

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
(ТУСУР)

Кафедра моделирования и системного анализа (МиСА)

А.Н. Пономарев, Н.Г. Бобенко

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Методические указания для выполнения лабораторных работ

Томск 2014

Пономарев А.Н., Бобенко Н.Г. Компьютерное моделирование физических задач/ Методические указания для выполнения лабораторных работ – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Кафедра моделирования и системного анализа, 2014. – 21 с.

© Пономарев А.Н., Бобенко Н.Г., 2014.
© ТУСУР, кафедра МиСА, 2014.

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Изучение кинематики равномерное прямолинейное движение.....	6
Лабораторная работа № 2. Изучение равномерного криволинейного движения.....	7
Лабораторная работа № 3. Неравномерное прямолинейное движение. Уравнение движения.	8
Лабораторная работа № 4. Импульс тела. Энергия. Законы сохранения.....	10
Лабораторная работа № 5. Законы идеального газа. Определение термодинамических величин для разных изопроцессов.	12
Лабораторная работа № 6. Определение массы, плотности и объема вещества для разных изопроцессов.	13
Лабораторная работа № 7. Определение количества выделенной теплоты и теплоты нагревания, парообразования, нагревания для процессов конденсации и испарения.....	14
Лабораторная работа № 8. Интерференция и дифракция. Определение размера световой полосы.	16
Лабораторная работа № 9. Определение основных световых величин.....	17
Лабораторная работа № 10. Изучения законов постоянного тока.....	19
Лабораторная работа № 11. Изучение электромагнитного поля. Определение магнитного потока и сопутствующих величин.	21

Введение

Курс «Компьютерное моделирование физических задач» (далее «КМФЗ») рассматривает оригинальный подход к методике решения задач по различным разделам физики.

В задачу данного учебного курса входит изучение наиболее распространенных и простых методов, используемых при решении физических задач, а также освоение студентами методики постановки и проведения вычислительного эксперимента с помощью системы компьютерного моделирования MAPS.

Основными задачами курса компьютерного моделирования физических задач являются:

- изучение основных физических явлений, овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями классической и современной физики, а также методами физического исследования;

- овладение приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики с использованием компонентов системы компьютерного моделирования MAPS.

Задачей настоящих методических указаний является помощь студентам очной формы обучения при изучении курса «Компьютерное моделирование физических задач».

Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. (2 часа). Изучение кинематики равномерное прямолинейное движение.

Лабораторная работа № 2. (2 часа). Изучение равномерного криволинейного движения.

Лабораторная работа № 3. (3 часа). Неравномерное прямолинейное движение. Уравнение движения.

Лабораторная работа № 4. (2 часа). Импульс тела. Энергия. Законы сохранения.

Лабораторная работа № 5. (3 часа). Законы идеального газа. Определение термодинамических величин для разных изопроцессов.

Лабораторная работа № 6. (3 часа). Определение массы, плотности и объема вещества для разных изопроцессов.

Лабораторная работа № 7. (3 часа). Определение количества выделенной теплоты и теплоты нагревания, парообразования, нагревания для процессов конденсации и испарения.

Лабораторная работа № 8. (5 часов). Интерференция и дифракция. Определение размера световой полосы.

Лабораторная работа № 9. (4 часа). Определение основных световых величин.

Лабораторная работа № 10. (5 часов). Изучения законов постоянного тока.

Лабораторная работа № 11. (4 часа). Изучение электромагнитного поля. Определение магнитного потока и сопутствующих величин.

Алгоритм решения задач в среде компьютерного моделирования MAPC:

Для построения схемы моделирования решения задачи в среде MAPC воспользуйтесь следующим алгоритмом для выполнения всех лабораторных работ:

1. Прочитайте условие задачи. Выпишите известные данные.
2. Проверьте, есть ли в среде моделирования MAPC готовые модели, соответствующие условию задачи.
3. В случае наличия готовых моделей вынесите их на рабочее поле и заполните известными из условия задачи данными, используя «Источник физической величины» (в случае единственного значения величины) и «Источник массивов» (для нескольких значений).
4. В случае невозможности описать все необходимое готовыми моделями, выберите «Математическую панель» и заполните ее по своему усмотрению исходя из условий задачи.
5. После описания всех данных задачи, соедините соответствующие элементы схем между собой.
6. Выведите на панель «Измеритель физической величины (величин)». Соедините его с соответствующей ячейкой или ячейками из математической модели.
7. Нажмите кнопку «Рассчитать».
8. В случае отсутствия ответа еще раз проверьте правильность связей, исправьте ошибки и повторно нажмите кнопку «Рассчитать».
8. Сохраните файл с полученным решением.

Лабораторная работа № 1. Изучение кинематики равномерное прямолинейное движение.

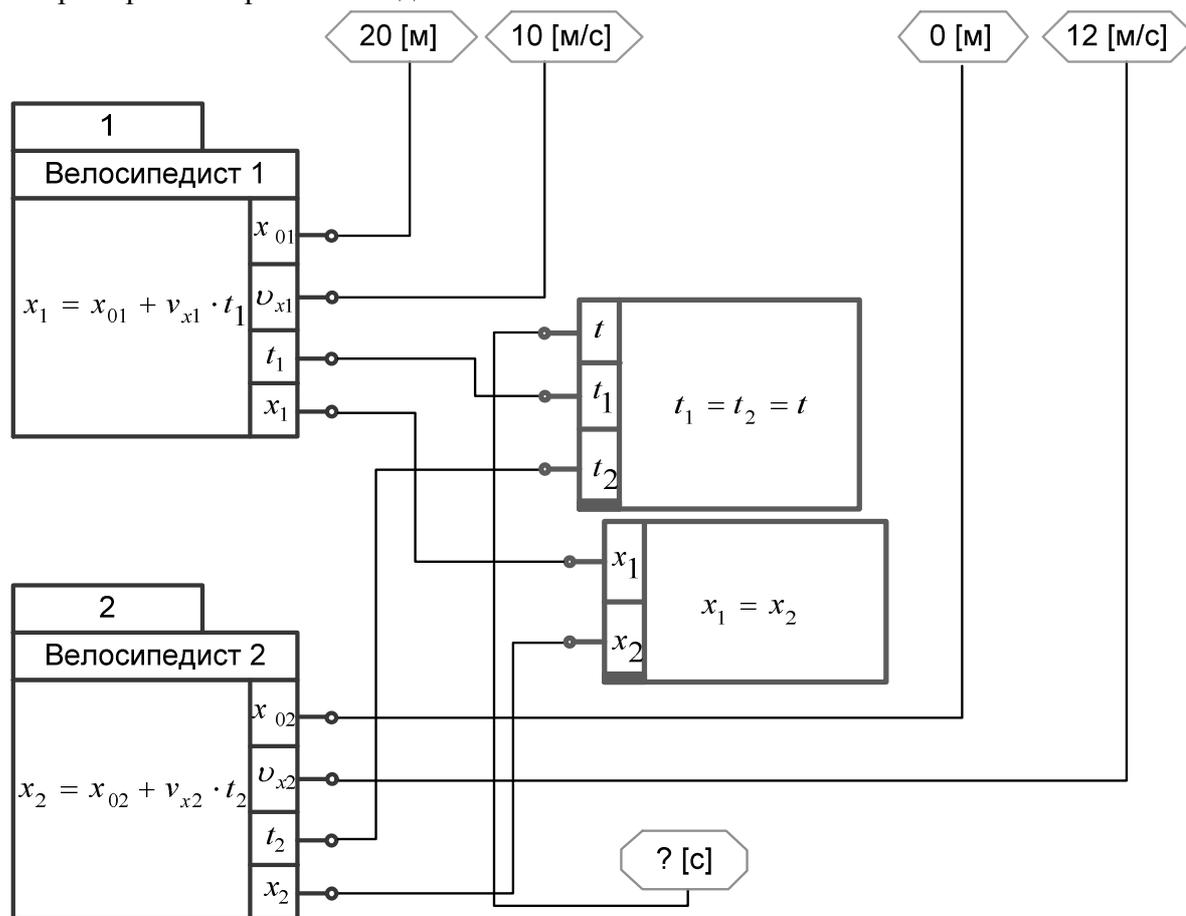
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Равномерное прямолинейное движение» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. В велосипедной гонке между двумя велосипедистами расстояние в момент начала наблюдения равно 20 м. Первый имеет скорость 36 км/ч, второй - 12 м/с. Определить, через какое время второй велосипедист догонит первого?

Пример схемы решения задачи:



2. Точка двигалась в течение $t_1=15$ с со скоростью $v_1=5$ м/с, в течение $t_2=10$ с со скоростью $v_2=8$ м/с и в течение $t_3=6$ с со скоростью $v_3=20$ м/с. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ точки.

3. Три четверти своего пути автомобиль прошел со скоростью $v_1=60$ км/ч, остальную часть пути - со скоростью $v_2=80$ км/ч. Какова средняя путевая скорость $\langle v \rangle$ автомобиля?

4. Катер, двигаясь вниз по реке, обогнал плот в пункте А. Через $\tau = 60$ мин после этого он повернул обратно и затем встретил плот на расстоянии $l = 6,0$ км ниже пункта А. Найти скорость течения, если при движении в обоих направлениях мотор катера работал одинаково.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 2. Изучение равномерного криволинейного движения.

Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Равномерное криволинейное движение» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. За время $t=6$ с точка прошла путь, равный половине длины окружности радиусом $R=0,8$ м. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ за это время и модуль вектора средней скорости $|\langle v \rangle|$.

2. Движение точки по окружности радиусом $R=4$ м задано уравнением $\xi=A+Bt+Ct^2$, где $A=10$ м, $B=-2$ м/с, $C=1$ м/с². Найти тангенциальное a_τ нормальное a_n и полное a ускорения точки в момент времени $t=2$ с.

3. Точка движется по кривой с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0,5$ м/с². Определить полное ускорение a точки на участке кривой с радиусом кривизны $R=3$ м, если точка движется на этом участке со скоростью $v=2$ м/с.

4. Определить, с какими скоростями движутся точки A , B и C , расположенные на концах секундной, минутной и часовой стрелок часов. Принять длину секундной и минутной стрелок равной 14 мм и длину часовой стрелки - 10 мм.

5. Шарик, размерами которого можно пренебречь, начинает скатываться по наклонной плоскости из состояния покоя. Через 20 с после начала движения шарик находится от исходного положения на расстоянии 6 м. Определить ускорение шарика и его скорость в конце 10-й и 20-й секунды, а также расстояние, пройденное шариком за первые 10 с.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 3. Неравномерное прямолинейное движение. Уравнение движения.

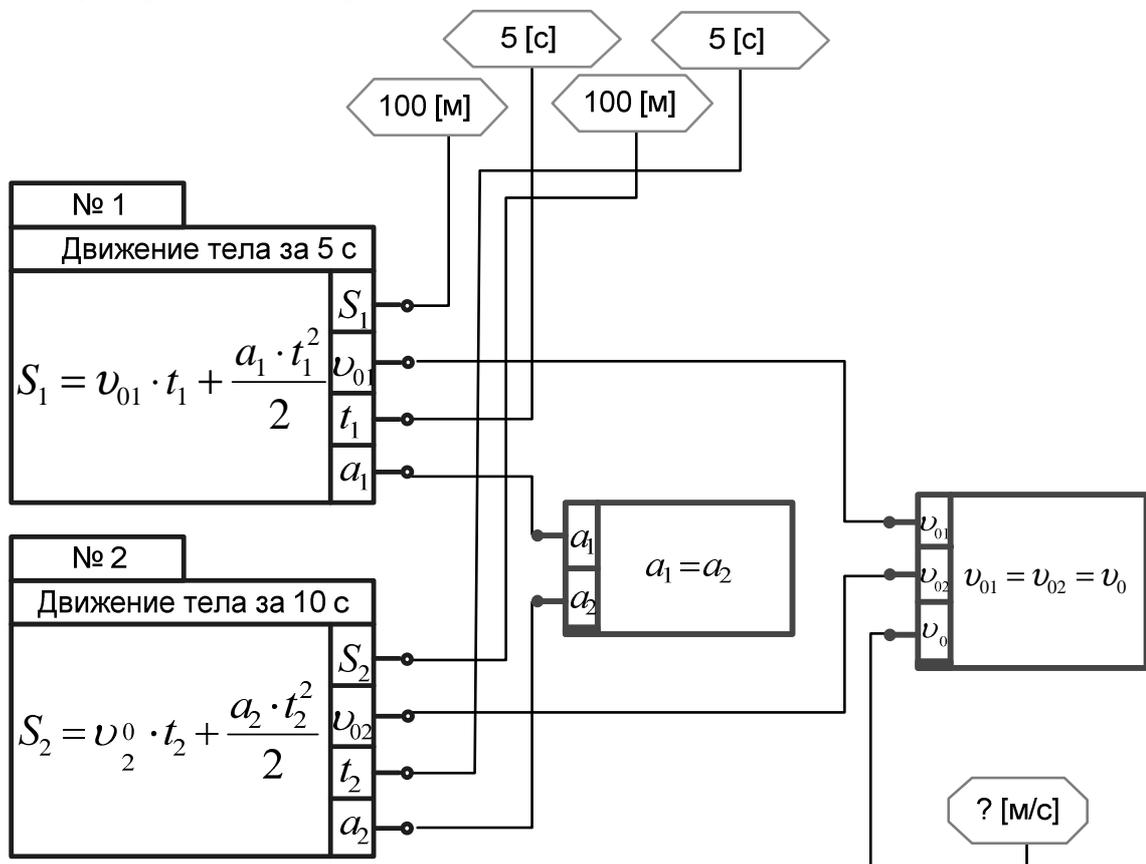
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Неравномерное прямолинейное движение. Уравнение движения» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. Тело, двигаясь равноускоренно, за первые пять секунд своего движения прошло путь 100 м, а за десять - 300 м. Определить начальную скорость тела.

Пример возможного решения:



2. Расстояние между точками A и B равно 100 м. Из точки A выходит тело с начальной скоростью $v_{01}=3$ м/с и ускорением $a_1=2$ м/с². Через 1 секунду из точки B выходит другое тело, которое движется навстречу первому с постоянной скоростью $v_2=5$ м/с. Сколько времени будет двигаться первое тело до встречи со вторым телом? Найти координату встречи.

3. Уравнение скорости $v=4+2t$; v (м/с); t (с). Найти значения начальной скорости и ускорения. Построить графики зависимости ускорения, проекции скорости и пути от времени.

4. Уравнение координаты точки $x = 4 + 15t + t^2$; x (м); t (с). Написать уравнение скорости. Построить графики зависимости проекции скорости, координаты и ускорения от времени.

Указание: чтобы записать уравнение скорости, возьмите ручную производную от координаты по времени.

5. Найти ускорение автобуса, если за время 20 с он получает скорость 36 км/ч. Начальная скорость автобуса равна нулю. Движение считать равноускоренным.

6. Поезд в метро движется со скоростью 108 км/ч. До полной остановки ($v=0$) он проходит 300 м. Найти ускорение поезда и время, за которое он остановился. Движение считать равнозамедленным.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 4. Импульс тела. Энергия. Законы сохранения.

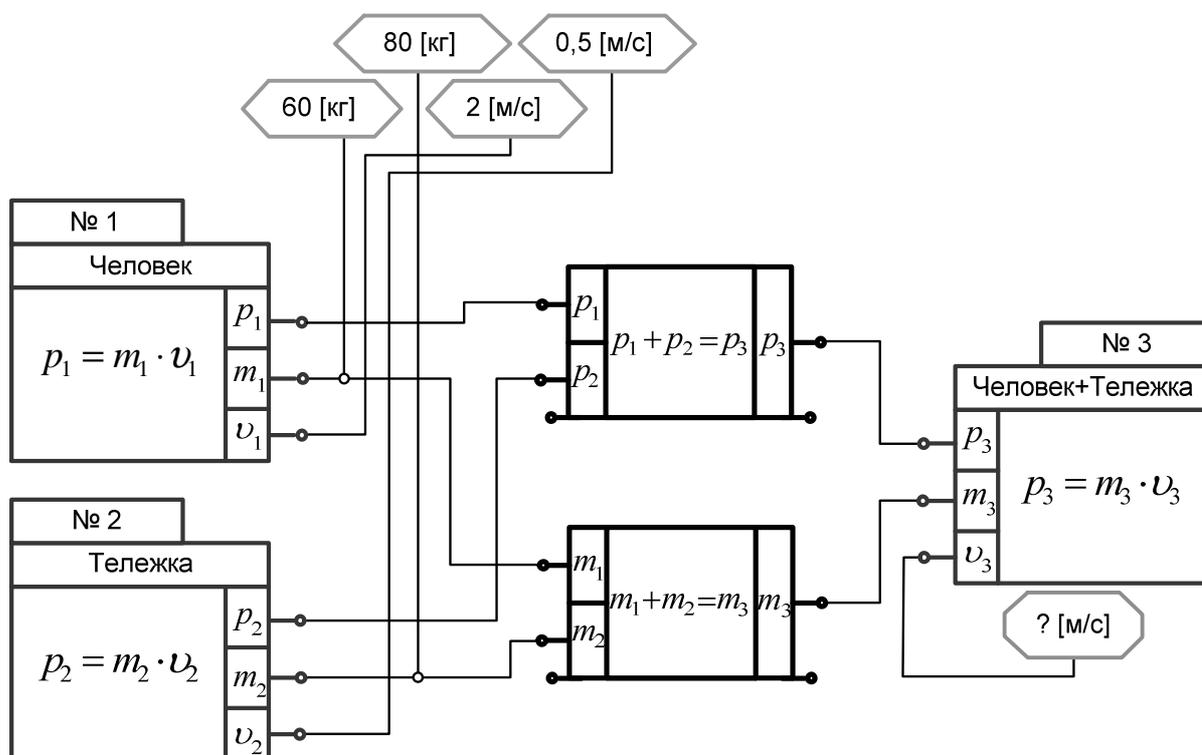
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Импульс тела. Энергия. Законы сохранения» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. Человек массой 60 кг бежит со скоростью 7,2 км/ч, догоняет тележку массой 80 кг, движущуюся со скоростью 1,8 км/ч, и вскакивает на нее. Найти, с какой скоростью будет двигаться тележка.

Пример возможного решения:



2. Пушка массой 800 кг выстреливает ядро массой 10 кг с начальной скоростью 200 м/с относительно Земли под углом 60° к горизонту. Какова скорость отката пушки? Трением можно пренебречь.

3. Клин массой $M=0,5$ кг с углом при основании $\alpha=30^\circ$ покоится на гладкой горизонтальной плоскости. На наклонную поверхность клина ставят заводной автомобиль массой $m=0,1$ кг и опускают без начальной скорости, после чего автомобиль начинает движение вверх по клину. Найдите скорость автомобиля относительно клина в момент, когда клин приобретет относительно плоскости скорость $v=2$ см/с.

4. Граната массой $m=1$ кг разорвалась на высоте $h=6$ м над землей на два осколка. Непосредственно перед разрывом скорость гранаты была направлена горизонтально и по модулю равна $v=10$ м/с. Один осколок массой $m_1=0,4$ кг полетел вертикально вниз и упал на землю под местом разрыва со скоростью $v_1=40$ м/с. Определите модуль скорости второго осколка сразу после разрыва?

5. На покоящийся на гладком горизонтальном столе клин массой $M=1$ кг с высоты $h=10$ м и отскакивает под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту. Найти скорость клина v после удара. Соударение между шариком и клином считать абсолютно упругим.

6. Человек массой $M=70$ кг, неподвижно стоявший на коньках, бросил вперед в горизонтальном направлении снежный ком массой $m=3,5$ кг. Какую работу A совершил человек при броске, если после броска он откатился назад на расстояние $S=0,2$ м? Коэффициент трения коньков о лед $\mu=0,01$?

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 5. Законы идеального газа. Определение термодинамических величин для разных изопроцессов.

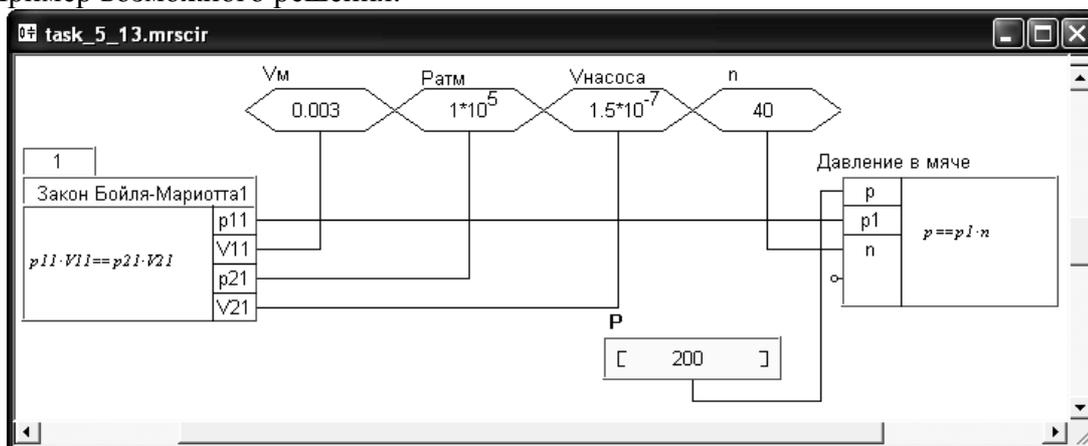
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Законы идеального газа. Определение термодинамических величин для разных изопроцессов» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. До какого давления накачан футбольный мяч объемом $V=3$ л за $n=40$ качаний поршневого насоса. При каждом качании насос из атмосферы захватывает воздух объемом $V_0=1,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$, атмосферное давление $P_0=10^5 \text{ Па}$. Процесс изотермический.

Пример возможного решения:



2. В объеме $V=4$ л находится масса газа $m=0,012$ кг при температуре $T=450$ К. При какой температуре, плотность этого газа будет равна $\rho=6$ кг/м³. Давление считать постоянным $p=const$. Процесс изобарический.

3. В баллоне находится гелий при $p_1=0,1$ МПа и температуре $T_1=290$ К. В баллоне увеличили массу газа на $m=0,058$ кг, давление возросло до $p_2=0,3$ МПа и температура до $T_2=320$ К. Определить объем V баллона, в котором находится гелий. Молярная масса гелия $\mu=0,004$ кг/моль.

4. Постройте график решения для задачи «1» при изменении объема от $V=2$ л до $V=6$ л при остальных постоянных параметрах.

Указания: воспользуйтесь моделью «Массив значений» для задания нескольких значений объема одновременно.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 6. Определение массы, плотности и объема вещества для разных изопроецессов.

Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Определение массы, плотности и объема вещества для разных изопроецессов» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. В сосуде вместимостью $V=12$ л находится газ, число N молекул которого равно $1,44 \cdot 10^{18}$. Определить концентрацию n молекул газа.

2. В сосуде вместимостью $V=5$ л находится кислород, концентрация n молекул которого равна $9,41 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$. Определить массу m газа.

3. Определить количество вещества ν водорода, заполняющего сосуд вместимостью $V=3$ л, если концентрация n молекул газа в сосуде равна $2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$.

4. Газ массой $m=58,5$ г находится в сосуде вместимостью $V=5$ л. Концентрация n молекул газа равна $2,2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$. Какой это газ?

5. Определить количество вещества ν и концентрацию n молекул газа, содержащегося в колбе вместимостью $V=240 \text{ см}^3$ при температуре $T=290 \text{ К}$ и давлении $p=50 \text{ кПа}$.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 7. Определение количества выделенной теплоты и теплоты нагревания, парообразования, нагревания для процессов конденсации и испарения.

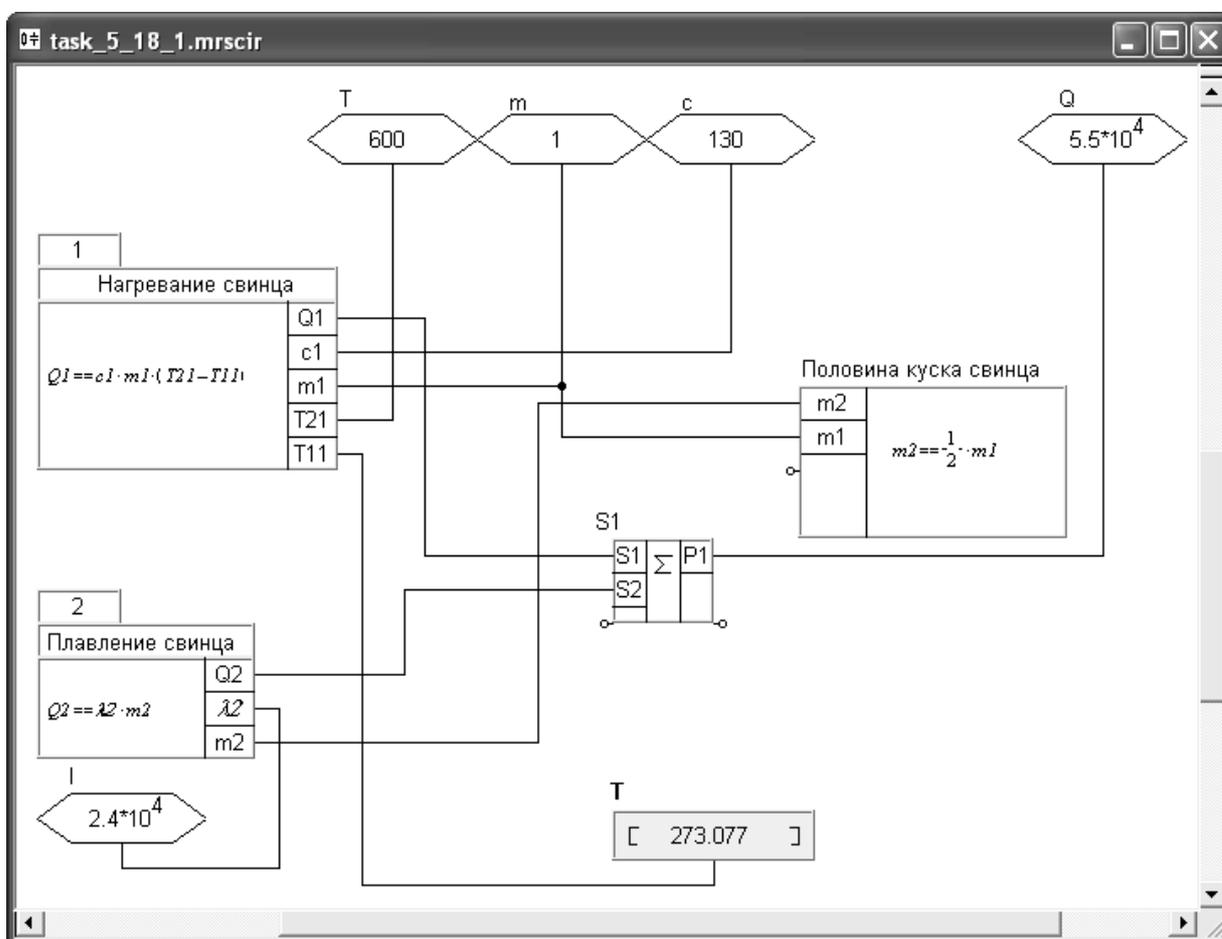
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Определение количества выделенной теплоты и теплоты нагревания, парообразования, нагревания для процессов конденсации и испарения» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. Кусок свинца массой 1 кг расплавился наполовину при сообщении ему теплоты $Q=54,5 \text{ кДж}$. Удельная теплоёмкость свинца $c=130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, удельная теплота плавления $r=24 \text{ кДж}$. Температура плавления свинца равна 600 K . Какова была первоначальная температура свинца?

Пример возможного решения:



2. На нагревание кислорода массой $m=160 \text{ г}$ на $\Delta T=12 \text{ K}$ было затрачено количество теплоты $Q=1,76 \text{ кДж}$. Как протекал процесс: при постоянном объеме или постоянном давлении?

3. Водород массой $m=4 \text{ г}$ был нагрет на $\Delta T=10 \text{ K}$ при постоянном давлении. Определить работу A расширения газа.

4. Какое количество тепла необходимо сообщить азоту при его изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу $A=2,0 \text{ Дж}$?

5. Два моля идеального газа при температуре $T_0=300\text{ K}$ охладил изохорически, вследствие чего его давление уменьшилось в $n=2,0$ раза. Затем газ изобарически расширили так, что в конечном состоянии его температура стала равной первоначальной. Найти количество тепла, поглощенного газом в данном процессе.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 8. Интерференция и дифракция. Определение размера световой полосы.

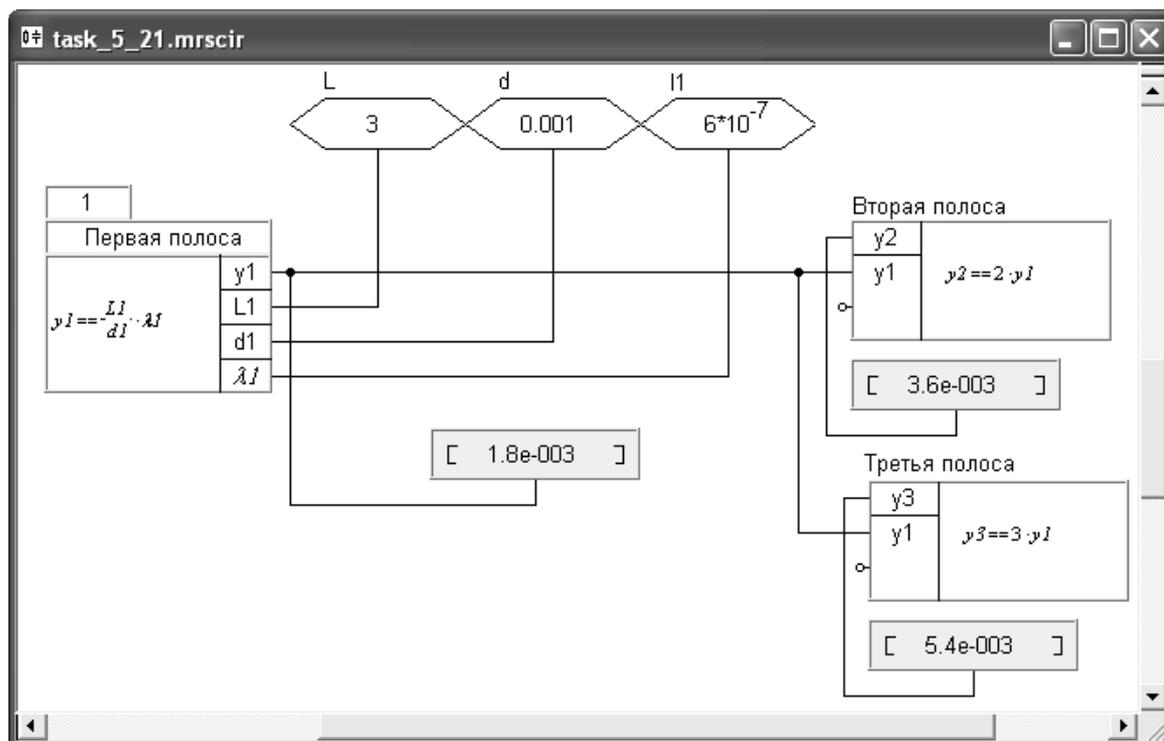
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Интерференция и дифракция. Определение размера световой полосы» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. Отверстия освещаются монохроматическим светом длиной волны 600 нм . Расстояние между отверстиями $d=1 \text{ мм}$, расстояние от отверстия до экрана $L=3 \text{ м}$. Найти три первые светлые полосы.

Пример возможного решения:



2. Сколько длин волн монохроматического света с частотой колебаний $\nu = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ уложится на пути длиной $l = 1,2 \text{ мм}$: 1) в вакууме; 2) в стекле?

3. Найти все длины волн видимого света (от $0,76$ до $0,38 \text{ мкм}$), которые будут: 1) максимально усилены; 2) максимально ослаблены при оптической разности хода Δ интерферирующих волн, равной $1,8 \text{ мкм}$.

4. Вычислить радиус r_5 пятой зоны Френеля для плоского волнового фронта ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$), если построение делается для точки наблюдения, находящейся на расстоянии $b = 1 \text{ м}$ от фронта волн.

5. Радиус r_4 четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 3 мм . Определить радиус r_6 шестой зоны Френеля.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 9. Определение основных световых величин.

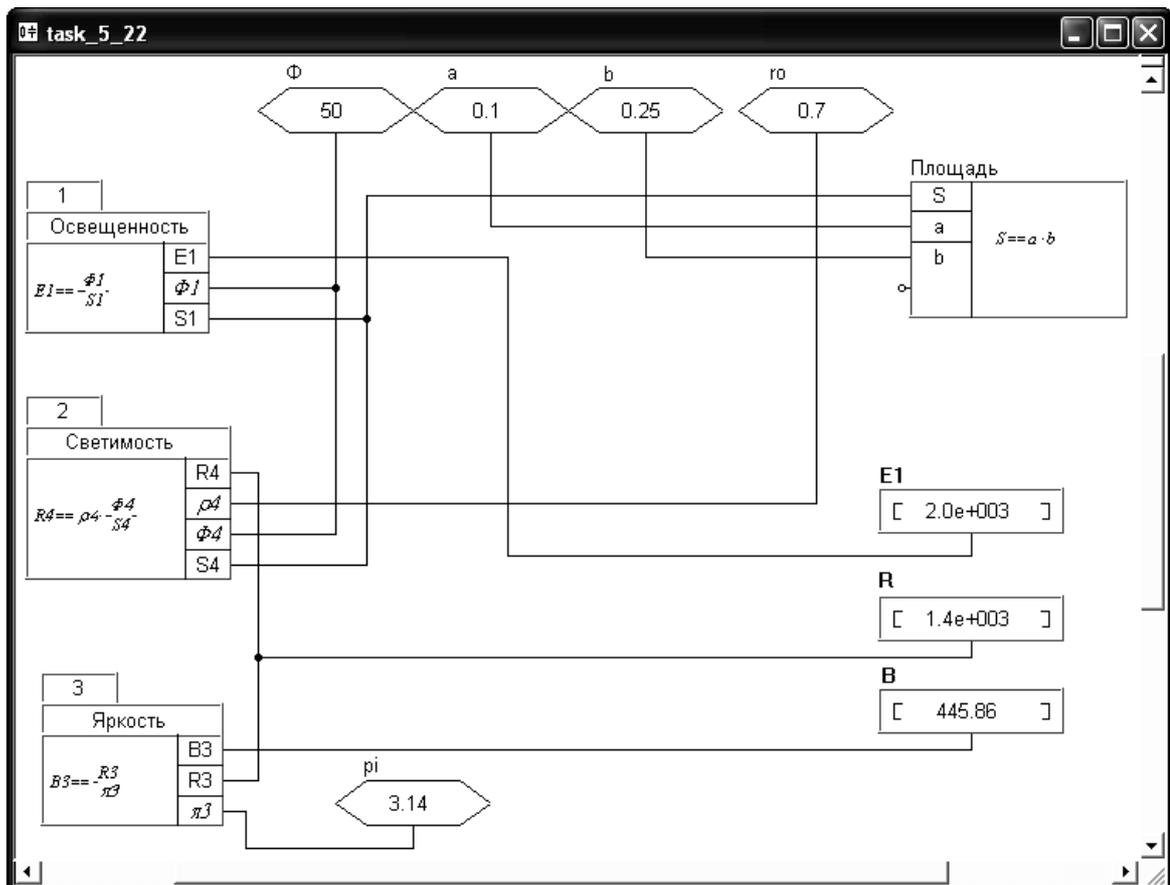
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Определение основных световых величин» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. На лист белой бумаги размером 10 на 25 см нормально падает с поверхности световой поток $\Phi=50$ лм. Принимая коэффициент рассеяния бумажного листа $\rho=0,7$, определите для него: 1) освещенность; 2) светимость; 3) яркость.

Пример возможного решения:



2. На идеально отражающую поверхность площадью $S=5$ см² за время $t=3$ мин нормально падает монохроматический свет, энергия которого $W=9$ Дж. Определить: 1) облученность поверхности, 2) световое давление, оказываемое на поверхность.

3. На лист белой бумаги размером 10 на 25 см нормально к поверхности падает световой поток, который со временем меняется от $\Phi_1=50$ лм до $\Phi_2=100$ лм. Принимая коэффициент рассеяния бумажного листа $\rho=0,7$, определить для него: освещенность, светимость, яркость.

4. На лист белой бумаги размером от 0,0001 до 0,00035 м², нормально падает к поверхности световой поток $\Phi=50$ лм. Принимая коэффициент рассеяния бумажного листа $\rho=0,7$, определить для него: освещенность, светимость, яркость.

5. На лист белой бумаги размером 10 на 25 см нормально к поверхности падает световой поток $\Phi=50$ лм. Принимая коэффициент рассеяния бумажного листа от $0,1$ до $1,5$, определите для него: 1) освещенность, 2) светимость, 3) яркость.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 10. Изучения законов постоянного тока.

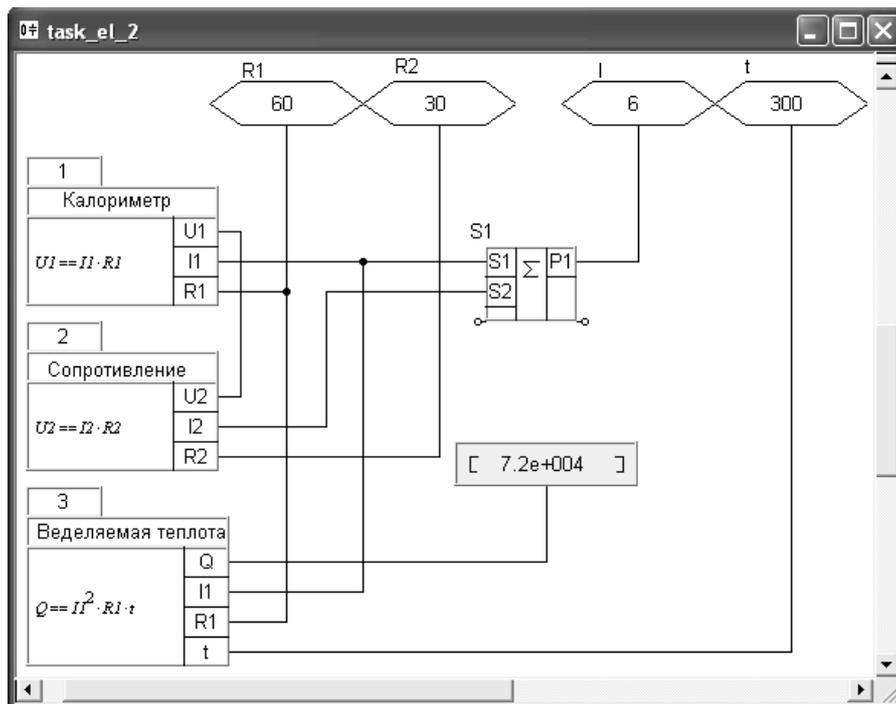
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Изучения законов постоянного тока» с использованием среды моделирования МАРС.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. Калориметр имеет спираль с сопротивлением $R_1=60 \text{ Ом}$, которая включена в цепь, параллельно с сопротивлением $R_2=30 \text{ Ом}$. Амперметр в неразветвленной части цепи показывает ток $I=6 \text{ А}$. Какое количество теплоты отдаст калориметр окружающей среде за время $t=5 \text{ мин}$ пропускания тока?

Пример возможного решения:



2. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от $I_0=0$ до $I_1=3 \text{ А}$ в течение времени $t=10 \text{ с}$. Определить заряд Q , прошедший в проводнике.

3. Напряжение U на шинах электростанции равно $6,6 \text{ кВ}$. Потребитель находится на расстоянии $l=10 \text{ км}$. Определить площадь S сечения медного провода, который следует взять для устройства двухпроводной линии передачи, если сила тока I в линии равна 20 А и потери напряжения в проводах не должны превышать 3% .

4. К источнику тока с ЭДС $\xi=1,5 \text{ В}$ присоединили катушку с сопротивлением $R=0,1 \text{ Ом}$. Амперметр показал силу тока, равную $I_1=0,5 \text{ А}$. Когда к источнику тока присоединили последовательно еще один источник тока с такой же ЭДС, то сила тока I в той же катушке оказалась равной $0,4 \text{ А}$. Определить внутренние сопротивления r_1 и r_2 первого и второго источников тока.

5. Две группы из трех последовательно соединенных элементов соединены параллельно. ЭДС ξ каждого элемента равна $1,2 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $r=0,2 \text{ Ом}$. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $R=1,5 \text{ Ом}$. Найти силу тока I во внешней цепи.

6. По проводнику сопротивлением $R=3 \text{ Ом}$ течет ток, сила которого возрастает. Количество теплоты Q , выделившееся в проводнике за время $\tau=8 \text{ с}$, равно 200 Дж .

Определить количество электричества q , протекшее за это время по проводнику. В момент времени, принятый за начальный, сила тока в проводнике равна нулю.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.

Лабораторная работа № 11. Изучение электромагнитного поля. Определение магнитного потока и сопутствующих величин.

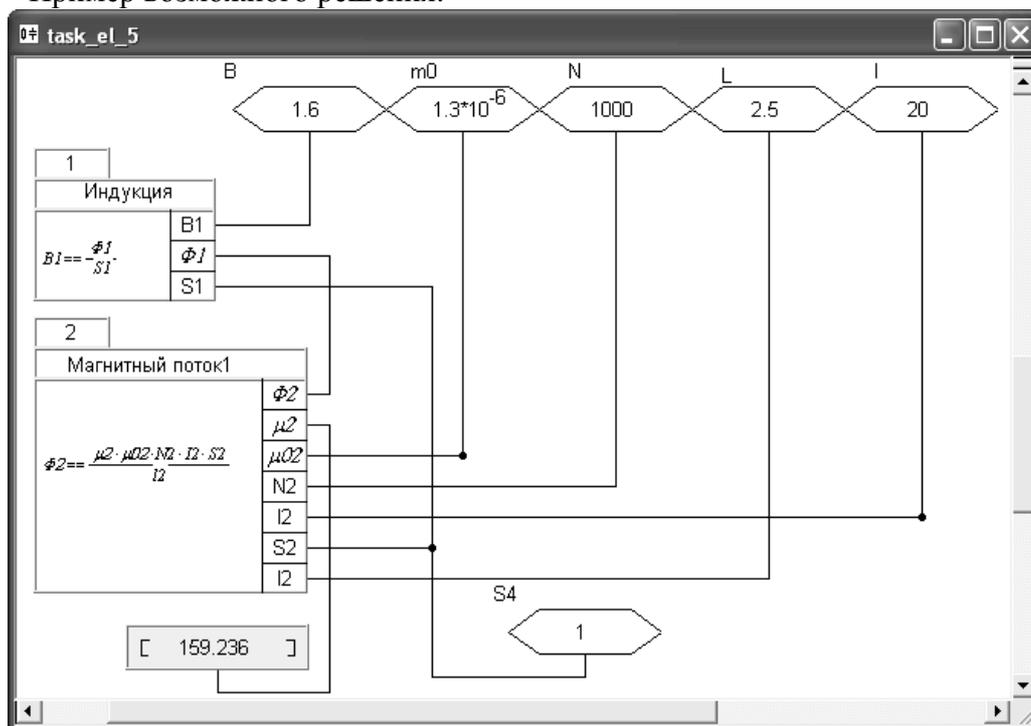
Цель работы – закрепление практических навыков решения задач по теме «Изучение электромагнитного поля. Определение магнитного потока и сопутствующих величин» с использованием среды моделирования MAPS.

Ход работы:

Используя описанный во введении алгоритм, решите следующие задачи:

1. Длина магнитного сердечника тороида $l=2,5$ м. Число витков в обмотке тороида $N=1000$. При токе $I=20$ А индукция магнитного поля $B=1,6$ Тл. Найти магнитную проницаемость сердечника.

Пример возможного решения:



2. Катушка длиной $l=20$ см содержит $N=100$ витков. По обмотке катушки идет ток $I=5$ А. Диаметр d катушки равен 20 см. Определить магнитную индукцию B в точке, лежащей на оси катушки на расстоянии $a=10$ см от ее конца.

3. Обмотка катушки диаметром $d=10$ см состоит из плотно прилегающих друг к другу витков тонкой проволоки. Определить минимальную длину l_{min} катушки, при которой магнитная индукция в середине ее отличается от магнитной индукции бесконечного соленоида, содержащего такое же количество витков на единицу длины, не более чем на $0,5\%$. Сила тока, протекающего по обмотке, в обоих случаях одинакова.

4. Шины генератора представляют собой две параллельные медные полосы длиной $l=2$ м каждая, отстоящие друг от друга на расстоянии $d=20$ см. Определить силу F взаимного отталкивания шин в случае короткого замыкания, когда по ним течет ток $I=10$ кА.

5. Вычислить циркуляцию вектора индукции вдоль контура, охватывающего токи $I_1=10$ А, $I_2=15$ А, текущие в одном направлении, и ток $I_3=20$ А, текущий в противоположном направлении.

Защита лабораторной работы:

1. Представьте преподавателю полученные схемы решения задач.
2. Ответьте на вопросы по ходу решения задач.