades 8-10 of secondary school. Part 2. — Moscow : Education, 1980. — 350 p.
4. Reznikov L. I., Shamash S. Ya., Evenchik E. E. Methods of teaching physics in high school: mechanics: a manual for teachers. — Moscow : Education, 1974. — 238 p.
5. Shapovalov A. A. Reflections when solving physics problems. — Barnaul : BSPU Publishing House, 2001. — 150 p.
6. Razumovsky V. G., Braverman E. M. A physics lesson in a modern school (creative search for a teacher). — Moscow : Education, 1993. — 288 p.
7. Elizarov K. N. Questions of methods of teaching physics in secondary school: a guide for teachers. — Moscow, publisher = Uchpedgiz, year = 1962, numpages = 240, language = english.
8. Abrosimov B. F. Methods and methods of finding solutions to problems: teaching aid. — Moscow : Exam, 2006. — 287 p.
9. Degtyarev S. N. Creative Methods and Heuristic Techniques for Solving Physics Problems. — Tyumen : TOGIRRO, 2009. — 28 p.


10. Krasin M. S. Solution of complex and non-standard problems in physics. Heuristic techniques for finding solutions. — Moscow : ILEXA, 2008. — 360 p.
11. Krasin M. S. System of heuristic methods for solving problems in physics. Theory, methodology, examples: study guide. — Kaluga : Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky, 2009. — 147 p.
12. Ilyasov I. I. A system of heuristic methods for solving problems. — Moscow : Publishing House of the Russian Open University, 1992. — 138 p.
13. Kozyreva N. A. Pedagogical support for gifted children // Achievements of modern natural science. — 2004. — no. 5. — P. 55–58.
14. Bordovskaya N. V. Pedagogy. — Saint Petersburg : Peter, 2000. — 401 p.
15. Latynina D. N. History of Pedagogy. Upbringing and education in Russia. — Moscow : Publishing house “Forum”, 2008. — 315 p.
16. Slastenin V. A. Pedagogy. — Moscow : School-Press, 2009. — 512 p.
17. Kharlamov I. F. Pedagogy. — Moscow : High School, 2000. — 356 p.
18. Balash V. A. Problems in physics and methods of solving them. — Moscow : Education, 1983. — 434 p.
19. Kokin V. A. System of problems in physics // Bulletin of the Volga State Social and Humanitarian Academy. — 2012. — no. 7. — P. 272–278.
20. Lazarev A. N., Kuzko A. E., Dremov E. N. Computer interactive system for solving problems in physics // Bulletin of the Southwestern State University. Series: Linguistics and Pedagogy. — 2013. — no. 1. — P. 114–121.
21. Usova A. V., Bobrov A. A. Formation of educational abilities and skills of students in physics lessons. — Moscow : Education, 1988. — 111 p.
22. Altunin K. K., Lushnikova Yu. O., Nazarova T. V. Electronic course on Olympiad problems in physics // In the proceedings: Topical issues of teaching technical disciplines. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. — 2018. — P. 6–8.
23. Altunin K. K., Lushnikova Yu. O., Nazarova T. V. Electronic course on Olympiad problems in physics // Science online: electronic scientific journal. — 2018. — no. 2 (3). — P. 53–69.

Information about authors:

Tatiana Valerievna Galovatyuk — teacher of physics and mathematics at MBOU Ulyanovsk “Secondary School No. 85”, 432066, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: nazarowa.tanja@yandex.ru

ORCID iD  0000-0003-4222-067X

Web of Science ResearcherID  AAZ-8100-2020