

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЛ «ГАММЕТТ» УФИМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВИАЦИОННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Е.Г. Екомасов,
В.Н. Назаров,
Ф.Г. Идрисова,
Э.Т. Изергин,
Н.Ф. Косарев**

**КУБОК Г. УФЫ
ПО ФИЗИКЕ СРЕДИ ШКОЛЬНИКОВ**

(2007–2012)

Учебное пособие

УФА, 2013

УДК 373.5
ББК 72.2

Издание осуществлено при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-01-06819-моб-г), при поддержке гранта правительства РФ по договору №11.G34.31.0042 и за счет внебюджетных средств БашГУ.

Издание подготовлено в рамках Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании».Т.9.

Рецензенты:

Кафедра общей физики Башкирского
государственного университета,
д. ф.-м. н., проф. Вахитов Р.М.

Е.Г. Екомасов, В.Н. Назаров, Ф.Г. Идрисова, Э.Т. Изергин, Н.Ф. Косарев
Кубок г. Уфы по физике среди школьников: Учебное пособие. Уфа, 2013. – 212 с.

В книге представлены материалы Кубка г. Уфы по физике среди школьников, приведены задания этапов, дан регламент проведения мероприятия и протоколы. Учебное пособие предназначено для учителей физики, учащихся 8–11 классов и полезно при подготовке к олимпиадам. Может быть использовано школьниками при самостоятельной подготовке к ЕГЭ по физике.

УДК 373.5
ББК 72.2

© *Е.Г. Екомасов, В.Н. Назаров,
Ф.Г. Идрисова, Э.Т. Изергин,
Н.Ф. Косарев, 2013 г.*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Кубок г. Уфы по физике для старшеклассников	7
Правила проведения	8
Регламент Кубка	10
Задачи Кубка г. Уфы для старшеклассников 2007–2008 уч.г.	16
Задачи Кубка г. Уфы для старшеклассников 2008–2009 уч.г.	39
Задачи Кубка г. Уфы для старшеклассников 2009–2010 уч.г.	61
Задачи Кубка г. Уфы для старшеклассников 2010–2011 уч.г.	83
Задачи Кубка г. Уфы для старшеклассников 2011–2012 уч.г.	105
Методические возможности анализа результатов Кубка	128
Глава 2. Кубок г. Уфы по физике для учащихся 8–9 классов	131
Задачи Кубка по физике Октябрьского района г Уфы 2007 г.	133
Задачи первого Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2008 г.	143
Задачи второго Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2009 г.	153
Задачи третьего Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2010 г.	165
Задачи четвертого Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2011 г.	174
Задачи пятого Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2012 г.	185
Результаты турнира и методические возможности	197
Кубок в лицах	203
Литература	212

Введение

К середине 90-х годов в городе Уфе отсутствовали массовые командные соревнования для старшеклассников по физике столь популярные ранее. Не стало даже городских школьных олимпиад. К тому же упал интерес к естественным наукам, что привело к резкому уменьшению конкурса на физические специальности. На физическом факультете Башкирского государственного университета в это время и появилась инициативная группа ученых, состоящая, в основном, из бывших участников и победителей олимпиад различного уровня, решившая усилить работу с молодежью ориентированной на научную деятельность.

К традиционным формам проведения физических соревнований школьников: олимпиадам и физическим боям, группой была добавлена новая, не имеющая в России аналогов, форма – Кубок города Уфы по физике среди школьников [1–4]. Это массовое командное соревнование для старшеклассников объединяющее олимпиады по механике, молекулярной физике, электричеству и магнетизму, оптике и квантовой физике, проводимое в течение всего учебного года в увлекательной и динамичной форме, напоминающей спортивные соревнования и способной заинтересовать учащихся и учителей. Его суть заключается в том, что, во-первых, учащиеся выполняют задачи каждой из олимпиад относящихся к одному разделу физики, вместе, командой из трех человек. Во-вторых, задачи даются последовательно, причем на решение каждой отводится, в зависимости от сложности, 5, 10, или 15 минут, после чего решения собираются и тут же во время решения следующей задачи проверяются членами жюри на глазах у участников. В-третьих, результаты после проверки сразу пишутся на доске и становятся известны участникам, как и рекомендуемое жюри Кубка по физике решение задачи, подробно разбираемое в перерыве между заданиями. В-четвертых, возможность апелляции по любой задаче делает процедуру олимпиады, по-современному, демократичной, а результаты проверки достаточно объективными. В-пятых, результаты становятся известными и объявляются в момент окончания олимпиады. Все это определяет высокий накал борьбы и зрелищность олимпиады, т.е. те качества, которые как раз и очень высоко ценятся современной молодежью. Особая ценность и привлекательность подобных соревнований школьников состо-

ит еще и в том, что они имеют ярко выраженную учебную направленность, так как решение задач, разбор их правильных решений, апелляции, подведение итогов и награждение победителей происходит в один день, в течение 3–4 часов. Так же, по мнению учителей физики, это очень удобный способ подготовки и формирования сборной команды школы к обычным олимпиадам. В принципе, справедлива и следующая аналогия – данные олимпиады соотносятся с традиционными физическими олимпиадами, как «быстрые» шахматы с классическими.

Первый Кубок Уфы по физике среди школьников прошел в 1997/98 учебном году и сразу вызвал большой интерес у учителей и учащихся города. Заметим, что при проведении таких олимпиад требуется слаженная и быстрая работа членов жюри, которое работает в условиях постоянного цейтнота: решение всех команд по одной задаче должны быть проверены за то время, пока решается следующая задача.

Важной особенностью проведения Кубка является его «открытость» для учета мнения учителей и участников. Правила соревнований обсуждались и утверждались на августовских учительских чтениях и меняются с учетом веяний времени. Так, если в первых Кубках городская олимпиада являлась одним из его этапов (как правило, четвертым), то в связи с существенным расширением числа участников и превращения ее в отборочную на республиканскую олимпиаду она была выведена за пределы кубковых мероприятий. Также корректируются и предлагаемые задания. Например, при включении республики в эксперимент по ЕГЭ жюри посчитало необходимым знакомить участников и с его материалами.

Большой ценностью обладают итоговые результаты проведенных олимпиад, позволяющие судить об уровне подготовки лучших школьников Уфы по отдельным разделам физики в текущем учебном году и, соответственно, дающие возможность учителям корректировать учебный процесс для исправления выявленных мероприятиями недостатков. Победителями Кубка по физике среди школьников Уфы за 15 лет проведения были команды школ – 45, 121, 60, 106, 153, 93. А всего можно выделить около 20 школ города, где традиционно лучше всего налажена углубленная подготовка учащихся по физике. Правда часто наблюдается и известная в российской педагогике картина, когда вдруг школьники новой для жюри школы начинают показывать прекрасные результаты, связанные, как оказывается, с переходом туда известного по работе в другой школе учителя.

Привлекательной особенностью мероприятия является и то, что Кубок по физике, по методике описанной в этой книге, можно проводить и для боды младших классов, и на уровне школы, района и республики, подбирая соответствующего уровня сложности задачи. Так, Кубок по физике для

школьников 8–9 классов г. Уфы организован и проводился первый раз в 2007–2008 учебном году группой преподавателей БГПУ. Организован и проводится с 2007–2008 учебного года и Республиканский турнир «Кубок Башкортостана по физике» для школьников. А в СыктГУ, имеющим уже несколько лет проблемы с набором абитуриентов на физические специальности, по нашей методике был проведен Кубок по физике и победители зачислены без экзаменов на физический факультет [5]. В данной книге обобщается опыт этой работы и подводятся некоторые итоги. При подборе задач использовались различные популярные задачки, некоторые из которых приведены в приложении. Ряд задач являются авторскими.

Глава I

Кубок г. Уфы по физике для старшеклассников

Основной вывод психолого-педагогических исследований последних лет заключается в том, что формирование личности ученика и продвижение его в развитии осуществляется не тогда, когда он воспринимает готовое знание, а в процессе его собственной деятельности, направленной на «открытие» им нового знания и основной ценностью для ученика становится тезис – «ищу и нахожу, думаю и узнаю, тренируюсь и делаю». Обучение, реализующее принцип деятельности и называют деятельностным подходом.

Одним из условий обеспечения глубоких и прочных знаний у учащихся является организация их самостоятельной деятельности по решению задач. Физическая задача – это ситуация, требующая от учащихся мыслительных и практических действий на основе законов и методов физики, направленных на овладение знаниями по физике и на развитие мышления. Решение задач – это условие предупреждения формализма в знаниях учащихся и условие выработки у них умения применять знание на практике. Умение решать задачи следует отнести к сложному познавательному умению, усвоение которого, с одной стороны, предполагает усвоение большого количества операций и частных умений, с другой стороны выступает как критерий усвоения различных элементов знаний. Степень овладения этим умением определяет качество знаний учащихся, возможность осуществления самостоятельной познавательной деятельности.

Среди форм и методов учебно-воспитательной работы широкими возможностями внедрения деятельностного подхода развития одаренных детей обладают конкурсы, интеллектуальные марафоны, олимпиады, система исследовательской работы учащихся. Здесь, велики возможности использования потенциала взаимодействия управлений образования с ВУЗами, хорошим примером чего является Кубок по физике.

Правила проведения

О правилах проведения Кубка по физике для старшеклассников можно судить по его Положению о проведении и регламенту. Т.к. в настоящее время он является частью Республиканского турнира, то ниже представляем именно его.

Приложение № 1
к приказу Министерства образования
Республики Башкортостан
от «10» октября 2012 года
№ 2509

Положение о проведении Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» для учащихся общеобразовательных учреждений Республики Башкортостан в 2012–2013 учебном году

Республиканский турнир «Кубок Башкортостана по физике» для учащихся общеобразовательных школ Республики Башкортостан проводится с целью:

- пропаганды физических знаний;
- вовлечения учащихся в активные занятия физикой и физические кружки;
- углубления интереса школьников к занятиям физикой;
- выявления и развития физических и математических способностей учащихся;
- выявления одаренных детей;
- активизации деятельности и повышения квалификации учителей средних школ, гимназий, лицеев, других средних учебных заведений;
- сравнения качества подготовки по физике в различных школах;
- выявления лучших школьников, лучших учителей, лучших школ по физике.

Республиканский турнир «Кубок Башкортостана по физике» проводится среди учащихся 10 и 11 классов и носит командный характер. Команды на олимпиаду формируются как сборные школ и состоят из 3 человек. Допускается, в виде исключения, формирование сборных команд из разных учебных заведений. Республиканский турнир носит открытый характер, к участию к нему могут допускаться кроме команд из городов и населенных пунктов Республики Башкортостан и команды из городов и населенных пунктов соседних областей.

Порядок отбора и сроки проведения

Республиканский турнир «Кубок Башкортостана по физике» состоит из 4-х муниципальных и заключительного этапов.

Муниципальные этапы проводятся в муниципальных образованиях в следующие сроки:

- 1 этап – по механике – 31 октября 2012 г.
- 2 этап – по молекулярной физике – 14 ноября 2012 г.
- 3 этап – по электричеству и магнетизму – 13 февраля 2013 г.
- 4 этап – по оптике и квантовой физике – 20 марта 2013 г.

Начало всех муниципальных этапов – в 15.00 часов, место проведения определяется организаторами муниципального этапа. К участию в муниципальном этапе олимпиады допускаются команды школ из городов и населенных пунктов Республики Башкортостан, соседних областей, вовремя подавшие заявку в муниципальный оргкомитет на участие. По итогам 4-х муниципальных этапов определяется команда-победитель муниципального турнира.

Победители муниципального турнира (этапа) приглашаются на заключительный этап, по итогам которого будут определены победители Республиканского турнира. Сроки проведения заключительного этапа – апрель 2013 года на базе Физико-технического института БашГУ.

Регистрация участников

Прием заявок от школ на участие в турнире производится в муниципальных оргкомитетах до 25 октября 2012 г. Прием заявок от муниципальных оргкомитетов на участие в Республиканском турнире производится до 28 октября 2012 г. по электронной почте kubokrb11@mail.ru и дублируются по адресу: EkomasovEG@gmail.com В заявке должны быть указаны:

- фамилия, имя, отчество, должность и место работы Председателя муниципального оргкомитета;
- контактные телефоны, адрес электронной почты (желательно два различных адреса для страховки от технических проблем в сети Интернет) для передачи заданий и решений на муниципальные этапы, осуществления оперативной связи с республиканским оргкомитетом.
- количество команд – участников муниципальных этапов.

Заявка подписывается Председателем муниципального оргкомитета. Прием заявок на участие в заключительном этапе от команд победителей муниципального этапа, подписанных Председателем муниципального оргкомитета, производится в день проведения олимпиады на базе Физико-технического института БашГУ.

Подведение итогов, определение победителей и призеров турнира

На каждом муниципальном этапе команды участники должны будут решить по 10 задач подготовленных Республиканским оргкомитетом турнира, оцениваемых по 10-балльной системе. Побеждает на этапе команда, набравшая наибольшую сумму баллов. За первое место на этапе дается бонус (премиальные очки) в 20 баллов, за второе – 15 баллов, за третье – 10 баллов. По итогам четырех олимпиад присуждается звание победителя, серебряного и бронзового призеров муниципального турнира, которые определяются суммой баллов, набранных командой во всех четырех этапах и которые получают право на участие в заключительном этапе.

На заключительном этапе команды участники должны будут решить 12 задач относящихся ко всем разделам школьного курса физики, подготовленных Республиканским оргкомитетом турнира, оцениваемых по 10-балльной системе. Побеждает команда, набравшая наибольшую сумму баллов. Призерами турнира считаются не более 25% участвовавших команд, набравших не менее 50% от общей возможной суммы баллов. Победители объявляются и награждаются по окончании заключительного этапа.

Приложение №2
к приказу Министерства образования
Республики Башкортостан
от «10» октября 2012 года
№ 2509

Регламент проведения муниципальных и заключительного этапов Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике»

1. О Командах

Командой считаются три человека, представляющих одно учебное заведение и обучающиеся в 10–11 классах.

Каждая Команда обязана назвать одного из членов Команды Капитаном.

Во время проведения Кубка каждой Команде приписывается идентификатор, представляющий собой номер или краткое название учебного заведения, представляемого Командой.

Каждый участник Кубка обязан входить в некоторую Команду.

2. О Заявке

Каждая Команда обязана до начала проведения Кубка передать в оргкомитет Заявку.

Заявка содержит номер или название (возможно, краткое) учебного заведения, представляемого Командой, полные фамилии, имена и отчества всех членов Команды, а также указания на то, кто является Капитаном.

Заявка пишется в вольной форме, обязана быть напечатана и заверена администрацией учебного заведения.

Заявка после проведения Кубка возврату Команде не подлежит.

Заявка на участие в заключительном этапе обязана быть напечатана и заверена Председателем муниципального оргкомитета.

3. О Жюри муниципального этапа

В обязанности Жюри входит непредвзятая оценка решений задач, представленных Командами к проверке, проведение апелляций, а также слежение за выполнением всех пунктов данного Регламента.

В состав Жюри может входить произвольное количество людей (зависящее от количества Команд участников) соответствующей квалификации.

Жюри возглавляется Председателем Жюри.

Состав Жюри должен быть оглашен непосредственно перед началом мероприятия.

Проведением олимпиады руководит Координатор. Он организует задачу заданий, объявление времени отведенного командам для решения, сбор листов с решениями, проводит разбор решений задач и обеспечивает своевременное появление информации об итогах проверки.

4. О Жюри заключительного этапа

В обязанности Жюри входит непредвзятая оценка решений задач, представленных Командами к проверке, проведение апелляций, а также слежение за выполнением всех пунктов данного Регламента.

В состав Жюри может входить произвольное количество преподавателей и аспирантов БашГУ (зависящее от количества Команд участников), имеющих опыт участия в проведении олимпиад регионального и выше уровня.

Жюри возглавляется Председателем Жюри.

Состав Жюри должен быть оглашен непосредственно перед началом мероприятия.

Проведением олимпиады руководит Координатор. Он организует задачу заданий, объявление времени отведенного командам для решения,

сбор листов с решениями, проводит разбор решений задач и обеспечивает своевременное появление информации об итогах проверки.

5. Об организационном комитете муниципального этапа

Организационный комитет возглавляется Председателем организационного комитета. Председатель организационного комитета координирует работу с Республиканским оргкомитетом.

В обязанности членов оргкомитета входит подготовка необходимого числа заданий, информационное обеспечение участников о правилах, дате, месте и времени проведения этапов, ведение официальных протоколов итоговых результатов каждого этапа, определение победителей этапов.

6. О республиканском организационном комитете и методической комиссии

Организационный комитет возглавляется Председателем организационного комитета.

В обязанности членов оргкомитета входит руководство и координация работой муниципальных оргкомитетов, выбор времени проведения этапов, обработка протоколов муниципальных этапов и ведение официальных протоколов итоговых результатов турнира, определение победителей заключительного этапа олимпиады.

В обязанности методической комиссии входит подготовка заданий для муниципальных и заключительного этапов.

7. О процедуре проведения муниципального этапа

Муниципальный турнир (этап) состоит из четырех этапов.

Перед первым этапом производится представление Жюри и объявление правил турнира.

Каждый этап состоит из десяти задач, условия которых доводятся до сведения Команды поочередно по мере решения задач. Над каждой задачей имеют право работать все члены Команды. Затем через заранее известный промежуток времени все Команды производят сдачу письменных решений задачи. Все оговорки должны быть произведены перед началом этапа Председателем организационного комитета.

Все команды и жюри находятся в одном помещении. Члены жюри размещаются напротив команд, так что процесс проверки проходит на виду. Доска делится на две половины. Одна предусмотрена для разбора задач, а вторая для записи результатов проверки.

8. О процедуре проведения заключительного этапа

Перед началом производится представление Жюри и объявление правил олимпиады.

Олимпиада состоит из двенадцати задач, условия которых доводятся до сведения Команды поочередно по мере решения задач. Над каждой задачей имеют право работать все члены Команды. Затем через заранее известный промежуток времени все Команды производят сдачу письменных решений задачи. Все оговорки должны быть произведены перед началом этапа Председателем организационного комитета.

Все команды и жюри находятся в одном помещении. Члены жюри размещаются напротив команд, так что процесс проверки проходит на виду. По ходу олимпиады предусмотрена процедура разбора задач и ознакомления участников с результатами проверки решения задач.

9. О проверке

Проверка задач осуществляется Жюри, с учетом разбалловки, во время рассмотрения Командами следующей задачи.

Оценка каждой задачи производится по десятибалльной системе в соответствии с единой разбалловкой, предоставленной по каждой задаче республиканским оргкомитетом.

Результаты проверки заносятся в таблицу в виде полученных Командой баллов за отдельную задачу таким образом, чтобы Команда могла видеть эти результаты, не покидая своего места.

10. Об апелляции

Апелляция проводится Жюри.

В случае несогласия с оценкой решения задачи Команда имеет право на апелляцию, которая заключается в устной просьбе к Жюри пересмотреть решение с указанием на детали, которые могли быть не замечены в ходе проверки. Апелляцию по задаче, решение которой было доведено до сведения всех Команд, может подавать любой член Команды после объяснения решения этой задачи, во время решения другой задачи. Апелляция по последней задаче не производится.

В ходе апелляции производится только повторная оценка письменного решения, устные дополнения участника не учитываются.

В результате апелляции баллы по задаче могут быть изменены как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

В случае несогласия Команды с результатом апелляции решение переоценивается в присутствии Председателя организационного комитета и

Председателя Жюри, совместное решение которых является окончательным.

11. О дисквалификации

Дисквалификацией считается полное исключение команды из дальнейшего процесса проведения турнира.

Дисквалификация производится по решению Председателя Организационного комитета независимо от причины дисквалификации.

Причиной для рассмотрения вопроса о дисквалификации могут быть оскорбление в адрес Жюри, подача двух решений одной задачи от одной Команды, сдача Командой решения, на котором обозначен идентификатор другой команды, а также совершение действий, затрудняющих деятельность других Команд.

12. О подведении результатов

Результаты на муниципальном этапе подводятся как по сумме баллов по десяти задачам, так и по сумме баллов за четыре этапа.

Победители по итогу этапа объявляются по окончании проверки всех задач.

Победители по итогам муниципального турнира объявляются по окончании всех муниципальных этапов.

Результаты на заключительном этапе подводятся по сумме баллов по двенадцати задачам. Победители и призеры заключительного этапа награждаются дипломами Министерства образования Республики Башкортостан и ценными призами.

Состав оргкомитета по организации и проведению Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» для учащихся общеобразовательных учреждений Республики Башкортостан в 2012–2013 учебном году

1. Аристархов В.В., заместитель министра образования, председатель;
2. Юмалина М.Р., главный специалист-эксперт отдела общего образования министерства образования;
3. Якшибаев Р.А., доктор физико-математических наук, профессор, директор физико-технического института Башкирского государственного университета;

Состав методической комиссии Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» для учащихся общеобразовательных учреждений Республики Башкортостан в 2012–2013 учебном году

1. Екомасов Е.Г., доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики Башкирского государственного университета, председатель жюри;
2. Назаров В.Н., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики Башкирского государственного университета;
3. Акманова Г.Р., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики Башкирского государственного университета;
4. Мавлетов М.В., кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института механики УНЦ РАН;
5. Азаматов Ш.А., кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры теоретической физики Башкирского государственного университета;
6. Макаев Р. И., ассистент кафедры физики Уфимского государственного авиационного технического университета;
7. Шадеев Р. Р., ассистент кафедры общей физики Башкирского государственного университета;
8. Екомасов А. Е., аспирант Башкирского государственного университета;
9. Муртазин Р. Р., аспирант Башкирского государственного университета;
10. Гумеров А. М. аспирант Башкирского государственного университета

**Задачи Кубка г. Уфы
для старшеклассников 2007–2008 уч. г.**

Механика

1. Мальчик, который может плавать со скоростью в два раза меньшей скорости течения реки, хочет переплыть эту реку так, чтобы его как можно меньше снесло вниз по течению. Под каким углом к берегу он должен плыть?
2. Космический корабль должен, изменив курс, двигаться с прежним по модулю импульсом p под углом α к первоначальному направлению. На какое наименьшее время нужно включить двигатель корабля с силой тяги F и как при этом нужно ориентировать направление приложения силы тяги?
3. Легкая лестница установлена опираясь на абсолютно гладкую стену под углом 60° к горизонту. Коэффициент трения лестницы о пол составляет $\mu = 0,2$. Длина лестницы 2 м. Человек массой $m = 60$ кг поднимается вверх по лестнице. На какую максимальную высоту он сможет подняться, прежде чем лестница начнет скользить?
4. Наблюдатель услышал звук самолета, идущий в направлении 60° от вертикали в то время, когда самолет был у него точно над головой. Звук стал приходить с вертикального направления, когда самолет отошел от вертикали на 30° . С какой скоростью летел самолет? Скорость звука в воздухе принять равной 330 м/с.
5. Маленький кубик массы 2 кг может скользить без трения по цилиндрической выемке радиуса 0,5 м. Начав движение сверху, он сталкивается с другим таким же кубиком, покоящимся внизу. Чему равно количество теплоты, выделившееся в результате абсолютно неупругого столкновения?
6. Брусок, покоящийся на горизонтальном столе, и пружинный маятник, состоящий из груза и легкой пружины, связаны легкой нерастяжимой нитью через идеальный блок. Коэффициент трения между основанием бруска и поверхностью стола, на котором он лежит, равен $\mu = 0,25$. Груз маятника совершает колебания с частотой 2,5 Гц вдоль вертикали, совпадающей с вертикальным отрезком нити. Максимально возможная амплитуда этих колебаний, при которой они остаются гармоническими, равна 4 см. Чему равно минимальное отношение массы бруска к массе груза?

7. Масса Марса составляет 0,1 от массы Земли, диаметр Марса вдвое меньше, чем диаметр Земли. Каково отношение периодов обращения искусственных спутников Марса и Земли, движущихся по круговым орбитам на небольшой высоте?

8. На наклонной плоскости с углом наклона к горизонту α лежит тело, коэффициент трения которого о плоскость равен μ ($\mu < \operatorname{tg} \alpha$). Найти минимальную силу, которую следует приложить к телу, чтобы удержать его на плоскости.

9. Шарик всплывает с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в четыре раза больше плотности материала шарика. Определить силу сопротивления жидкости при движении в ней шарика, считая ее постоянной, если масса шарика 10 г.

10. Точка А движется со скоростью 1 м/с, точка В – со скоростью 2 м/с. При этом направления скоростей все время совпадают и расстояние АВ остается постоянным. Опишите, как движутся эти точки.

Решения

1. Скорость мальчика относительно берега $\vec{v}_p = \vec{u} + \vec{v}$, где \vec{u} – скорость реки, \vec{v} – скорость мальчика относительно воды. Чтобы снос был минимальным нужно, чтобы суммарная скорость реки и мальчика была направлена под возможно большим углом к берегу. Максимальным этот угол будет, если суммарная скорость будет направлена по касательной к окружности, радиус которой равен модулю скорости мальчика. Тогда угол минимального сноса $\sin \alpha = v/u$. Мальчик должен плыть под углом $\beta = \pi/2 - \alpha = \pi/3 = 60^\circ$ к берегу.

2. Время включения двигателя с фиксированной силой тяги будет наименьшим, если ось двигателя точно ориентировать по направлению изменения импульса $\Delta \vec{p} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$. По второму закону Ньютона $\vec{F} = \Delta \vec{p} / \Delta t$. Очевидно, что $\Delta p = 2p \sin \alpha/2$. Следовательно искомое время

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{F} = \frac{2p \sin \alpha/2}{F}.$$

Причем сила тяги двигателей должна быть направлена под углом α_1 к первоначальному направлению движения корабля. Этот угол должен быть равен

$$\alpha_1 = \pi - (\pi - \alpha) / 2 = (\pi + \alpha) / 2.$$

3. Условие равновесия лестницы – равенство суммы сил и суммы моментов сил нулю. Сила нормальной реакции пола равна $N_1 = mg$, поскольку другие силы не имеют вертикальных составляющих. Поэтому сила трения равна $F_{tp} = \mu mg$ и направлена горизонтально, как и сила реакции стенки. Равенство моментов сил относительно точки опоры дает уравнение $mgx \sin 30^\circ = \mu mg \ell \cos 30^\circ$, где $x = \mu \ell \cos 30^\circ / \sin 30^\circ$ – расстояние, пройденное человеком вдоль лестницы. Высота подъема человека в этом случае равна $h = x \cos 30^\circ = \mu \ell \cos^2 30^\circ / \sin 30^\circ = 0,6$.

4. Поскольку полет самолета происходил горизонтально, а когда он оказался над наблюдателем, направление на него было вертикальным, расстояние, которое пролетел самолет за время распространения звука до наблюдателя, относится к расстоянию, пройденному звуком за это же время, как катет к гипотенузе прямоугольного треугольника, то есть $v_1 = v_z \cos 60^\circ$. На втором участке пути – $v_2 = v_z \operatorname{tg} 30^\circ$. Подставляя в эти формулы численные значения скорости звука, получаем, что сначала самолет летел со скоростью $v_1 = 286$ м/с, а потом со скоростью $v_2 = 197$ м/с.

5. Количество теплоты, выделившееся в результате столкновения, определяется как разность кинетических энергий системы до столкновения и после неупругого столкновения. $Q = E_0 - E_k$. Начальная энергия равна потенциальной энергии кубика $E_0 = mgr$. Конечная энергия определяется конечной кинетической энергией обоих кубиков $E_k = mv_k^2$. По закону сохранения импульса при неупругом столкновении $mv_1 = 2mv_k$. Отсюда определяется конечная скорость обоих кубиков $v_k = v_1/2$. Поскольку скорость первого кубика перед столкновением может быть определена из условия сохранения его полной энергии, то $v_1^2 = 2gr$. Для выделившегося количества тепла следовательно, получаем после подстановки величин $Q = mgr - mv_1^2/4 = mgr/2 = 5$ Дж.

6. Введем обозначения: M – масса бруска, μ – коэффициент трения между бруском и столом, m – масса груза пружинного маятника, k – жесткость пружины маятника, A – амплитуда колебаний пружинного маятника, ν – частота колебаний пружинного маятника. Удлинение пружины при равновесии маятника $x_0 = mg/k$. Частота гармонических колебаний пружинного маятника

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Колебания груза остаются гармоническими, если совместно выполняются два условия. 1) Верхний конец пружины в процессе колебаний неподвижен. 2) Пружина и нить все время натянуты, поэтому груз нигде не переходит в режим свободного падения. Из первого условия следует, что в крайнем нижнем положении груза, когда удлинение пружины равно $x_0 + A$, сила натяжения нити, равная по модулю упругой силе пружины, недостаточна для того, чтобы сдвинуть брусок

$$F_{yup} = k(x_0 + A) = mg + kA \leq \mu Mg.$$

Отсюда следует

$$A \leq \frac{g}{k} (\mu M - m) = \left(\mu \frac{M}{m} - 1 \right) \frac{g}{(2\pi\nu)^2}.$$

Из второго условия следует, что в крайнем верхнем положении груза, когда удлинение пружины равно $x_0 - A$, пружина растянута или не напряжена, но не сжата, откуда

$$A \leq x_0 = \frac{mg}{k} = \frac{g}{(2\pi\nu)^2}.$$

Подставляя данные из условия задачи, получаем $A_{\max} = 4$ см. Это совпадает с заданным в условии значением A_{\max} . Следовательно, максимальная амплитуда колебаний определяется вторым условием, то есть первое условие не сильнее второго. Это означает, что

$$\frac{g}{(2\pi\nu)^2} \leq \left(\mu \frac{M}{m} - 1 \right) \frac{g}{(2\pi\nu)^2}.$$

Отсюда получаем ограничение

$$\frac{M}{m} \geq \frac{2}{\mu} = 8.$$

7. Ускорение спутника, движущегося со скоростью ν вокруг планеты массой M по круговой орбите радиуса R , равно $a = \nu^2/R$. Сила всемирного тяготения $F = GMm/R^2 = ma$, откуда

$$a = G \frac{M}{R^2}.$$

Следовательно, скорость движения по орбите $\nu = \sqrt{GM/R}$. Период обращения спутника

$$T = 2\pi R/v = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}.$$

Для данных в задаче Марса и Земли получим:

$$\frac{T_M}{T_Z} = \sqrt{\frac{R_M^3 M_Z}{R_Z^3 M_M}} = \sqrt{0,125 \cdot 10} \approx 1,1.$$

8. Очевидно, что если удерживающая сила будет, кроме того, и прижимать тело к наклонной поверхности она может быть меньше. Пусть угол, составляемый ею с наклонной плоскостью, равен β . Тогда, проектируя действующие силы на направление вдоль наклонной плоскости, получим $mg \sin \alpha - \mu N - F \cos \beta = 0$. Проектирование на перпендикулярное направление даст $N - mg \cos \alpha - F \sin \beta = 0$. Решая эту систему уравнений, получим для модуля силы выражение

$$F = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\mu \sin \beta + \cos \beta}.$$

Минимальное значение для силы получится если оба слагаемых в знаменателе одинаковы $\mu \sin \beta = \cos \beta$. Отсюда $\operatorname{tg} \beta = \mu$ и, следовательно

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}}.$$

Подставляя также и синус, выраженный через тангенс, получим для минимальной силы выражение

$$F_{\min} = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\sqrt{1 + \mu^2}}.$$

9. Поскольку плотность жидкости в четыре раза больше плотности шарика, сила Архимеда будет в четыре раза больше веса шарика. При равномерном движении шарика разность между этими силами должна компенсироваться по первому закону Ньютона силой сопротивления среды. Следовательно, сила сопротивления среды должна быть в три раза больше веса шарика

$$F_c = 3mg \approx 0,3 \text{ Н.}$$

10. Материальные точки движутся по окружностям с общим центром. При этом их скорости параллельны, поскольку направлены по касательной к окружности, но различаются, поскольку радиусы окружностей различаются в два раза.

Молекулярная физика

1. При каких условиях относительная влажность воздуха может уменьшиться, несмотря на увеличение абсолютной влажности. (5 минут)

2. На сколько процентов увеличивается средняя квадратичная скорость молекул воды в нашей крови при повышении температуры от нормальной до 40°C? (5 минут)

3. В вакууме закреплен горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится гелий при давлении 100 кПа и температуре 27°C. Поршень массой 90 г удерживается справа и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая справа горизонтально со скоростью 300 м/с, и застревает в нем. Температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении, возрастает на 90 К. Каков первоначальный объем гелия? (15 минут)

4. Плотность газа равна 2,5 кг/м³ при температуре 100 С и давлении 105 Па. Какова молярная масса этого газа? (5 минут)

5. К.П.Д. теплового двигателя, работающего по циклу 1-2-3-1, где 1-2 – изотерма, 2-3 – изохора, 3-1 – адиабата равен η_1 . К.П.Д. двигателя, работающего по циклу 3-4-1-3, где 3-4 – изотерма, 4-1 – изохора и 1-3 – та же адиабата, что и в первом цикле равен η_2 . Чему равен КПД двигателя, работающего по циклу 1-2-3-4-1? (15 минут)

6. Идеальный одноатомный газ в количестве 1 моль сначала изотермически расширился ($T_1=300 \text{ К}$). Затем газ изохорно нагрели, повысив давление в 3 раза. Какое количество теплоты получил газ в последнем процессе? (5 минут)

7. В закрытом с обоих концов горизонтальном цилиндре находится поршень, разделяющий цилиндр на две части. В одной части цилиндра находится 3 г водорода, в другой – 16 г кислорода. Какую часть объема цилиндра занимает водород? Объем поршня считать очень малым. Трение не учитывать. (5 минут)

8. Для охлаждения лимонада с температурой 30°C в стакан бросают граммовые кубики льда при температуре 0°C. После того как в лимонад бросили 4 кубика льда, установилась температура 15°C. Сколько лимонада было в стакане? (10 минут)

9. Начертить график изменения плотности газа от температуры в изобарном процессе и график зависимости плотности газа от давления в изотермическом процессе. (5 минут)

10. Найти объем 1 киломоля воды вблизи тройной точки воды, то есть при температуре около 0°C . Результат выразить в кубометрах с точностью до одной тысячной. (5 минут)

Решения

1. Относительная влажность равна $\varphi = p / p_n 100\%$, где p – абсолютная влажность. (2б) При увеличении p увеличивается и φ , если p_n – постоянна. (2б) Но p_n – давление насыщенных паров, которое растет с ростом температуры. (2б) Поэтому φ может уменьшаться с ростом p только если повышается температура. (4б)

2. Нормальная температура человеческого тела составляет $T = 36,6^{\circ}\text{C}$. Среднеквадратичная скорость молекул воды при этой температуре определяется равенством $m_0 \langle v \rangle^2 / 2 = kT$, где m_0 – масса молекулы воды, k – постоянная Больцмана. (2б) Отсюда $\langle v \rangle = \sqrt{2kT / m_0}$. (1б) Здесь $T = 273 + 36,6 = 309,6$. При температуре $T_2 = 273 + 40 = 313\text{K}$ формула имеет тот же вид $\langle v_2 \rangle = \sqrt{2kT_2 / m_0}$. Изменение скорости $\Delta v = \langle v_2 \rangle - \langle v \rangle = \sqrt{2k / m_0} (\sqrt{T_2} - \sqrt{T})$. (2б) Относительное изменение скорости $\Delta v / \langle v \rangle = (\sqrt{T_2 / T} - 1)$. (4б) Численная подстановка дает $\Delta v / \langle v \rangle = 0,0055$. В процентах это будет 0,55%. (1б)

3. По закону сохранения импульса при неупругом ударе поршень получает скорость $v_1 = m_1 v / (m_1 + m_2)$, где v – скорость пули m_1 – масса пули m_2 – масса поршня. (2б) Кинетическая энергия поршня, с застрявшей в нем пулей, равна $\frac{(m_1 + m_2)v_1^2}{2} = \frac{m_1^2 v^2}{2(m_1 + m_2)}$. (1б) Эта энергия полностью пере-

ходит во внутреннюю энергию гелия, поскольку процесс настолько быстрый, что теплообмена не произойдет (процесс адиабатический). Поэтому

$\frac{m_1^2 v^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{3}{2} \nu RT$. (2б) Из уравнения состояния идеального газа следует,

что начальный объем определяется равенством $V = \nu RT / p$. (2б) Но из

предыдущего равенства следует, что $\nu R = \frac{m_1^2 v^2}{(m_1 + m_2) \Delta T}$. (1б) Таким обра-

зом, $V = \frac{m_1^2 v^2 T}{3(m_1 + m_2) \Delta T p}$. (1б) Подстановка численных значений дает, что

$$V = 10^{-3} \text{ м}^3. (1б)$$

4. Из уравнения состояния идеального газа $pV = (m / \mu) RT$. (3б) Отсюда молярная масса задается формулой $\mu = \frac{mRT}{Vp} = \rho \frac{RT}{p}$. (6б) Подстановка

численных значений дает $\mu = 58,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. (1б)

5. В первом из циклов тепло получается от нагревателя только в изотермическом процессе, а отдается холодильнику в изохорном процессе. Поэтому для КПД можно записать выражение $\eta_1 = \frac{Q_{12} - Q_{23}}{Q_{12}} = 1 - \frac{Q_{23}}{Q_{12}}$. (1б)

Во втором процессе тепло получает газ от нагревателя только в изохорном процессе, а отдает только в изотермическом процессе. Поэтому в этом случае КПД выражается формулой $\eta_2 = \frac{Q_{41} - Q_{34}}{Q_{41}} = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{41}}$. (1б) КПД процесса, который надо получить, имеет вид: $\eta = \frac{Q_{41} + Q_{12} - Q_{23} - Q_{34}}{Q_{12} + Q_{41}}$. (1б) По-

скольку на изохорах получаемое и отдаваемое тепло определяется только разностью температур, то $\eta = \frac{Q_{12} - Q_{34}}{Q_{12} + Q_{41}}$. (1б) Разделив в этом выражении

числитель и знаменатель на $Q_{41} = Q_{23}$, (3б) получим $\eta = \frac{Q_{12}/Q_{23} - Q_{34}/Q_{41}}{Q_{12}/Q_{23} + 1}$. (1б) Но $Q_{12}/Q_{23} = \frac{1}{1 - \eta_1}$, $Q_{34}/Q_{41} = 1 - \eta_2$. (2б)

Поэтому $\eta = \frac{1/(1 - \eta_1) - (1 - \eta_2)}{1/(1 - \eta_1) + 1} = \frac{\eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2}{2 + \eta_1}$. (1б)

6. Количество тепла, полученное при изохорном нагревании, идет на увеличение внутренней энергии и равно $Q = \Delta U = 3/2 \nu R(T_2 - T_1)$. (3б) Для определения T_2 воспользуемся законом Шарля $p_2 / p_1 = T_2 / T_1 = 3$. (3б)

Отсюда $T_2 = 3T_1$. (1б) Следовательно, $Q = \frac{3}{2} R \cdot 2T_1 = 7479 \text{ Дж}$. (3б)

7. Если бы газы содержали одинаковое число молекул, то их объемы были бы одинаковы. Водорода мы имеем $3/2=1,5$ моля, (2б) а кислорода $16/32=0,5$ моля. (2б) Вследствие чего объемы этих газов должны относиться как $0,5:1,5=1:3$. (4б) Значит, водород занимает $3/4$ объема, а кислород $1/4$ объема. (2б)

8. Согласно уравнению теплового баланса тепло отданное лимонадом $Q_1 = m_1 c \Delta t$ (2б) равно теплу, полученному льдом $Q_2 = 4\lambda m + 4cm\Delta t$. (2б) Поэтому получаем уравнение: $m_1 c \Delta t = 4m(\lambda + c\Delta t)$. (4б) Отсюда $m_1 = \frac{4m(\lambda + c\Delta t)}{c\Delta t} = \frac{4 \cdot 0,001 \cdot (330000 + 4200 \cdot 15)}{4200 \cdot 15} = 0,02495$ кг. (1б) В стакане было 25 г лимонада. (1б)

9. Поскольку в изобарном процессе $p = const$, то $\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{R T}$. (5б) В изотермическом процессе по тому же уравнению $\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu}{RT} p$. (5б)

10. Вблизи тройной точки воды она может находиться в трех состояниях. (1б) В газообразном состоянии объем одного киломоля как и для всякого газа равен $22,4$ м³. (3б) В жидком состоянии ее объем будет равен $0,018$ м³. (3б) В твердом состоянии, поскольку плотность льда равна 900 кг/м³, объем будет равен $0,02$ м³. (3б)

Электричество

1. Два электрических заряда $q_1 = 4$ мкКл и $q_2 = -1$ мкКл расположены на расстоянии 1 м друг от друга. Найти потенциал электрического поля этой системы зарядов в той точке, где напряженность поля равна нулю. Считать потенциал поля на бесконечности нулевым. (5 мин)

2. Электроны, ускоренные до энергии $W = 1000$ эВ, влетают в середину зазора между пластинами плоского конденсатора параллельно пластинам. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 1$ см, их длина $L = 10$ см. Какое наименьшее напряжение U_{\min} надо приложить к пластинам конденсатора, чтобы электроны не вылетели из него? (10 мин)

3. По однородному алюминиевому цилиндрическому проводнику течет ток. Сила тока в проводнике 100 А. Через 10 секунд проводник начал плавиться. Определить площадь поперечного сечения проводника, если его начальная температура была равна 20°C . Изменением сопротивления про-

водника при нагревании и рассеянием тепла в этом процессе пренебречь. Удельное сопротивление алюминия считать равным $0,028$ Ом м, температуру плавления считать равной 660°C , плотность алюминия 2700 кг/м³, удельная теплоемкость алюминия 880 Дж/(кг К). (5 мин)

4. ЭДС источника постоянного тока $\varepsilon = 2$ В, а его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Мощность тока в резисторе, подключенном к источнику, $P_0 = 0,75$ Вт. Чему равна сила тока в цепи? (5 мин)

5. По двум длинным прямым проводникам, находящимся на расстоянии 5 см друг от друга, протекают токи силой в 10 А в одном направлении. Определить индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от одного из проводников и на расстоянии 4 см от другого. (10 мин)

6. На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жесткая тонкая рамка в виде равностороннего треугольника ADC со стороной равной a . Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции которого перпендикулярен стороне CD и по модулю равен B . Какой силы ток нужно пропустить по рамке (по часовой стрелке), чтобы она начала приподниматься относительно стороны CD, если масса рамки m ? (10 мин)

7. Кольцо из тонкой проволоки сопротивлением R ограничивает на плоскости круг площадью $S = 0,1$ м², в пределах которого магнитное поле однородно. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости круга. За пределами круга магнитное поле пренебрежимо мало. Какое напряжение покажет вольтметр с внутренним сопротивлением r , подключенный к точкам 1 и 2, которые делят длину кольца в отношении $1:2$? Магнитное поле меняется с течением времени так, что $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,01$ Тл/с, а $\frac{r}{R} = 10$. (10 мин)

8. К цепи, состоящей из катушки с индуктивностью 1 мГн сопротивлением 1 Ом и соединенного параллельно ей конденсатора емкостью 25 мкФ, приложена переменная ЭДС, амплитуда которой 15 В. Построить график зависимости амплитуды тока, протекающего по цепи от частоты приложенной ЭДС. (15 мин)

9. Максимальный заряд на обкладках конденсатора колебательного контура $q_m = 10^{-7}$ Кл. Амплитудное значение силы тока в контуре $I_m = 10^{-3}$ А. Определить период колебаний. (5 мин)

10. Приведите пример (с доказательством) системы двух разноименно заряженных тел, когда при их сближении сила притяжения между ними уменьшается до нуля. (5 мин)

Решения

1. Точка, в которой напряженность поля равна нулю, должна лежать на линии, соединяющей заряды с той стороны от системы зарядов, где находится меньший по модулю заряд. (2 балла) Тогда напряженности поля, создаваемые зарядами будут направлены в разные стороны, и условие задачи выполняется при равенстве их модулей. Таким образом, имеем для расстояния этой точки от ближайшего заряда x уравнение:

$$\frac{|q_1|}{(\ell + x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \quad (3 \text{ балла})$$

Решая это уравнение получим для расстояния от ближайшего заряда: $x = \frac{\sqrt{|q_2|}\ell}{\sqrt{|q_1|} - \sqrt{|q_2|}} = 1 \text{ м}$ (2 балла). Находим теперь потенциал в этой точке

по принципу суперпозиции просто складывая потенциалы, создаваемые каждым из зарядов. Получим:

$$\varphi(x) = k \left(\frac{q_1}{\ell + x} + \frac{q_2}{x} \right) = 9 \cdot 10^3 \text{ В} = 9 \text{ кВ}. \quad (3 \text{ балла})$$

2. Скорость электронов перед влетом их в конденсатор определяется из кинетической энергии $W = mv^2/2$, т.е. $v = \sqrt{2W/m}$. (2 балла) Условие, при котором электроны не вылетят из конденсатора, имеет вид: $x = at^2/2 \geq d/2$, где $t = L/v$. (2 балла). Согласно второму закону Ньютона, $a = F/m = eE/m$, где $|E| = |U/d|$. (2 балла). Следовательно, в электрическом поле конденсатора: $a = eU/dm$, и $d/2 = eU_{\min}L^2/2dmv^2$. (2 балла).

Отсюда: $U_{\min} = 2d^2W/eL^2 = 20 \text{ В}$. (2 балла).

3. Поскольку по условию задачи тепловыми потерями, как и изменением сопротивления проводника можно пренебречь, будем считать сопротивление проводника постоянным и равным $R = \rho l/S$. (2 балла). Тогда количество выделившегося тепла равно $Q = I^2 R \Delta t = I^2 \rho \ell \Delta t / S$ (2 балла), полностью пойдет на нагревание алюминия до температуры плавления. Следовательно, получаем уравнение теплового баланса в виде:

$I^2 \rho \ell \Delta t / S = c_{Al} \sigma_{Al} \ell S \Delta T$. (3 балла). Отсюда для сечения цилиндра получа-

$$\text{ем: } S = I \sqrt{\frac{\rho \Delta t}{c_{Al} \sigma_{Al} \Delta T}} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 1,3 \text{ мм}^2. \quad (3 \text{ балла})$$

4. Закон сохранения энергии для электрической цепи имеет вид: $\varepsilon I t = I^2 R t + I^2 r t$. (2 балла) Так как мощность тока в резисторе равна $P = I^2 R$, (2 балла) то $P = \varepsilon I - I^2 r$. (2 балла) Можно записать следующее квадратное уравнение: $0,75 = 2I - I^2$. (2 балла) Для нахождения силы тока надо решить квадратное уравнение: $I^2 - 2I + 0,75 = 0$. Отсюда $I_1 = 1,5 \text{ А}$, $I_2 = 0,5 \text{ А}$. (2 балла).

5. По численным данным задачи видно, что в плоскости, перпендикулярной проводникам сечения проводников и точка, в которой нужно найти поле, находятся в вершинах прямоугольного треугольника. Поэтому индукция магнитного поля, создаваемого одним проводником будет перпендикулярна индукции магнитного поля, создаваемого другим проводником. Следовательно, модуль индукции поля, создаваемого обоими проводниками, будет равен корню квадратному из суммы квадратов каждого из полей. (3 балла). Индукция магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника с током задается формулой: $B = \mu_0 I / (2\pi r)$ (1 балл). Поэтому $B_1 = \mu_0 I / (2\pi r_1)$ (1 балл) и соответственно $B_2 = \mu_0 I / (2\pi r_2)$. (1 балл).

Складывая эти индукции, получим:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2}} \right) = \frac{\mu_0 I \ell}{2\pi r_1 r_2} = 0,83 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} = 8,3 \text{ мкТл}. \quad (4 \text{ балла}).$$

6. Пусть по рамке течет ток I . На стороны рамки действует сила Ампера. На сторону AC: $F_{A1} = IaB \sin(\pi - \alpha) = IaB/2$. (1 балл). На сторону AD: $F_{A2} = IaB \sin \alpha = IaB/2$. (1 балл). На сторону CD: $F_{A3} = IaB$. (1 балл). Суммарный момент этих сил относительно оси CD

$$N_A = F_A \frac{a\sqrt{3}}{4} + F_A \frac{a\sqrt{3}}{4} = \frac{a^2 BI \sqrt{3}}{4} \quad (2 \text{ балла})$$

Момент силы тяжести $N_k = -\frac{mga}{2\sqrt{3}}$. (2 балла). Условия отрыва

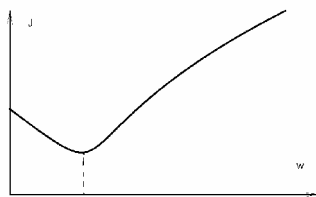
$$N_A + N_k \geq 0 \quad \frac{a^2 BI \sqrt{3}}{4} \geq \frac{mga}{2\sqrt{3}}. \quad (2 \text{ балла}). \text{ Отсюда } I \geq \frac{2mg}{3aB}. \quad (1 \text{ балл}). \text{ До-}$$

пускается ответ в виде равенства.

7. Для токов, текущих по образованной цепи запишем систему уравнений: Уравнение закона Ома для простого замкнутого контура $i_1 2R/3 + i_2 R/3 = \varepsilon$, (1 балл) уравнение закона Ома для простого замкнутого контура, образованного меньшей частью кольца и участком цепи, содержащим вольтметр $i_2 R/3 - i_3 r = 0$, (1 балл) условие стационарности токов $i_1 = i_2 + i_3$, (1 балл) уравнение, соответствующее закону электромагнитной индукции $\varepsilon = S \Delta B / \Delta t$ (2 балла) и уравнение закона Ома для участка цепи, содержащего вольтметр $U_V = i_3 r$. (1 балл) Здесь введены обозначения i_1 – для тока, текущего по большей части кольца, i_2 – для тока, текущего по меньшей части кольца, i_3 – для тока через вольтметр. Решая полученную систему уравнений совместно, для показаний вольтметра получаем результат: $U_V = \frac{S \Delta B / \Delta t}{2R/3r + 3} = 326 \cdot 10^{-6}$ В или $U_V = 326$ мкВ. (4 балла)

8. При частоте переменного тока равной нулю ток через соединение, указанное в задаче, равен 15 А. С ростом частоты, растет сопротивление катушки индуктивности, и ток через катушку индуктивности падает. Одновременно растет ток через конденсатор. Но эти токи находятся в противофазе, поэтому общий ток равен их разности и тоже падает. (2 балла). Минимального значения ток достигает тогда, когда полное сопротивление катушки, равное $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$ (1 балл) совпадает с сопротивлением конденсатора $X_c = 1/C\omega$. (1 балл). Этот минимум соответствует значению частоты, определяемому равенством $Z = X_c$. Частота, при которой ток будет минимален, равна $\omega^2 = \frac{\sqrt{R^4 C^4 + 4L^2 C^2} - R^2 C^2}{2L^2 C^2}$. (1 балл). Числен-

ное значение равно приблизительно $6 \cdot 10^3$ Гц. (1 балл). С дальнейшим ростом частоты ток в основном идет через конденсатор и при стремлении частоты к бесконечности неограниченно возрастает. Поэтому график имеет вид:



(4 балла)

9. Согласно формуле Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$. (3 балла). Из закона сохранения энергии следует, что $LI_m^2 / 2 = q_m^2 / (2C)$. (4 балла). Отсюда ясно, что $T = 2\pi q_m / I_m = 6,28 \cdot 10^{-4}$ с. (3 балла).

10. Один из возможных примеров это тело в виде кольца, равномерно заряженное одним зарядом, а другое тело – шар диаметра много меньшего, чем диаметр кольца, заряженный противоположным зарядом. В этом случае, когда шар находится точно в центре кольца, сила, действующая на него со стороны кольца точно равна нулю в силу симметрии. (10 баллов, если присутствует доказательство для любых других примеров).

Оптика

1. Точечный источник света и его изображения, полученные от плоских зеркал, лежат в вершинах квадрата. Сколько потребовалось зеркал и как они расположены? (5 мин)

2. В дно водоема вбита свая высотой 2 м, вершина которой находится над водой. Угол падения солнечных лучей на поверхность воды 30° . Показатель преломления воды $n=4/3$. Свая отбрасывает на поверхность воды тень длиной 0,5 м. Определить длину тени, которую отбрасывает свая на дно водоема. (5 мин)

3. Боковая сторона прямоугольной трапеции ABCD, примыкающая к ее прямому углом, расположена на главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Линза создает изображение в виде трапеции с теми же самыми углами. При этом изображение большей из параллельных сторон больше ее длины в 2 раза. Если теперь отодвинуть трапецию вдоль главной оптической оси на некоторое расстояние, трапеция будет изображаться в виде прямоугольника. С каким увеличением будет изображаться большая из параллельных сторон трапеции в этом случае? (10 мин)

4. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле индукцией $4,15 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Максимальный радиус окружности, по которой движутся электроны $6 \cdot 10^{-3}$ м. Определить длину волны падающего на катод света. (10 мин)

5. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок белого света. Спектр наблюдается на экране на расстоянии 2 м от решетки. Расстояние между голубым и красным участками спектра первого порядка

(первой цветной полоски на экране) 3 см. Определить период решетки, если длины волн красного и голубого света равны соответственно $7,8 \cdot 10^{-7}$ м и $4,8 \cdot 10^{-7}$ м. Ответ выразить в сантиметрах. (5 мин)

6. С какой скоростью должен лететь протон $m_0=1$ а.е.м., чтобы его масса равнялась массе покоя альфа-частицы $m=4$ а.е.м.? (5 мин)

7. Между краями двух хорошо отшлифованных тонких плоских стеклянных пластинок помещена тонкая проволочка, противоположные концы пластинок плотно прижаты друг к другу. Расстояние от проволочки до линии соприкосновения пластинок равно 20 см. На верхнюю пластинку нормально к ее поверхности падает монохроматический пучок света длиной волны 600 нм. Определите диаметр проволочки, если на 1 см длины клина уместается 10 интерференционных полос. (10 мин)

8. Узкий пучок света падает из воздуха на стеклянный шар радиуса $R = 5$ см на расстоянии $d = 2,5$ см от его оси. Найти коэффициент преломления стекла, если угол θ поворота луча шаром составляет $\approx 21^{\circ}4'$. (10 мин)

9. Найти энергию, поглощенную или выделившуюся в результате реакции, ${}^7_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$ если известно, что масса ${}^7_3\text{Li}$ равна 7,01600 а. е. м., масса ${}^2_1\text{H} - 2,01410$ а. е. м., масса ${}^8_4\text{Be} - 8,02168$ а.е.м. (5 мин)

10. Увеличение отверстия в экране, стоящем на пути пучка света, может привести к уменьшению освещенности на оси пучка. Как согласовать это с законом сохранения энергии? Ведь при увеличении отверстия за экран проникает больше энергии. (5 мин)

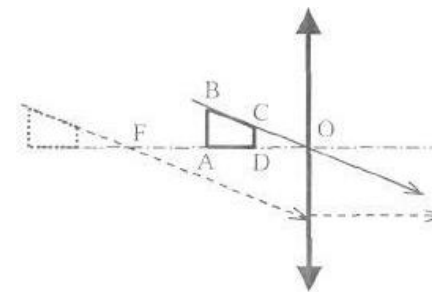
Решения

1. Для получения любого количества изображений достаточно двух зеркал. (3 балла). Плоскость зеркала должна быть перпендикулярна линии, соединяющей источник света с ближайшим его изображением, и находиться на середине расстояния между ними. (2 балла). Второе зеркало ставится также, но между источником и другим ближайшим изображением. Таким образом, угол между зеркалами оказывается равным $\alpha = 2\pi/n = \pi/2$. (5 баллов).

2. Высота части сваи находящейся над водой определяется по формуле $h_1 = \ell / \text{tg } \alpha = 0,5 \cdot \sqrt{3}$. Поэтому подводная часть сваи имеет длину $h_2 = h - h_1 = 2 - 0,5 \cdot \sqrt{3}$. Тень, отбрасываемая подводной частью сваи, имеет длину $\ell_2 = h_2 \cdot \text{tg } \beta$. Здесь угол β определяется из закона преломления

$\sin \alpha / \sin \beta = n$. Полная длина тени от сваи на дне складывается из тени на поверхности воды и тени от подводной части и равна: $\ell = \ell_1 + \ell_2 = 0,5 + (2 - 0,5 \cdot \sqrt{3})3 / \sqrt{64 - 9} = 0,959$ м.

3. Изображением трапеции в первом случае является трапеция с теми же углами, значит, луч, идущий вдоль стороны BC, должен проходить при этом либо через двойной фокус, либо через оптический центр, а во втором случае тот же луч должен проходить через фокус. (За рисунок 2 балла). Но по условию трапецию отодвигали от линзы. Значит, в первом случае луч вдоль стороны BC проходил через оптический центр. Из рисунка ясно, что линзу переместили на F. (2 балла). Из



формулы линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ (1 балл) и формулы для увеличения $\Gamma = \frac{|f|}{d}$ (1

балл) находим d_1 , учитывая, что $f_1 < 0$, $\therefore d_1 = \frac{F(\Gamma_1 - 1)}{\Gamma_1} = \frac{F}{2}$, (2 балла)

$d_2 = d_1 + F = 3F/2$ (1 балл). Из этих формул получаем

$$\Gamma_2 = \frac{F}{F(\Gamma_1 - 1)/\Gamma_1 + F - F} = \frac{\Gamma_1}{\Gamma_1 - 1} = 2 \quad (1 \text{ балл}).$$

4. При движении электрона по окружности в магнитном поле, скорость электрона находится из условия равенства центростремительного ускорения и ускорения, сообщаемого электрону силой Лоренца. $\frac{v^2}{R} = \frac{evB}{m}$ (2

балл) Эта скорость $v = eRB/m$ (2 балл) должна быть подставлена в формулу Эйнштейна для фотоэффекта $\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$. (4 балл) Отсюда определяем длину волны излучения $\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}} + (eRB)^2/2m} = 3,2 \cdot 10^{-7}$ м. (2 балл)

5. Расстояние x на экране между голубым и красным участками связано с расстоянием до экрана L и углами отклонения соответствующих лучей формулой $L(\text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2) = x$ (3 балл). Согласно формуле дифракционной решетки для спектров первого порядка имеем: $d \sin \varphi = \lambda$ (2 балл). По-

сколькo разность тангенсов мала можно считать, что разность тангенсов совпадает с разностью синусов. Тогда для периода решетки получим:

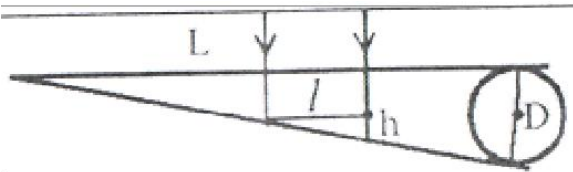
$$d = \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)L}{x} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,002 \text{ см}. (5 \text{ балл})$$

6. Масса движущегося протона равна $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (3 балл). Отсюда

получаем, что скорость протона определяется формулой $v = c\sqrt{1 - (m_0/m)^2} = c\sqrt{15/16}$ (4 балл). Расчет показывает, что она равна $0,968c = 290473,7 \text{ км/с}$. (3 балл)

7. Расстояние между интерференционными полосами определяется разностью хода Δ лучей, отраженных от нижней пластины $\Delta = k\lambda$ (2 балл). Для соседних полос $\ell = 1 \text{ мм}$, $\Delta = 2h = \lambda$ (2 балл). Из подобия треугольников

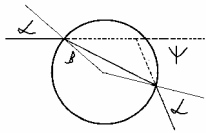
$$\frac{h}{\ell} = \frac{D}{L} \quad (2 \text{ балл}). \quad D = \frac{\lambda L}{2\ell} = 0,06 \text{ мм}. (2 \text{ балл})$$



(за рисунок 2 балл)

8. Угол поворота луча шаром определяется формулой $\psi = 2(\alpha - \beta)$ (2 балла). поскольку угол падения луча на шар α известен из условий задачи и равен $\sin \alpha = d/R = 0,5$ (2 балла) $\alpha = \pi/6$, угол преломления находится по формуле $\beta = \alpha - \psi/2 = 19^{\circ}28'$ (2 балла). Осталось только воспользоваться

законом преломления. Из него следует, что $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 1,5$. (1 балла)



(за рисунок 3 балла)

9. Энергия, выделяющаяся в ядерной реакции, определяется дефектом масс и равна: $\Delta E = \Delta mc^2 = (7,01600 + 2,01410 - 8,02168 - 1,00867)931,5 \text{ МэВ/а.е.м.} = -0,232875 \text{ МэВ}$. Энергия поглощается. (10 балла)

10. За экран проникает больше энергии, но она перераспределяется так, что на оси пучка остается ее меньше, а большая часть энергии уходит в сторону вокруг оси, туда, где наблюдается первый дифракционный максимум. (10 балла)

Задачи заключительного этапа Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» 2007–08 уч. г.

1. Стрела выпущена со скоростью 100 м/с с ровной горизонтальной поверхности земли под углом 60° к горизонту. Чему равна скорость стрелы в момент, когда она прошла половину пути.
2. Звезда и планета обращаются вокруг общего неподвижного центра масс по круговым орбитам. Каково отношение масс звезды и планеты, если известно, что радиус орбиты звезды и период ее вращения равны R и T соответственно, а скорость движения планеты равна v ? Радиус орбиты звезды считать малым по сравнению с расстоянием «звезда-планета».
3. Брусок, покоящийся на горизонтальном столе, и пружинный маятник, состоящий из грузика и легкой пружины, связаны легкой нерастяжимой нитью через идеальный блок, причем маятник свешивается со стола. Коэффициент трения между основанием бруска и поверхностью стола равен 0,25. Грузик маятника совершает колебания с периодом 0,5 с вдоль вертикали, совпадающей с вертикальным отрезком нити. Максимально возможная амплитуда этих колебаний, при которой они остаются гармоническими, равна 4 см. Чему равно отношение массы бруска к массе грузика?
4. Давление углекислого газа в баллоне составляет 10 МПа, температура 600 К. Определить при таких условиях среднеквадратичную скорость его молекул.
5. Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой массой 400 кг заполнен гелием. Он может удерживать в воздухе на высоте, где температура воздуха -23°C , а давление $0,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$, груз массой 225 кг. Определить объем шара на этой высоте, если оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара.
6. Тепловая машина содержит в качестве рабочего тела идеальный газ, объем которого в изотермическом процессе при температуре 600 К увеличивается в два раза. Затем газ охлаждается в изохорном процессе до 300 К. После изотермического сжатия и изохорного нагревания цикл работы машины завершается переходом в начальное состояние. Определить коэффициент полезного действия такой тепловой машины.

7. Одинаковые электрические заряды по 9 нКл каждый расположены в вершинах квадрата со стороной 1 м. Где и какой заряд надо поместить, чтобы система находилась в равновесии?
8. К батарейке подключают последовательно соединенные амперметр и вольтметр – приборы при этом показывают 1 мА и 9 В, соответственно. Если подключить параллельно первому вольтметру еще один вольтметр – показания первого из вольтметров практически не изменятся, а амперметр будет показывать 3 мА. Что покажут приборы, если соединить их все три последовательно и подключить к той же батарейке?
9. Индуктивность обмотки электродвигателя переменного тока мощностью 1 кВт равна 29 мГн. Двигатель рассчитан на подключение к сети 220 В при частоте 50 Гц. Каков номинальный ток в этом электродвигателе? Каков максимальный коэффициент полезного действия этого электродвигателя?
10. Инженер Гектор Сервардак из романа Ж. Верна «Таинственный остров» развел костер, слепив из двух часовых стекол линзу, заполненную водой, и держа ее на расстоянии 1 м от сухой травы. Какова будет оптическая сила воздушной линзы, сделанной из этих же стекол, в воде? Коэффициент преломления воды 1,33.
11. Дифракционная решетка имеет расстояние между штрихами 1 мкм. Она находится в прямоугольной кювете, заполненной водой, показатель преломления которой $n = 4/3$, и располагается параллельно боковой стенке кюветы. Свет падает перпендикулярно боковой стенке кюветы и проходит через решетку. Один из образовавшихся при дифракции лучей выходит из кюветы под углом $\alpha = 30^\circ$ к первоначально падающему лучу. Какова длина источника света в воде, если этот луч образует первый дифракционный максимум?
12. Найти длину волны света, соответствующую красной границе фотоэффекта для кальция, работа выхода электронов для которого равна $A_{\text{вых}} = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Решения

1. Поскольку траектория полета стрелы, пущенной от поверхности земли, представляет собой параболу, то половина пути – половина параболы, то есть часть пути до максимальной высоты. Но на максимальной высоте вертикальная составляющая скорости равна нулю. Поэтому скорость стрелы на половине пути равна горизонтальной составляющей: $v = v_0 \cos \alpha = 50$ м/с.
2. Поскольку центр масс, остающийся неподвижным, всегда находится на прямой линии, соединяющей центры звезды и планеты, периоды обра-

щения планеты и звезды равны. Если обозначить расстояние от планеты до этого центра масс r , то для периода орбитального движения звезды и планеты получаем: $T = 2\pi r/v$. По определению центра масс расстояние до него связано с массами двух тел соотношением: $mr = MR$. Отсюда легко определяется отношение масс звезды и планеты: $\frac{M}{m} = \frac{vT}{2\pi R}$.

3. Введем обозначения: M – масса бруска, μ – коэффициент трения между бруском и столом, m – масса груза пружинного маятника, k – жесткость пружины маятника, A – амплитуда колебаний пружинного маятника, T – период колебаний пружинного маятника. Удлинение пружины при равновесии маятника: $x_0 = mg/k$. Период гармонических колебаний пружинного маятника: $T = 2\pi\sqrt{m/k}$. Колебания маятника остаются гармоническими, если совместно выполнены два условия. Верхний конец пружины в процессе колебаний неподвижен. Пружина и нить все время натянуты, поэтому грузик нигде не переходит в режим свободного падения. Из первого условия следует, что в крайнем нижнем положении груза, когда удлинение пружины равно $x_0 + A$, сила натяжения нити, равная по модулю упругой силе пружины, недостаточна для того, чтобы сдвинуть брусок: $F = k(x_0 + A) = mg + kA \leq \mu Mg$. Отсюда $A \leq g(\mu M - m)/k = (\mu M/m - 1)gT^2/4\pi^2$. Из второго условия следует, что в крайнем верхнем положении груза, когда удлинение пружины равно $x_0 - A$, пружина растянута или не напряжена, но не сжата, откуда $A \leq x_0 = gT^2/4\pi^2$. В нашем случае получаем $A_{\text{max}} = 6,3 \text{ см} > 4 \text{ см}$. Следовательно, максимальная амплитуда гармонических колебаний определяется условием: $A_{\text{max}} = \left(\frac{\mu M}{m} - 1\right)g \frac{T^2}{4\pi^2}$. Отсюда

$$\frac{M}{m} = \frac{1}{\mu} \left(1 + \frac{4\pi^2 A_{\text{max}}}{gT^2}\right) = 6,5.$$

4. Среднеквадратичная скорость молекул газа определяется из средней кинетической энергии, равной $\bar{E} = \frac{mv^2}{2}$. Связь между средней кинетической энергией и температурой дается соотношением $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$. Для вычисления массы молекулы углекислого газа используем значение молярной

массы углекислого газа и постоянной Авогадро $m = \frac{\mu}{N_A}$. Таким образом,

для среднеквадратичной скорости молекулы углекислого газа имеем:

$$v = \sqrt{\frac{3kTN_A}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 395 \text{ м/с.}$$

5. Вес шара вместе с оболочкой и грузом определяется формулой: $F = (m_1 + m_2 + m_{He})g$. Здесь масса гелия по уравнению состояния равна:

$$m_{He} = \frac{pV\mu_{He}}{RT}. \text{ Этот вес должен быть равен весу воздуха, вытесненного}$$

шаром для того, чтобы шар находился в равновесии $F = \frac{pV\mu_v g}{RT}$. Прирав-

нивая эти веса получаем уравнение для нахождения объема шара

$$m_1 + m_2 + \frac{pV\mu_{He}}{RT} = \frac{pV\mu_v}{RT}. \quad \text{Из него получаем:}$$

$$V = \frac{(m_1 + m_2)RT}{p(\mu_v - \mu_{He})} = 2077,5 \text{ м}^3.$$

6. В цикле Карно тепло в адиабатическом процессе не передается ни к нагревателю, ни к холодильнику и потому КПД тепловой машины зависит только от тепла, полученного от нагревателя при расширении Q_N и тепла полученного холодильником при сжатии в изотермическом процессе Q_H . В предлагаемом цикле получается дополнительное тепло от нагревателя в изохорном процессе Q_I и отдается холодильнику в таком же процессе, но происходящем при большем объеме. Поскольку изменение внутренней энергии определяется только разностью температур, то эти количества тепла одинаковы. Общее выражение для КПД в описываемом процессе имеет

$$\text{вид: } \eta = \frac{Q_N - Q_H}{Q_I + Q_N}. \text{ Для одноатомного идеального газа количество тепла}$$

полученного в изотермических процессах равно: $Q_N = \nu RT_N \ln V_2 / V_1$,

$Q_H = \nu RT_H \ln V_2 / V_1$. Для изохорного процесса это количество равно:

$$Q_I = \frac{3}{2} \nu R(T_N - T_H). \text{ Таким образом, для КПД получаем выражение:}$$

$$\eta = \frac{T_N \ln V_2 / V_1 - T_H \ln V_2 / V_1}{3(T_N - T_H)/2 + T_N \ln V_2 / V_1} = 0,24 \text{ или } 24\% \text{ вместо } 50\% \text{ как для цикла}$$

Карно.

7. Из соображений симметрии следует, что заряд противоположного знака должен быть расположен в центре квадрата. Сила, с которой отталкиваются заряды одинакового знака при отсутствии этого заряда, равна векторной сумме сил действующих на заряд со стороны всех остальных зарядов: $F = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$. Если обозначить сторону квадрата a , то вели-

чина этой силы определяется равенством: $F = \frac{kq^2}{a^2}(\sqrt{2} + 1/2)$. Для равнове-

сия необходимо, чтобы величина заряда, помещенного в центр квадрата, была достаточна для равенства этих сил. Следовательно, она определяется

$$\text{равенством: } k \frac{q^2}{a^2}(\sqrt{2} + 1/2) = k \frac{qq_1^2}{a^2}. \quad \text{Из него следует, что}$$

$$q_1 = q(\sqrt{2} + 0,5)/2 = 8,6 \text{ нКл.}$$

8. Из условий задачи видно, что вольтметры имеют различные сопротивления. Второй вольтметр имеет вдвое меньшее сопротивление – сила тока через него составляет в схеме с параллельными вольтметрами $I_2 - I_1 = 2 \text{ мА}$ при силе тока первого (как и ранее) только 1 мА . Если сопротивление второго R , то первого – $2R$. Сопротивления же источника тока и сопротивление амперметра пренебрежимо малы, так как при изменении силы тока в три раза не удалось заметить изменение напряжения.

Отсюда показания амперметра: $I_3 = \frac{U}{3R} = \frac{2}{3} I_1 = \frac{2}{3} \text{ мА}$. Показания вольт-

$$\text{метров при последовательном соединении } U_1 = \frac{2}{3} U = 6 \text{ В} \quad U_2 = \frac{1}{3} U = 3 \text{ В}.$$

9. Определим сначала сопротивление обмотки электромотора. Для этого запишем связь между мощностью и током в виде: $P = I^2 R$. Ток связан с напряжением формулой: $U = IZ$. Здесь Z – полное сопротивление обмотки, связанное с индуктивностью и сопротивлением $Z^2 = R^2 + (2\pi\nu L)^2$. Из этих связей получаем для сопротивления уравнение вида:

$$PR^2 - U^2 R + P(2\pi\nu L)^2 = 0. \text{ Его решение: } R = \frac{U^2 \pm \sqrt{U^4 - 4P^2(2\pi\nu L)^2}}{2(2\pi\nu L)^2} =$$

= 46.62 Ом. Из первой формулы находим, что номинальный ток равен:
 $I = \sqrt{P/R} = 4.63$ А. Для нахождения максимального КПД учтем, что найденный нами номинальный ток соответствует неподвижному ротору. При отсутствии нагрузки ток будет равен нулю. Следовательно, ток, соответствующий максимальному КПД, вдвое меньше номинального. Полезная мощность в этом случае составит $P = 3IR/4 = 162$. Следовательно, КПД будет равно: $\eta = \frac{3IR}{4U} = 0,74 = 74\%$.

10. Поскольку линза тонкая, угол при ее вершине мал, и при рассмотрении преломления в линзе луча света можно синусы в законе преломления заменить углами. В этом случае из геометрии следует, что угол отклонения луча призмой, находящейся в вершине линзы, равен: $\psi = \alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2$. Поскольку углы β_1 и β_2 образуют в сумме угол при вершине линзы, то

угол отклонения луча выражается через него $\psi = \gamma \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)$. Этот угол,

кроме того, связывает фокусное расстояние линзы с радиусом самой линзы $\psi = R/F$. Следовательно, фокусное расстояние линзы определяется формулой: $F = \frac{R}{\gamma(n_1/n_2 - 1)}$. Здесь n_1 и n_2 – коэффициенты преломления среды внутри и вне линзы соответственно. Поэтому оптическая сила искомой линзы определяется по формуле: $D = \frac{(n_2/n_1 - 1)}{F(n_1/n_2 - 1)}$. Она равна

$D = -3/4 = -0,75$.

11. Если использовать формулу для дифракционной решетки, то получим: $\lambda = d \sin \varphi$. Поскольку при выходе из кюветы в воздух справедлив закон преломления $\frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} = n$, окончательно для длины волны в воде будем иметь: $\lambda = dn \sin \alpha$. Вычисления дают: $\lambda = 0,666 \text{ мкм} = 666 \text{ нм}$.

12. Из формулы Эйнштейна для красной границы фотоэффекта получаем: $\lambda = \frac{hc}{A}$. Расчет дает: $\lambda = 4,49 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 449 \text{ нм}$.

Задачи Кубка г. Уфы для старшекласников 2008–2009 уч. г.

Механика

1. Два велосипедиста выезжают навстречу друг другу из пунктов А и Б, расстояние между которыми равно 15 км. Скорость первого из них 10 м/с, второго – 5 м/с. В момент выезда первого, их поездкой заинтересовалась муха, которая полетела со скоростью 50 м/с от первого ко второму и обратно. Муха летала до тех пор, пока велосипедисты не встретились. Сколько километров за это время налетала муха?

2. Поезд, движущийся со скоростью 72 км/ч, выезжая на закругление радиусом 1 км, начинает тормозить, и, развернувшись в обратном направлении, останавливается. С каким полным ускорением он двигался в момент начала торможения?

3. Каков коэффициент трения колёс о рельсы поезда из предыдущей задачи, если они с начала торможения не вращались?

4. Лента горизонтального транспортера движется со скоростью v . На ленту по касательной к ней влетает шайба, начальная скорость которой перпендикулярна краю ленты. Найти максимальную ширину ленты, при которой шайба достигнет другого ее края, если коэффициент трения между шайбой и лентой равен μ .

5. Пробирка массой 40 г, содержащая пары эфира, закрыта пробкой и подвешена в горизонтальном положении на нерастяжимой нити. Расстояние от центра тяжести пробирки до точки подвеса 20 см. При нагревании пробирки пробка вылетает из неё со скоростью 4 м/с, а нить обрывается. Какова в этих условиях минимальная масса пробки, если нить выдерживала силу натяжения не более 0,6 Н?

6. К нижнему концу лёгкой пружины подвешены связанные невесомой нитью грузы: верхний массой 0,2 кг и нижний массой 0,1 кг. Нить, соединяющую грузы, пережигают. С каким ускорением начнёт двигаться верхний груз связанный с пружиной?

7. Звезда и планета обращаются вокруг общего неподвижного центра масс по круговым орбитам. Каково отношение масс звезды и планеты, если известно, если известно, что радиус орбиты звезды и период её вращения равны R и T соответственно, а скорость движения планеты равна V ?

Радиус орбиты звезды считать малым по сравнению с расстоянием «звезда–планета».

8. Свинцовая и алюминиевая гирьки уравновешены в воздухе на неравноплечих рычажных весах. Если поменять гирьки местами и погрузить их в воду, равновесие не нарушается. Определить отношение длин плеч весов. Плотности свинца 12300 кг/м^3 , алюминия 2700 кг/м^3 .

9. Старинные часы устроены так, чтобы правильно показывать время, если период колебаний маятника равен 2 секунды. Оказалось, что за сутки они отстают на 1 минуту. Как нужно изменить длину маятника, чтобы они шли верно?

10. Точка А движется со скоростью 1 м/с, точка В – со скоростью 2 м/с. При этом направления скоростей все время совпадают и расстояние АВ остается постоянным. Опишите, как движутся эти точки.

Решения

1. Скорость сближения велосипедистов равна сумме их скоростей движения $v = V_1 + V_2 = 15 \text{ м/с}$. (2 балла) Время их движения до встречи $\tau = S/v = 1000 \text{ с}$. (3 балла) Это же время летит и муха. Поскольку скорость ее известна, расстояние, которое она пролетит найти просто: $L = V_m \tau = 50000 \text{ м} = 50 \text{ км}$. (5 баллов)

2. Скорость поезда в системе СИ в начале торможения равна 20 м/с. (1 балл) Центробежное ускорение в этот момент равно $a_c = v^2/R = 0,4 \text{ м/с}^2$ (2 балла). Касательное ускорение находится из условия остановки поезда, $\pi R = a_\tau t^2/2 = v^2/2a_\tau$ (3 балла) и равно: $v^2/2\pi R = 0,064 \text{ м/с}^2$ (2 балла). Полное ускорение находится из условия перпендикулярности найденных ускорений $a = \sqrt{a_c^2 + a_\tau^2} = 0,41 \text{ м/с}^2$ (2 балла).

3. Поскольку торможение осуществляется за счет силы трения, она равна $F = \mu N$, (4 балла) где μ – коэффициент трения, N – сила нормального давления равная в этой задаче силе тяжести. Сила трения и сообщает поезду полное ускорение, вычисленное в предыдущей задаче. $F = \mu mg = ma$. (4 балла) Отсюда получаем: $\mu = a/g \approx 0,04$. (2 балла)

4. Перейдем в систему отсчета связанную с транспортером. В ней $V_0 = \sqrt{V^2 + u^2}$, где V – скорость ленты, u – скорость шайбы. Здесь V_0 – направленная под углом α к краю ленты скорость шайбы. Угол можно определить из равенства: $\text{Cos}\alpha = \frac{V}{V_0} = \frac{V}{\sqrt{V^2 + u^2}}$ (2 балла). Из второго закона Ньютона ускорение шайбы a определяется формулой: $ma = -F_{mp} = -\mu N = -\mu mg$ (2 балла), поэтому $a = \mu g$. Скорость шайбы меняется по закону $V = V_0 - \mu gt$ (1 балл). Ширина ленты максимальна, если полная скорость шайбы на противоположном краю ленты равна нулю. При этом шайба пройдет расстояние $L_{\text{max}} / \text{Cos}\alpha$ за время $t_{\text{ocm}} = V_0 / (\mu g)$ (1 балл). Отсюда следует уравнение для определения $L_{\text{max}} = V_0 t - \mu gt^2 / 2 = V_0^2 \text{Cos}\alpha / 2\mu g = VV_0 / 2\mu g$ (3 балла). Отсюда $L_{\text{max}} = \frac{V\sqrt{V^2 + u^2}}{2\mu g}$ (1 балл)

5. Записан второй закон Ньютона для сил, действующих на пробирку вдоль нити в момент вылета пробки, с учетом движения центра тяжести пробирки по окружности $T - Mg = \frac{Mv_1^2}{L}$ (4 балл) и закон сохранения импульса $Mv_1 = mv$ (2 балл), где v – скорость пробки. Получено уравнение для скорости пробки при вылете пробки: $v_1 = \sqrt{L\left(\frac{T}{M} - g\right)}$. (2 балл) Получено уравнение для массы пробки (1 балл), и найдено ее численное значение (1 балл): $m = \frac{M}{v} \sqrt{L\left(\frac{T}{M} - g\right)} = 0,01 \text{ кг} = 10 \text{ г}$.

6. До пережигания нити сила упругости равна сумме сил тяжести грузов: $F_{\text{уп}} = (m_1 + m_2)g$ (1) (1 балл). Эта же сила натяжения будет действовать на груз m_1 после пережигания нити (2 балл). Кроме того, на него действует сила тяжести $m_1 g$ (1 балл). Из второго закона Ньютона в проекции на ось ОУ: $-m_1 g + F_{\text{уп}} = m_1 a$ (2) (2 балл). Решение системы уравне-

ний (1) и (2) дает $a = \frac{m_2}{m_1} g$ (3 балл). Получаем численный ответ

$$a = 5 \frac{M}{C^2} \text{ и ускорение направлено вниз (1 балл).}$$

7. Поскольку центр масс, остающийся неподвижным, всегда находится на прямой линии, соединяющей центры звезды и планеты, периоды обращения планеты и звезды равны. (1 балл). Если обозначить расстояние от планеты до этого центра масс r , то для периода орбитального движения звезды и планеты получаем: $T = 2\pi r/v$. (2 балла). По определению центра масс расстояние до него связано с массами двух тел соотношением: $mr = MR$. (3 балла). Отсюда легко определяется отношение масс звезды и планеты: $\frac{M}{m} = \frac{vT}{2\pi R}$. (4 балла).

8. Пусть плечо рычажных весов, ближайшее к свинцовой гирьке имеет длину ℓ_1 , масса этой гирьки m_1 . Соответственно все величины, относящиеся к алюминиевой гирьке, будем обозначать также, но с индексом 2. Тогда условие первоначального равновесия весов запишется в виде: $m_1 \ell_1 = m_2 \ell_2$ (1 балл). После перестановки гирек это же условие запишется в виде: $P_2 \ell_1 = P_1 \ell_2$ (1 балл), где P_1 – вес свинцовой гирьки в воде $P_1 = m_1 g (1 - \rho_{\text{в}}/\rho_{\text{св}})$, а P_2 – вес алюминиевой гирьки в воде $P_2 = m_2 g (1 - \rho_{\text{в}}/\rho_{\text{ал}})$. Выражая из условия первоначального равновесия весов массу свинцовой гирьки через массу алюминиевой, и подставляя все ранее определенные величины во второе условие равновесия, получим: $m_2 = m_1 \ell_1/\ell_2$ (1 балл), $\ell_1/\ell_2 (1 - \rho_{\text{в}}/\rho_{\text{ал}}) \ell_1 = (1 - \rho_{\text{в}}/\rho_{\text{св}}) \ell_2$ (5 баллов), откуда немедленно следует отношение плеч рычажных весов: $\ell_2/\ell_1 = \sqrt{(1 - \rho_{\text{в}}/\rho_{\text{ал}})/(1 - \rho_{\text{в}}/\rho_{\text{св}})} = 0,828$ (2 балла), т.е. плечо, на котором висит свинцовая гирька, длиннее в 0,828 раза.

9. В сутках 1440 минут. Часы, отстающие на одну минуту, за сутки отсчитали 1439 минут (1 балл). Период колебаний маятника этих часов, следовательно, не две секунды а больше на $(1/1440) \cdot 2$ долю секунды (1 балл). Маятник, имеет первоначально длину $L_0 = (T_0/2\pi)^2 g = 0,995$ м где $T_0 = \left(\frac{2}{1440}\right)$ (3 балл). Маятник должен иметь длину

$L = (T/2\pi)^2 g = 0,993$ м где $T = 2$ с (3 балл) следовательно, надо укоротить $\Delta L = L - L_0 = 0.002$ (2 балл).

10. Точки движутся по окружностям, центры которых совпадают, а радиусы отличаются в два раза (10 балл).

Молекулярная физика

1. В одном и том же сосуде в термодинамическом равновесии находятся водород и гелий. У какого из этих газов среднеквадратичная скорость молекул больше и во сколько раз?

2. Тонкий резиновый шар радиусом 2 см наполнен воздухом при температуре 20°C и нормальном давлении 0,1 МПа. Каков будет радиус шара, если его опустить в воду с температурой 4°C на глубину 20 м?

3. Рассчитайте КПД тепловой машины, использующей в качестве рабочего тела одноатомный идеальный газ и работающей по циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар. При этом учесть, что максимальное давление в два раза больше минимального P_0 , а максимальный объем в три раза больше минимального V_0 .

4. Смешивают $m_1=0,5$ кг воды при температуре 100°C и $m_2=0,4$ кг льда при температуре -20°C . Определить установившуюся температуру и состав смеси. Удельная теплоемкость воды 4,19 кДж/кг К, льда – 2,1 кДж/кг К, удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг.

5. При сжатии некоторой порции влажного воздуха его объем уменьшился в четыре раза, а давление возросло в три раза. Когда воздух сжали еще в два раза, давление стало в пять раз больше первоначального. Температура при сжатии оставалась постоянной. Какова была относительная влажность воздуха в самом начале?

6. Шар наполнен гелием при атмосферном давлении 0,1 МПа. Определите массу одного квадратного метра его оболочки, если шар поднимает сам себя при радиусе 2,7 м. Температура гелия и окружающего воздуха одинаковы и равны 0°C .

7. Теплоизолированный сосуд объемом 2 м^3 разделен теплоизолирующей перегородкой на две равные части. В одной части сосуда находится 2 моль гелия, в другой – 2 моль аргона. Температура гелия 300 К, аргона – 600 К. Определить парциальное давление аргона после удаления перегородки и установления равновесия.

8. В сосуде содержится кислород под давлением p_0 . Какое установится давление в сосуде, если половина молекул кислорода диссоциирует (разделится) на атомы.

9. В сосуде неизменного объема находится смесь из равного количества молей гелия и азота. Найти удельную теплоемкость этой смеси. Молярные массы гелия $\mu_1 = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль и азота $\mu_2 = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

10. Воздушный шарик, наполненный гелием, поднимается к потолку комнаты. Однако через некоторое время он опускается. Почему?

Решения

1. Поскольку газы находятся в термодинамическом равновесии, температура их одинакова. (3 балла) Следовательно, одинаковы кинетические энергии молекул каждого газа. Но молярная масса и масса молекулы гелия в два раза больше, чем масса молекулы водорода (3 балла). Кинетическая же энергия определяется формулой $E = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ и пропорциональна квадрату скорости. Квадрат скорости молекулы гелия меньше квадрата скорости молекулы азота в два раза. (2 балла) А среднеквадратичная скорость молекулы гелия меньше в $\sqrt{2} \cong 1,4$ раза, (2 балла) чем у водорода.

2. Объем шарика связан с радиусом формулой $V = 4\pi R^3/3$. (1 балл) Для определения объема шарика после погружения воспользуемся объединенным газовым законом $\frac{p_0 V_1}{T_1} = \frac{p V_2}{T_2}$. (2 балла) Здесь $p = p_0 + \rho gh$.

(2 балла) Получаем уравнение $\frac{4\pi R_1^3 p_0}{3T_1} = \frac{(p_0 + \rho gh)4\pi R_2^3}{3T_2}$. (2 балла) Отсюда

следует решение: $R_2 = R_1 \sqrt[3]{\frac{p_0 T_2}{(p_0 + \rho gh) T_1}}$ (2 балла). Вычисления приводят к результату: 1,37 см (1 балл).

3. КПД тепловой машины равен отношению произведенной газом работы к количеству тепла, сообщенного газу нагревателем $\eta = A_0 / Q_n$. (1 балл) (За рисунок 1 балл). Произведенная работа определяется как площадь прямоугольника на PV -диаграмме. В данном случае она равна $A_0 = 2P_0 V_0$. (1 балл) Остается определить сообщенное на участках 12 и 23

количество тепла $Q_n = Q_{12} + Q_{23}$. (1 балл) На участке изохоры 12 работа не совершается и количество тепла равно изменению внутренней энергии.

$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} P_0 V_0$. (1 балл) На участке 23 процесс изобарный и потому количество сообщенного тепла складывается из совершенной работы и изменения внутренней энергии: $Q_{23} = A + \Delta U$ (1 балл).

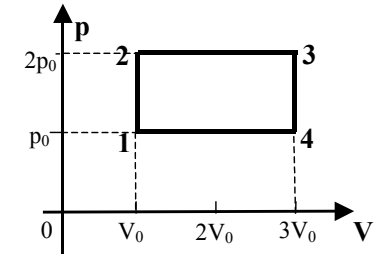
Здесь $A = 2P_0(V_3 - V_2) = 2P_0 2V_0 = 4P_0 V_0$ (1 балл) – работа при изобарном процессе. Изменение внутренней энергии газа находится по формуле, аналогичной предыдущему процессу:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2) =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R 2T_2 = 3\nu R 2T_1 = 6P_0 V_0. \text{ (1 балл) Отсюда}$$

следует, что $Q_{23} = 10P_0 V_0$. Подставляя найденные значения в формулу для КПД,

получим: $\eta = 2P_0 V_0 / (10P_0 V_0 + 1,5P_0 V_0)$ (1 балл). Вычисляя, получаем, что КПД равно 17,4%. (1 балл)



4. Вода при остывании до нуля градусов отдаст количество тепла равное $Q_1 = c_1 m_1 t_1 = 20,95$ кДж тепла льду. (2 балла) Для нагревания льда до той же температуры необходимо $Q_2 = c_2 m_2 t_2 = 16,8$ кДж тепла. (2 балла) Поскольку это меньше, чем может отдать вода лед начнет таять. (1 балл)

Количество растаявшего льда равно $\Delta m = \frac{Q_1 - Q_2}{\lambda} = 0,0126$ кг. (2 балла)

Таким образом, лед растает не полностью. Следовательно, установится температура таяния льда равная 0°C . (1 балл). В сосуде будет находиться 0,5126 кг воды и 0,2874 кг льда. (2 балла)

5. Уже при первом сжатии влажного воздуха давление выросло менее, чем в четыре раза – значит, пар стал насыщенным и произошла частичная его конденсация (3 балла). Поэтому давление пара, остающегося насыщенным, после первого и второго сжатия одинаково P_n (1 балл). Обозначим начальное парциальное давление пара P_p , а воздуха P_v . Парциальное давление воздуха изменялось при изотермическом процессе обратно пропорционально объему: после первого сжатия оно стало равным $4P_v$, а после второго – $8P_v$ (1 балл). Полное давление влажного воздуха сначала

равнялось $P_p + P_v$, после первого сжатия стало равным $P_n + 4P_v$, а после второго $P_n + 8P_v$ (2 балла). Согласно условию задачи $P_n + 4P_v = 3(P_p + P_v)$, $P_n + 8P_v = 5(P_p + P_v)$ (2 балла). Исключая из этих уравнений P_v , находим $P_n = 2P_p$. Отсюда $\varphi = P_p/P_n = 50\%$ (1 балл).

6. Обозначим массу одного квадратного метра оболочки b . Тогда масса оболочки равна: $m_o = 4\pi r^2 b$ (1 балл). Условие подъема шара находится из равенства: $m_H g + m_o g = m_b g$, (1 балл) где масса гелия и масса воздуха определяются из уравнений Клапейрона-Менделеева $PV = \frac{m_H}{\mu_H} RT$ (1 балл) и $PV = \frac{m_b}{\mu_b} RT$ (1 балл), где μ_H и μ_b – молярные массы гелия и воздуха, соответственно. Отсюда $m_H = \mu_H PV / RT$ (1 балл) и $m_b = \mu_b PV / RT$. (1 балл) Объем шара $V = 4\pi r^3 / 3$. (1 балл) Подставляя полученные выражения в уравнение равновесия, получаем: $\frac{\mu_H P 4\pi r^3}{3RT} + 4\pi r^2 b = \frac{\mu_b P 4\pi r^3}{3RT}$. (2 балла) Решая это уравнение, определяем $b = \frac{P(\mu_b - \mu_H)}{3RT}$. (1 балл) Вычисления дают $b = 1 \text{ кг/м}^2$. (1 балл)

7. После удаления перегородки температура газов станет одинаковой и равной T . Парциальное давление аргона определяется на основе закона Дальтона из уравнения Клапейрона-Менделеева: $P_A V = \nu RT$ (2 балла), где ν – число молей аргона. Температура системы после удаления перегородки определяется из закона сохранения энергии: $\nu \frac{3}{2} R(T_1 + T_2) = 2\nu \frac{3}{2} RT$ (3 балла). Отсюда $T = (T_1 + T_2)/2$. (2 балла) Подставляя температуру в уравнение Клапейрона-Менделеева, получим: $P_A = \frac{\nu R(T_1 + T_2)}{2V}$, (2 балла) $P_A = 3735 \text{ Па}$. (1 балл)

8. В начальном состоянии в сосуде содержалось N молекул O_2 . Давление в этом состоянии $p_0 = NkT/V$, (2 балла) где T и V – температура газа и объем сосуда соответственно. После диссоциации останется $N/2$ молекул и образуется N атомов кислорода (3 балла). Давление по

закону Дальтона, складывается из парциальных давлений атомарного и молекулярного кислорода (3 балла): $p = (N + N/2) \frac{kT}{V} = \frac{3NkT}{2V} = \frac{3p_0}{2}$ (2 балла). Давление в сосуде станет равным $3p_0/2$.

9. Запишем выражение для количества тепла $Q = c(m_1 + m_2)\Delta T$, $Q = (c_1\nu + c_2\nu)\Delta T$ (3 балла), откуда находим удельную теплоемкость смеси $c = (c_1\nu + c_2\nu)/(m_1 + m_2)$ (1 балла). С учетом того, что количество молей гелия и азота равны, $c = (c_1 + c_2)/(\mu_1 + \mu_2)$ (1 балл). Теплоемкости ($c = (i/2)R$) гелия и азота равны соответственно $c_1 = 3R/2$, $c_2 = 5R/2$ (3 балла). Тогда получим $c = 4R/(\mu_1 + \mu_2)$ (1 балл). Подстановка численных значений дает $c = 1039 \text{ Дж/(кг·К)}$ (1 балл).

10. Так как плотность гелия меньше чем у воздуха, шарик, наполненный гелием, поднимется к потолку (5 баллов). Со временем гелий будет диффундировать через оболочку шарика, и шарик опустится (5 баллов).

Электричество

1. Конденсаторы емкостями 1 мкФ и 3 мкФ заряжены до разности потенциалов 100 В. Затем они соединяются противоположными полюсами. Какая энергия выделится в искре, получающейся при соединении этих конденсаторов?

2. Маленький шарик с зарядом $q = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ и массой 3 г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости 100 Н/м, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора 5 см. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора, если удлинение нити 0,5 мм?

3. Гальванические элементы с $\varepsilon_1 = 4,5 \text{ В}$ и $\varepsilon_2 = 1,5 \text{ В}$ и внутренними сопротивлениями $r_1 = 1,5 \text{ Ом}$ и $r_2 = 0,5 \text{ Ом}$ соединены в последовательную цепь навстречу друг другу. Образованная батарея питает лампочку от карманного фонаря. Какую мощность потребляет лампа, если сопротивление ее нити в нагретом состоянии 23 Ом.

4. ЭДС источника постоянного тока $\varepsilon = 2 \text{ В}$, а его внутреннее сопротивление $r = 1 \text{ Ом}$. Мощность тока в резисторе, подключенном к источнику, $P_0 = 0,75 \text{ Вт}$. Чему равна сила тока в цепи?

5. В однородном, вертикально направленном, магнитном поле с большой высоты падает кольцо массой 3 г, имеющее диаметр $d = 10$ см и сопротивление $R = 1$ Ом. Плоскость кольца все время горизонтальна. Найти установившуюся скорость падения кольца, если индукция поля меняется с высотой по закону $B = B_0(1 + \alpha h) = 0,1(1 + 0,1h)$.

6. Проводник длиной 1 м движется равноускоренно в однородном магнитном поле, индукция которого 0,5 Тл и направлена перпендикулярно проводнику и скорости его движения. Начальная скорость движения проводника 4 м/с. Значение ЭДС индукции в движущемся проводнике в конце перемещения на расстояние 1 м равно 3 В. Чему равно ускорение, с которым движется проводник в магнитном поле?

7. К концам медного проводника длиной 300 м приложено напряжение 36 В. Какова средняя скорость упорядоченного движения электронов если их концентрация в меди $n = 8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$? Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

8. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности $I_m = 5$ мА, а амплитуда напряжения на конденсаторе $U_m = 2$ В. В некоторый момент времени напряжение на конденсаторе равно 1,2 В. Найдите силу тока в катушке в этот момент.

9. В проводящей рамке площадью 100 см^2 возбуждается ЭДС индукции с амплитудой 1,4 В. Число витков в рамке 200. Рамка вращается в однородном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл. В начальный момент времени плоскость рамки перпендикулярна индукции магнитного поля. Определить мгновенное значение индукции магнитного поля через 0,1 с от начального момента времени.

10. Известно, что проводники с одинаково направленными токами притягиваются. Почему, в таком случае, отталкиваются два одинаково направленных пучка электронов, хотя они эквивалентны двум линейным токам?

Решения

1. Энергия обоих конденсаторов после зарядки в сумме равна $W_1 = \frac{(C_1 + C_2)U^2}{2} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$. (2 балла) Заряд первого конденсатора

$q_1 = C_1 U = 10^{-4}$, (1 балл) второго $q_2 = C_2 U = 3 \cdot 10^{-4}$ (1 балл). Поскольку конденсаторы соединены противоположными полюсами, общий заряд после соединения $q = q_2 - q_1 = 2 \cdot 10^{-4}$. (2 балла) Энергия конденсаторов после соединения оказывается равной $W_2 = \frac{q^2}{2(C_1 + C_2)} = 0,5 \cdot 10^{-2}$ (3 балла).

Отсюда получаем, что энергия, пошедшая на образование искры равна $W = W_1 - W_2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$. (1 балл)

2. Условия равновесия $k\Delta\ell \sin\alpha = qE$ (2 балла), $k\Delta\ell \cos\alpha = mg$ (2 балла). Возведем оба равенства в квадрат и сложим их $(k\Delta\ell)^2 = (mg)^2 + (qE)^2$ (3 балла), откуда $E = \sqrt{(k\Delta\ell)^2 - (mg)^2} / q$ (1 балл). Напряженность электрического поля в конденсаторе $E = U/d$ (1 балл). Таким образом, $U = d\sqrt{(k\Delta\ell)^2 - (mg)^2} / q = 5000 \text{ В}$. (1 балл)

3. Мощность, потребляемая лампой, определяется током, текущим через нее $P = I^2 R$ (2 балла). Ток находится из закона Ома для полной цепи $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I(r_1 + r_2 + R)$ (4 балла). Подставляя, получим $P = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 R / (r_1 + r_2 + R)^2$ (3 балла). Численное значение имеет вид 8,28 А (1 балл).

4. Закон сохранения энергии (1 балл) для электрической цепи имеет вид $\varepsilon I t = I^2 R t + I^2 r t$ (2 балла). Так как мощность тока в резисторе равна $P = I^2 r$ (1 балл), то $P = \varepsilon I - I^2 r$ (1 балл). Можно записать следующее квадратное уравнение $0,75 = 2I - I^2$ (3 балла). Для нахождения силы тока надо решить квадратное уравнение $I^2 - 2I + 0,75 = 0$. Отсюда $I_1 = 1,5 \text{ А}$ (1 балл), $I_2 = 0,5 \text{ А}$ (1 балл).

5. Возникающая в кольце ЭДС при установившейся скорости падения равна $\varepsilon = -\pi d^2 \Delta B / 4 \Delta t = \pi d^2 B_0 \alpha v / 4$ (4 балла). Ток, вызываемый этой ЭДС, равен $I = \varepsilon / R = \pi d^2 B_0 \alpha v / 4R$ (1 балл). На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера $F_A = B_0 \ell I = B_0 \pi d I$ (1 балл). При установившемся движении эта сила равна силе тяжести $B_0^2 \pi^2 d^3 \alpha v / 4R = mg$

(2 балл). Из этого равенства находим скорость $v = mg4R/B_0^2\pi^2d^3\alpha$ (1 балл). Подстановка численных значений дает $v = 12 \cdot 10^3$ м/с (1 балл).

6. ЭДС индукции в проводнике, движущемся в однородном магнитном поле $\varepsilon = -\Delta\Phi/\Delta t$ (1 балл). Изменение магнитного потока за малое время Δt равно $\Delta\Phi = B\Delta S$ (1 балл), где площадь ΔS определяется произведением длины проводника ℓ на его перемещение Δx за время Δt , т.е. $\Delta\Phi = B\ell\Delta x$ (1 балл). Следовательно $\varepsilon = B\ell\Delta x/\Delta t = B\ell v$ (1 балл), где v – скорость движения проводника. В конце пути длиной x скорость проводника $v = \sqrt{2ax}$ (2 балла) (a – ускорение), так что $\varepsilon = B\ell\sqrt{2ax}$ (3 балла), отсюда $a = \varepsilon^2/2B^2\ell^2x = 10$ м/с² (1 балл).

7. Ток через проводник определяется по закону Ома $I = U/R$ (1 балл). С другой стороны он равен $I = nevS$ (3 балла). Сопротивление медного проводника равно $R = \rho\ell/S$ (1 балл). Приравняв токи, получаем уравнение для определения средней скорости движения электронов в проводнике $U/\rho\ell = nev$ (2 балла). Его решение имеет вид $v = U/\rho\ell ne$ (1 балл). Подстановка численных значений приводит к результату $v = 5,2 \cdot 10^{-4}$ м/с (1 балл).

8. В идеальном контуре сохраняется энергия колебаний $CU^2/2 + LI^2/2 = LI_m^2/2 = CU_m^2/2$ (4 балла). Из первого равенства следует $I^2 = I_m^2 - CU^2/L$ (2 балла), а из второго $C/L = I_m^2/U_m^2$ (2 балла). В результате получаем $I = I_m\sqrt{1 - U^2/U_m^2} = 4$ мА (2 балла).

9. ЭДС, возникающая во вращающейся рамке, определяется формулой $\varepsilon = NS\omega\sin\omega t = \varepsilon_m\sin\omega t$ (5 балла). Отсюда определяем угловую скорость вращения рамки. Она равна $\omega = \varepsilon_m/NSB$ (2 балл). Мгновенная ЭДС, следовательно, равна $\varepsilon = \varepsilon_m\sin\omega t = 0,64$ (3 балла).

10. Проводники, по которым текут токи, обычно электрически нейтральны, и поэтому взаимодействие между ними – только магнитное (2 балла). Между электронными пучками тоже действует магнитное притяжение, но гораздо более сильным оказывается кулоновское отталкивание одноименно заряженных частиц (3 балла). Как известно сила притяжения, действующая на единицу длины одного из двух параллельных бесконечно длинных проводников с одинаковыми токами I , конечна и равна

$\mu_0 I^2/2\pi a$ (3 балла). Сила же кулоновского отталкивания, действующая на сколь угодно малый участок бесконечно длинного электронного пучка со стороны второго такого же, – бесконечно велика. (2 балла)

Оптика

1. Имеется точечный источник света. Сколько надо взять зеркал и как их расположить, чтобы источник и все его изображения находились в вершинах правильного шестиугольника со стороной 10 см?

2. На поверхности воды плавает надувной плот шириной 4 м и длиной 6 м. Небо затянуто сплошным облачным покровом, полностью рассеивающим солнечный свет. На какой максимальной глубине под плотом должна находиться маленькая рыбка, чтобы ее не могли увидеть плавающие вокруг плота хищники? Глубиной погружения плота, рассеиванием света водой и его отражением от дна водоема пренебречь. Показатель преломления воды относительно воздуха принять равным $4/3$.

3. Линза с фокусным расстоянием 15 см дает на экране изображение предмета с пятикратным увеличением. Экран передвинули вдоль главной оптической оси линзы. Затем при неизменном положении линзы передвинули предмет, чтобы изображение снова стало резким. В этом случае получено изображение с двукратным увеличением. На сколько сдвинули экран?

4. Дифракционная решетка имеет расстояние между штрихами 1 мкм. Она находится в прямоугольной кювете параллельно боковой стенке. Свет с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм, падающий на решетку перпендикулярно, образует первый максимум, который наблюдается под углом 300° к направлению падающего света. Под каким углом α будет распространяться этот луч по выходе из кюветы, если ее заполнить водой?

5. Расстояние от одного когерентного источника до точки на экране на 900 нм больше, чем расстояние до другого когерентного источника той же интенсивности. Что будет наблюдаться в этой точке экрана, если источники излучают монохроматический свет с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц.

6. Электромагнитное излучение с длиной волны $3,3 \cdot 10^{-7}$ м используется для нагревания воды массой 1 кг. Сколько фотонов излучает источник за 1 с, если за время 700 с вода нагревается на 10^0 С? Считать, что излучение полностью поглощается водой.

7. Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода) в сосуде, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем с напряженностью $E = 5 \cdot 10^4$ В/м. Какой должна быть длина пути электрона в электрическом поле, чтобы он разогнался до скорости, равной половине скорости света в вакууме? Релятивистские эффекты не учитывать.

8. Летевшая со скоростью $v = 0,8c$ нейтральная частица, распадается на два фотона, движущихся затем в противоположных направлениях. Каково отношение частот этих квантов?

9. В результате аварии на Чернобыльской АЭС на почву попало большое количество радиоактивного йода, период полураспада которого составляет 27 лет. В результате предельно допустимая радиация была превышена в 10 раз. Через какое время на этой территории можно будет жить, не опасаясь получить радиационное поражение?

10. Как известно из истории первые нейтронные источники были получены путем облучения бериллия ${}^4_9\text{Be}$ α -частицами. Напишите уравнение этой реакции. Какой элемент при этом получается из бериллия?

Решения

1. Для создания любого количества изображений в зеркалах достаточно двух зеркал (3 балла). Чтобы изображения располагались в вершинах правильного шестиугольника надо зеркала разместить так, чтобы первые изображения были в соседних вершинах правильного шестиугольника (3 балла). Для этого одно из зеркал размещается на расстоянии, равном половине длины стороны шестиугольника от источника. Другое зеркало размещается по другую сторону от источника на таком же расстоянии, но под углом к первому. Угол между зеркалами определяется формулой $\alpha = 2\pi/n$, где $n = 6$ – число сторон правильного многоугольника (3 балла). В данном случае $\alpha = \pi/3$ (1 балл).

2. Хищники не увидят рыбку, если она находится в тени плота (1 балл). Область тени – это пирамида, боковые грани которой очерчивают те лучи света, которые до преломления у краев плота распространялись вдоль поверхности воды. Максимальное погружение рыбки – это глубина тени (3 балла). Глубину тени можно определить по формуле $h = a/tg\gamma$, где a – по-

луширина плота (2 балла). Значение $tg\gamma$ найдем из закона преломления света $Sin\alpha/Sin\gamma = n$, где n – показатель преломления воды, а $\alpha = 90^\circ$ (1 балл). Имеем: $Sin\gamma = 1/n = 3/4$, $tg\gamma = \frac{3/4}{\sqrt{1-9/16}} = \frac{3}{\sqrt{7}}$ (2 балла).

$h = 2\sqrt{7}/3 \approx 1,76$ м. (1 балл)

3. В первом случае для фокусного расстояния и увеличения можно записать следующие формулы: $F = fd/(f+d)$, $\Gamma = f/d$, где d – расстояние от предмета до линзы, f – расстояние от линзы до изображения, Γ – увеличение (2 балла). Следовательно, $f = F(\Gamma + 1)$ (1 балл). После того как экран передвинули, для нового положения предмета и изображения можно записать: $F = f_1d_1/(f_1+d_1)$, $\Gamma_1 = f_1/d_1$ (2 балла). Следовательно, $f_1 = F(\Gamma_1 + 1)$ (1 балл). Решая эти уравнения, находим, что $\Delta f = F(\Gamma - \Gamma_1)$ (3 балла) и $\Delta f = 45$ см. (1 балл)

4. В воздухе луч, образующий первый максимум, распространяется под углом, определяемым условием $\sin\varphi = \lambda/d$ (2 балла). При заполнении кюветы луч, образующий первый максимум, распространяется в воде под углом к первоначальному лучу, определяемым условием $\sin\beta = \lambda_1/d$, где λ_1 – длина волны в воде $\lambda_1 = \lambda/n$, d – расстояние между штрихами решетки, n – показатель преломления воды (3 балла). При выходе из кюветы луч испытывает преломление $\sin\alpha/\sin\beta = n$ (2 балла). Отсюда $\sin\alpha = n\sin\beta = n\lambda/nd = \lambda/d = \sin\varphi$ (2 балла). Ответ $\varphi = \alpha = 30^\circ$ (1 балл).

5. Длина волны излучения находится по частоте по формуле $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = 6 \cdot 10^{-7}$ (3 балла). Поэтому разность хода $\Delta x = 9 \cdot 10^{-7}$ (3 балла). Составляет $\Delta x/\lambda = 1,5$, получаемое число длин волн, то в точке на экране будет минимум интерференционной картины (4 балла).

6. Выражение для энергии фотона: $E_1 = hc/\lambda$ (1 балл). Энергия всех фотонов, излучаемых за время t : $E_1 = \frac{hc}{\lambda} \frac{N}{\tau} t$ (3 балла). Количество теплоты, необходимое для нагрева воды: $Q = c_{yo}m\Delta t$ (1 балл). Закон сохранения

энергии: $E = Q \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} \frac{N}{\tau} t = c_{y0} m \Delta t$. (3 балла) Выражение для количества

фотонов: $N = \frac{c_{y0} m \lambda \Delta t \tau}{hc}$. (1 балл) Ответ: $N = 10^{20}$ (1 балл)

7. Изменение кинетической энергии фотоэлектрона равно работе сил электрического поля: $\frac{mv^2}{2} = e\Delta\phi$ или $\frac{mc^2}{8} = e\Delta\phi$ с учетом, что $E_{k0} = 0$ (4 балла). Формула, связывающая разность потенциалов и напряженность для однородного электрического поля: $\Delta\phi = ES$ (2 балла).

Выполнены математические преобразования, получен ответ в общем виде: $S = \frac{mc^2}{8eE}$, (3 балла) и числовой ответ: $S = 1.28 \text{ м}$. (1 балла)

8. Согласно закону сохранения импульса, начальный импульс частицы равен сумме проекции импульсов фотонов на первоначальное направление движения частицы: $\frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{hv_1}{c} - \frac{hv_2}{c}$ (3 балла). А по закону

сохранения энергии полная энергия частицы равна суммарной энергии квантов: $\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = hv_1 + hv_2$ (3 балла). Подставляя сюда значение скорости

$v = 0,8 c$ и умножая обе части первого уравнения на c , получим: $\frac{4}{3} m_0 c^2 = hv_1 - hv_2$, $\frac{5}{3} m_0 c^2 = hv_1 + hv_2$ (2 балла). Вычитая и складывая эти

два уравнения, найдем частоты излучений: $\nu_1 = \frac{3m_0 c^2}{2h}$, $\nu_2 = \frac{m_0 c^2}{6h}$ (1 балл) и искомое отношение: $\nu_1 / \nu_2 = 9$. (1 балл)

9. За время равное периоду полураспада интенсивность излучения падает в два раза (1 балл). Чтобы она упала в 10 раз, необходимо время t определенная формулой $0.1 = 2^{-t/T}$, где T - период полураспада (4 балла). Логарифмируя, получим: $\log_2 10 = t/T$ или $t = T \cdot \log_2 10 \cong 27 \cdot 3.3 \text{ лет} \approx 89 \text{ лет}$ (5 баллов).

10. Уравнение реакции имеет вид: ${}^4_9\text{Be} + {}^2_4\text{He} \rightarrow {}^0_1\text{n} + {}^6_{12}\text{C}$ (10 баллов)
Образуется углерод: ${}^6_{12}\text{C}$.

Задачи заключительного этапа Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» 2008–09 уч. г.

1. Два велосипедиста выехали навстречу друг другу из поселков, находящихся на расстоянии 15 км друг от друга. Скорость одного велосипедиста 7 м/с, второго – 8 м/с. Когда выехал первый велосипедист с его плеча слетела муха и полетела ко второму. Долетев до него, муха повернула обратно к первому. Так она летала, пока велосипедисты не встретились. Сколько километров пролетела муха, если ее скорость 50 м/с?

2. Пушка, закрепленная на высоте 5 м, стреляет в горизонтальном направлении снарядами массы 10 кг. Вследствие отдачи ее ствол, имеющий массу 1000 кг, сжимает на 1 м пружину жесткости $6 \cdot 10^3$ Н/м, производящую перезарядку пушки. Считая, что относительная доля $\eta = 1/6$ энергии отдачи идет на сжатие этой пружины, найдите дальность полета снаряда.

3. На наклонной плоскости с углом наклона к горизонту равным $\alpha = 30^\circ$ находится брусок, массой 1 кг, коэффициент трения которого о наклонную плоскость, равен $\mu = 0,2$. Какую наименьшую силу надо приложить к бруску, чтобы он не соскальзывал?

4. Определить концентрацию молекул азота в сосуде, если давление в нем равно 1000 Па, температура 273°К . Постоянная Больцмана равна $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

5. В калориметре находилось $m_1 = 1$ кг льда при температуре $t_1 = -5^\circ\text{С}$. После добавления в калориметр $m_2 = 2$ кг воды в нем установилось тепловое равновесие при температуре $t = 0^\circ\text{С}$. Какова температура добавленной в калориметр воды, если в итоге в калориметре оказалась только вода? Удельные теплоемкости воды и льда соответственно 4200 и 2100 Дж/К кг. Скрытая теплота плавления льда 330000 Дж/кг.

6. Сосуд разделен жесткой неподвижной перегородкой на два объема. Первоначально в первом находился гелий при некотором давлении p_1 , во втором - аргон при давлении p_2 . Через длительное время из-за просачивания гелия сквозь перегородку в первом объеме давление стало p_2 , а во втором – p_1 . Найдите отношение p_2/p_1 . Процесс изотермический.

7. Электроны, ускоренные до энергии 1000 эВ, влетают в середину зазора между пластинами плоского конденсатора параллельно пластинам. Рас-

стояние между пластинами 1 см, их длина 10 см. Какое наименьшее напряжение надо приложить к пластинам конденсатора, чтобы электроны не вылетели из него?

8. Как известно, эффект Холла заключается в том, что при помещении проводника с током в магнитное поле внутри проводника возникает электрическое поле, направленное перпендикулярно направлению тока и магнитному полю. Вычислить разность потенциалов, возникающую между боковыми поверхностями проводника толщиной d и сечением S , если ток равен I , концентрация свободных электронов – n , индукция магнитного поля B . Исходя из этой формулы, предложите возможности применения этого эффекта.

9. Свинцовая проволока диаметром 0,3 мм плавится при пропускании через нее тока 1,8 А, а проволока диаметром 0,6 мм плавится при токе 5 А. При каком токе разорвет цепь предохранитель, составленный из двух свинцовых проволочек указанных диаметров, соединенных параллельно? Длины проволочек одинаковы.

10. Локатор излучает очень короткие импульсы в направлении самолета. Частота повторения этих импульсов ν_1 . На борту самолета импульсы принимаются с частотой ν_2 . Определить скорость самолета по направлению на локатор, если скорость распространения радиоволн c .

11. На оси x в точке $x_1 = 10$ см находится тонкая рассеивающая линза, а в точке $x_2 = 30$ см – тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $f_2 = 25$ см. Свет от точечного источника, расположенного в точке $x = 0$, пройдя данную оптическую систему, распространяется параллельным пучком. Найдите фокусное расстояние рассеивающей линзы.

12. Интенсивность света при интерференции от двух когерентных одинаковых источников в точке главного максимума в четыре раза выше, чем интенсивность создаваемая одним источником. Почему так происходит? Откуда берется дополнительная энергия?

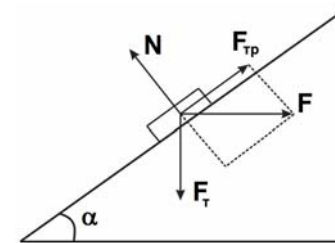
Решения

1. Скорость, с которой сближаются велосипедисты, равна $v = v_1 + v_2 = 15 \text{ м/с}$. (3 балла). Время, которое они проедут до встречи, следовательно, равно $t = s/v = 1000 \text{ с}$. (3 балла). Поскольку скорость мухи

$v_3 = 50 \text{ м/с}$, и она летала непрерывно до встречи велосипедистов, она пролетела путь $S_1 = v_3 t = 50 \text{ км}$ (4 балла).

2. Закон сохранения для системы «снаряд-ствол пушки»: $MV + mv = 0$. (2 балла). Соотношение для механической энергии системы «ствол пушки – пружина»: $\eta \frac{MV^2}{2} = \frac{K\Delta x^2}{2}$. (2 балла). Дальность полета снаряда $S = vt$, (2 балла) высота $h = gt^2/2$. (1 балл). Из этих формул получаем $S = \frac{\Delta x}{m} \sqrt{\frac{2KhM}{g\eta}} = 600 \text{ м}$. (3 балла).

3.



Чертеж (1 балл).

Найдем проекции силы удерживающей брусоч на направления вдоль наклонной плоскости и по нормали к ней. Запишем для проекций условие равновесия:

$$\left. \begin{aligned} N - mg \cos \alpha - F_n &= 0 \\ mg \sin \alpha - \mu N - F_k &= 0 \end{aligned} \right\} \text{ (2 балла).}$$

Из первого $F_n = N - mg \cos \alpha$. Из второго $F_k = -\mu N + mg \sin \alpha$.

Сама сила определяется равенством $F = \sqrt{F_n^2 + F_k^2}$; (1 балл) и зависит от силы реакции опоры. Для квадрата этой силы имеем $(N - mg \cos \alpha)^2 + (mg \sin \alpha - \mu N)^2 = N^2(1 + \mu^2) + (mg)^2 - 2mgN(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$. (2 балла) Минимум, зависящей от N параболы находится между корнями квадратного уравнения точно посередине.

$$x^2(1 + \mu^2) + (mg)^2 - 2mgx(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) = 0$$

Решая его $x_{\min} = N_{\min} = \frac{mg(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{(1 + \mu^2)}$. (3 балла) Подставляя это

значение в формулу для F получим:

$$F = \sqrt{\frac{(mg)^2 (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)^2}{(1 + \mu^2)} + (mg)^2} - 2 \frac{(mg)^2 (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)^2}{(1 + \mu^2)} = 3.185 \text{ Н}$$

(2 балла)

4. По основному уравнению МКТ $p = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2$ (2 балла) или т.к.

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}; \quad p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k; \quad (2 \text{ балла}) \quad \bar{E}_k = \frac{3}{2} KT. \quad (2 \text{ балла})$$

Следовательно $p = nKT$. (2 балла) Отсюда $n = \frac{p}{KT} = 2.65 \cdot 10^{20} \frac{1}{\text{м}^3}$ (2 балла)

5. Количество теплоты, полученное при нагревании льда, находящегося в калориметре до температуры t $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$. (2 балла) Количество теплоты, полученное при его таянии при 0°C $Q_2 = \lambda m_1$. (2 балла) Количество теплоты, отданное водой при охлаждении её до 0°C $Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - 0)$. (2 балла) Уравнение теплового баланса $Q = Q_1 + Q_2$. (2 балла) Объединяя получаем: $t_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1) + \lambda m_1}{c_2 m_2} \approx 40.5^\circ \text{C}$ (2 балла)

6. Пусть объем занимаемый гелием v_1 , аргоном v_2 . Тогда после просачивания гелия его объем станет равным $v_1 + v_2$. Объем аргона останется прежним. Уравнение изотермического процесса для гелия $p_1 v_1 = p_2 (v_1 + v_2)$ (2 балла), где p_2 - установившееся давление гелия. Давление во второй части сосуда стало равно $p_1 = p_2 + p_2$. (4 балла). Таким образом $p_1 = 2p_2$. (2 балла). Отношение $\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_2}{2p_2} = \frac{1}{2}$ (2 балла).

7. Скорость электронов перед влётом в конденсатор $v = \sqrt{\frac{2W}{m}}$. (1 балл)

Они не вылетают из конденсатора, если $x = \frac{at^2}{2} \geq \frac{d}{2}$. (1 балл) Из второго

закона Ньютона $F = eE = \frac{eV}{d}$ (1 балл) находится ускорение $a = \frac{eV}{dm}$. (2 балла). Максимальное время нахождения электрона в зазоре между пла-

стинами $t = \frac{L}{V}$. (1 балл). Тогда $\frac{d}{2} = \frac{ev_{\min} L^2}{2dmV}$. (2 балла). Отсюда

$$v_{\min} = \frac{2d^2 W}{eL^2} \quad (1 \text{ балл}), \text{ или } v_{\min} = 20 \text{ В}. \quad (1 \text{ балл}).$$

8. Полный ток определяется равенством $J = ne\bar{v}S$, (2 балла), где \bar{v} - средняя скорость движения электронов. На летящие электроны действует сила Лоренца $F = e\bar{v}B$ (2 балла), сдвигающая их в сторону. Происходит накопление на боковых поверхностях до тех пор, пока возникшее электрическое поле не компенсирует силы Лоренца, т.е. пока не будет выполняться равенство $e\bar{v}B = eE = \frac{eV}{d}$. (2 балла). Отсюда $V = \bar{v}Bd$. (1 балл). Т.к. из первого равенства: $\bar{v} = \frac{J}{neS}$ (1 балл). То, подставляя, получим: $V = \frac{JBd}{neS}$. (2 балла).

9. При параллельном соединении проводников ток разветвляется так, что падение напряжения на участке одинаково. Поскольку сопротивление проводника определяется равенством $R = \rho \frac{l}{S}$ (1 балл), и сечение проводника пропорционально квадрату диаметра, то сопротивление тонкой проволоки будет больше, чем толстой в четыре раза. (2 балла). Соответственно ток через нее будет в четыре раза меньше, чем ток через толстую проволоку. (1 балл). При токе $I_1 = 5$ А толстая проволока расплавляется. Ток через тонкую проволоку при этом будет равен $I_2 = I_1/4 = 1.25$ (2 балла), что недостаточно для расплавления. Но как только толстая проволока расплавится, весь ток пойдет через тонкую проволоку, и она расплавится тоже. (1 балл). Общий ток, который расплавит предохранитель, следовательно, должен быть равен $I = I_1 + I_2 = 6.25$ А. (3 балла)

10. Нарисуем ход лучей через систему линз. (За рисунок 2 балла)

Условие параллельности лучей позволяет найти расстояния до изображения источника в рассеивающей линзе $x_2 - x_1 + d' = f_2$ (2 балла), $d' = 5$ см (1 балл). Формула тонкой рассеивающей линзы позволяет теперь определить её фокусное расстояние

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d'} = -\frac{1}{f_1} \quad (3 \text{ балла}), \text{ следовательно, } f_1 = \frac{dd'}{d - d'} = 10 \text{ см}. \quad (2 \text{ балла})$$

**Задачи Кубка г. Уфы
для старшеклассников 2009–2010 уч. г.**

11. Расстояние между импульсами локатора в системе отчета, связанной с локатором равно $l = \frac{c}{v_1}$ (1 балл). Время до встречи самолета со следую-

щим импульсом равно $\tau = \frac{l}{u+c}$ (1 балл), если самолет летит навстречу локатору. Это время равно $\frac{1}{v_2}$ (1 балл). Собирая эти формулы, получим:

$$\frac{c}{v_1(u+c)} = \frac{1}{v_2} \quad (1 \text{ балл}). \text{ Отсюда } (u+c) = \frac{cv_2}{v_1} \text{ или } u = c\left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right) \quad (1 \text{ балл}).$$

Это если самолёт летит к локатору и $v_2 > v_1$ (1 балл). В другом случае

$$\frac{l}{(c-u)} = \frac{1}{v_2} \quad (1 \text{ балл}), \quad \frac{c}{v_1(c-u)} = \frac{1}{v_2} \text{ и тогда } (c-u) = \frac{cv_2}{v_1}, \quad u = c\left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right) \quad (1$$

балл) если $v_2 < v_1$ (1 балл).

12. Интенсивность определяется через квадрат амплитуды световой волны. В точке максимума амплитуды колебания равна сумме амплитуд источников. Поскольку источники одинаковы она равна $2A$. Квадрат амплитуды равен $4A^2$. От одного источника интенсивность равна A^2 . (5 баллов) Дополнительная энергия ни откуда не берется. Происходит лишь перераспределение энергии в пространстве, так как кроме максимумов есть и минимумы, в которых энергия вообще нулевая. (5 баллов).

Механика

1. Во время сражения при Пуатье максимальная дальность полета стрел французских лучников составляла 500 м. Какой была максимальная скорость стрел при вылете из лука?

2. Тело бросили вертикально вверх со скоростью $v_0 = 10$ м/с. Во время падения на Землю оно имело скорость $v_k = 9$ м/с. Определить время движения тела, если сила сопротивления пропорциональна скорости тела. Ускорение свободного падения считать равным 10 м/с².

3. За 2 с прямолинейного равноускоренного движения тело прошло 20 м, увеличив свою скорость в 3 раза. Определить начальную скорость тела.

4. У края диска радиусом R лежит монета. Диск раскручивается так, что его угловая скорость линейно растет со временем: $\omega = \varepsilon t$. В какой момент времени монета слетит с диска, если коэффициент трения между диском и монетой μ ? Какой угол с направлением к центру диска образует сила трения в этот момент?

5. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки A . В точке B вверху наклонной плоскости она без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом $R = 0,4$ м. Если в точке A скорость шайбы превосходит 4 м/с, то в точке B шайба отрывается от опоры. Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой $\mu = 0,2$. Угол между наклонной плоскостью и горизонталью 30° . Найти длину наклонной плоскости AB .

6. Пуля летит горизонтально со скоростью $v_0 = 200$ м/с, пробивает стоящий на горизонтальной поверхности льда брусок и продолжает движение в прежнем направлении со скоростью $\frac{1}{4}v_0$. Масса бруска в 10 раз больше массы пули. Коэффициент трения скольжения между бруском и льдом $\mu = 0,1$. На какое расстояние сместится брусок к моменту, когда его скорость уменьшится на 20%?

7. Однородный стержень согнули под прямым углом на расстоянии одной трети длины и подвесили за конец короткой стороны. Под каким углом к вертикали расположится этот короткий конец?

8. Дядюшка Порджес при небольшом росте имеет массу 80 кг. Решив повесить картину, он взял лестницу длиной 2 м и массой 10 кг и прислонил её к абсолютно гладкой стене под углом 30° к вертикали. Коэффициент трения между нижним концом лестницы и полом $\mu = 0,3$. На какую максимальную высоту по этой лестнице может забраться дядюшка?

9. Абсолютно твёрдая и абсолютно гладкая бесконечная плоскость лежит на Земле, касаясь её в одной точке. Из точки касания по плоскости начинает равномерно и прямолинейно двигаться тело со скоростью 1 м/с. Как оно будет двигаться дальше?

10. Кто впервые определил массу Земли, Луны и Солнца, и как он это сделал?

Решения

1. Лучник стреляет под некоторым углом α к горизонту. Вертикальная составляющая скорости стрелы в момент вылета равна $v \sin \alpha$, горизонтальная $v \cos \alpha$. Дальность полета определяется формулой $\ell = v \cos \alpha \cdot t$, где t - время полета стрелы, т.е. её подъёма t_1 и спуска t_2 . Время подъёма $t_1 = t_2$ определяется равенством $v \sin \alpha = g t_1$. Следовательно, общее время полета стрелы $t = t_1 + t_2 = 2v \sin \alpha / g$. Дальность полета $\ell = 2v^2 \sin \alpha \cos \alpha / g$. Максимальная дальность полета достигается когда $2 \sin \alpha \cos \alpha = 1$. Отсюда определяем максимальную скорость стрелы: $v = \sqrt{\ell g} = 70$ м/с.

2. Ускорение, сообщаемое телу при подъёме вверх, складывается из ускорения свободного падения и направленного в ту же сторону ускорения, вызванного силами сопротивления $\Delta v / \Delta t = -\alpha v - g$. При полёте в обратном направлении эти ускорения противоположны. $\Delta v / \Delta t = \alpha v - g$. Для конечных изменений скорости, умножая на промежутки времени эти выражения, и складывая их, получим: $v_0 + v_k = \alpha v t_1 - \alpha v t_2 + g(t_1 + t_2)$. Поскольку первые два слагаемых пропорциональны одной и той же величине (пути) с одним и тем же коэффициентом пропорциональности α , эти слагаемые сокращаются. Поэтому общее время полёта определяется формулой: $t = t_1 + t_2 = (v_0 + v_k) / g$. Подстановка численных значений дает $t = 1,9$ с.

3. Скорость тела определяется формулой: $v = v_0 + at = 3v_0$. Отсюда, ускорение равно $a = 2v_0 / t$. Пройденное расстояние равно $S = v_0 t + at^2 / 2$. Под-

Подставляя сюда значение ускорения получим $S = 2v_0 t$. Откуда $v_0 = S / 2t = 5$ м/с.

4. До тех пор пока монета лежит на диске, ее линейная скорость равна линейной скорости диска $v = \omega R = \varepsilon R t$. Как видно эта скорость не постоянна, а линейно растёт со временем. Следовательно, монета движется с ускорением, проекция которого на направление касательной к окружности равна $a_1 = \varepsilon R$. Кроме того, поскольку монета движется по окружности, у неё есть и центростремительное ускорение (т.е. проекция ускорения на направление к центру окружности) $a_2 = v^2 / R = \varepsilon^2 R t^2$. Таким образом, ускорение монеты равно $a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = \varepsilon R \sqrt{1 + \varepsilon^2 t^4}$. Единственной силой, действующей на монету в плоскости диска, является сила трения. По второму закону Ньютона, она и создает ускорение $ma = F_{mp}$. Подставляя сюда выражение для и для максимального значения силы трения $F_{mp} = \mu mg$, получаем, что монета может лежать на диске до момента $t = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \left(\frac{\mu^2 g^2}{\varepsilon^2 R^2} - 1 \right)^{1/4}$.

5. Закон изменения механической энергии $E_B - E_A = A_{mp}$, где A_{mp} - работа силы трения, приводит к уравнению $mv_B^2 / 2 + mgL \sin \alpha - mv_0^2 / 2 = -\mu mgL \cos \alpha$. В точке В условием отрыва будет равенство центростремительного ускорения величине нормальной составляющей ускорения свободного падения $v_B^2 / R = g \cos \alpha$. Из этих двух равенств находим длину L .

$$L = \frac{v_0^2 - gR \cos \alpha}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = 0,9 \text{ м.}$$

6. При столкновении пули с брусом выполняется закон сохранения импульса, который согласно условиям задачи будет иметь вид. $mv_0 = mv_0 / 4 + 10mv$. Отсюда скорость бруска после столкновения. $v = 3v_0 / 40$. Поскольку основной силой, тормозящей брусом, является сила трения, ускорение, которое он испытывает равно $a = \mu g$. Время, в течение которого скорость уменьшится на 20%, определяется равенством. $\mu g t = 0,2v = 3v_0 / 200$. Смещение бруска за это время определяется равенством: $S = 0,2v^2 / \mu g - 0,04v^2 / 2\mu g = 0,22v^2 / \mu g = 49,5$ м.

7. На вертикали будет находиться центр тяжести системы, состоящей из частей стержня. Следовательно, для определения угла между короткой частью и вертикалью надо найти угол между короткой частью и направлением на центр тяжести системы. Поскольку стержень однородный, центр тяжести системы будет лежать на прямой, соединяющей середины участков стержней, в том месте, которое вдвое ближе к длинному участку, чем к короткому. Проекция этой точки на короткий стержень будет равна $5\ell/6$, где ℓ - длина короткой части стержня. Второй катет образованного прямоугольного треугольника находится из подобия треугольников и равен $2\ell/3$. Тангенс искомого угла находится как отношение этих величин $tg\alpha = 4/5$.

8. Условие равновесия лестницы включает в себя равенство нулю суммы сил и суммы моментов сил, действующих на лестницу. Для равенства сил имеем для вертикальной и горизонтальной составляющих:

$$\begin{aligned} Mg + mg &= N \\ \mu N &= F_p \end{aligned}$$

Здесь M , m и N - массы дядюшки, лестницы и сила нормальной реакции пола. Условие равенства нулю моментов сил будет иметь вид: $Mg\ell t g\alpha + mg\ell \sin \alpha / 2 = \mu(M + m)g\ell \cos \alpha$. Отсюда получим для высоты подъема дядюшки равенство: $h = (\mu(M + m)\cos \alpha - m \sin \alpha / 2)\ell / Mt g\alpha$. Подстановка численных значений дает для высоты подъема дядюшки 88 см.

9. При перемещении на расстояние Δx от места касания с Землей плоскости на движущееся тело будет действовать возвращающая сила, пропорциональная отношению смещения тела к радиусу Земли и равная $F = mg\Delta x/R$. Поскольку сила пропорциональна смещению и смещение мало, тело будет испытывать колебания с периодом $T = 2\pi\sqrt{R/g}$, где R - радиус Земли, g - ускорение свободного падения на поверхности Земли.

10. Массу Земли, Луны и Солнца впервые определил Генри Кавендиш путем измерения значения константы γ в законе всемирного тяготения. Масса Земли с помощью этой константы определяется по формуле $M = gR_s^2/\gamma$, где g - ускорение свободного падения. Для остальных двух небесных тел используется найденная масса Земли и центростремительное ускорение, определяемое из периода обращения.

Молекулярная физика

1. Температура вблизи поверхности Солнца 6000 К, общая концентрация ионов гелия и водорода 10^{30} м^{-3} . Оцените давление, которое должны будут выдержать стенки корабля, находящегося в атмосфере Солнца, считая плазму идеальным газом. (Постоянная Больцмана равна $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.)

2. Смесь, состоящую из 2,51 кг льда и 7,53 кг воды при общей температуре 0°C , нужно нагреть до температуры 50°C , пропуская пар при температуре 100°C . Определите необходимое для этого количество пара. Теплоемкость воды $c=4200 \text{ Дж/кгК}$, Теплота плавлении льда $\lambda = 330000 \text{ Дж/кг}$, Теплота парообразования воды $\eta = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

3. 1 моль одноатомного идеального газа находится в теплоизолированном цилиндре, поставленном вертикально, поршень которого удерживается двумя одинаковыми гирями. Поршень может скользить без трения. Начальная температура газа T_1 , Давление вне цилиндра нулевое. Как изменится температура газа, если одну из гирь снять, а затем через длительное время поставить обратно?

4. Идеальный одноатомный газ расширился в политропном процессе. (Политропным называется процесс протекающий с постоянной теплоемкостью). При этом оказалось, что отношение совершенной газом работы к количеству подведенной к нему теплоты составляет 0,5. Вычислить молярную теплоемкость газа в этом процессе.

5. В горизонтально расположенной трубке неизменного сечения, запаянной с одного конца, помещен столбик ртути длиной 15 см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60 К. При этом объем, занимаемый воздухом, не изменился. Температура воздуха в лаборатории 300 К. Каково атмосферное давление (в мм. рт.ст.)?

6. Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделен подвижным поршнем весом 110 Н на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа при температуре 361 К. Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда. Толщиной поршня пренебречь.

7. В сосуде находится одноатомный идеальный газ, масса которого 12 г, а молярная масса 0,004 кг/моль. Вначале давление в сосуде было равно

$4 \cdot 10^5$ Па при температуре 400 К. После охлаждения газа давление понизилось до $2 \cdot 10^5$ па. Какое количество теплоты отдал газ?

8. В теплоизолированный сосуд, где должна поддерживаться постоянная температура поместили 1 кг нафталина, причем половина его расплавлена. Туда наливают 2 кг воды. Насколько может отличаться начальная температура воды от температуры плавления нафталина, чтобы температура в сосуде не изменилась. Температура плавления нафталина 80°C , удельная теплоемкость воды 4200 Дж/кг К. Теплота плавления нафталина 151000 Дж/кг.

9. Всасывающий насос поднимает холодную воду при температуре 20°C на высоту $10,3$ м. На какую высоту он поднимет кипящую воду при 100°C , если считать процесс изотермическим. Давление насыщенных паров воды при 20°C равно $2,33$ кПа, при 100°C $101,3$ кПа.

10. Написать названия всех обратимых процессов, которые могут происходить с идеальным газом. Ответ обосновать.

Решения

1. Согласно основному уравнению молекулярно кинетической теории $P = nkT$. Следует заметить, что в этом выражении не содержится указаний на молярную массу частиц, создающих давление, и поэтому данные о составе атмосферы Солнца не имеют значения. Поскольку в условии задачи все величины заданы, остается только подставить их в формулу. Получим: $P = 8,3 \cdot 10^{10}$ Па.

2. Определим сначала количество тепла, необходимое для нагревания смеси до температуры 50°C . Количество тепла необходимое для плавления льда равно $Q_1 = \lambda m_1$. Для нагревания всей получившейся воды необходимо количество тепла равное $Q_2 = c(m_1 + m_2)\Delta t$. Общее количество тепла может быть получено за счет конденсации пара и охлаждении полученной воды до конечной температуры $Q = \eta \Delta m + c \Delta m \Delta t = (\eta + c \Delta t) \Delta m$. Приравняв эти величины получим $\Delta m = \frac{c(m_1 + m_2)\Delta t + \lambda m_1}{(\eta + c \Delta t)}$. Подстановка численных значений дает $\Delta m = 1,17$ кг пара.

3. Поскольку цилиндр тепло изолирован, будет происходить адиабатическое расширение газа от начальной температуры T_1 до конечной температуры T_2 . При этом давление изменится от p_1 до $p_1/2$. В адиабатическом процессе изменение внутренней энергии $\Delta U = 3R(T_1 - T_2)/2$ идет на со-

вершение работы $A = p_1(V_2 - V_1)/2$. Из уравнения Клапейрона Менделеева в данном случае следует что $V_2 = 2RT_2/p_1$ и $V_1 = RT_1/p_1$. Подставляя эти выражения в работу и приравняв работу и изменение внутренней энергии получим уравнение для температуры $3R(T_1 - T_2)/2 = RT_2 - RT_1/2$. Отсюда определяем конечную температуру $T_2 = 4T_1/5$. Поскольку адиабатный процесс обратим, при постановке гири обратно система вернется в прежнее состояние.

4. Поскольку теплоемкость в процессе была постоянна, то подведенная теплота $Q = C \nu \Delta T$ и можно записать $\alpha = A/Q = (Q - \Delta U)/Q = (C \nu \Delta T - (3/2) \nu R \Delta T) / C \nu \Delta T$. Тогда искомая теплоемкость $C = 3R/2(1 - \alpha) = 3R$.

5. Условие механического равновесия столбика ртути определяет давление воздуха в вертикальной трубке: $p = p_0 + \rho g d$, где $p_0 = \rho g H$ - давление атмосферы. Здесь $H = 750$ мм. Поскольку нагревание воздуха в трубке происходит до температуры T и первоначального объема, то по уравнению Клапейрона-Менделеева: $T = T_0 + \Delta T$, $T/T_0 = p/p_0 = 1 + d/H$. Отсюда $H = dT_0/\Delta T$. Подставляя значения физических величин, получим $H = 750$ мм. Ответ $p_0 = 750$ мм рт.ст.

6. Уравнения состояния газа для верхней и нижней частей $p_1 V_1 = \nu R T$ $p_2 V_2 = \nu R T$. где V_1 и V_2 - объемы верхней и нижней частей. Объемы: $V_1 = S(H - h)$, $V_2 = Sh$, где S - сечение поршня, H - высота сосуда, h - высота, на которой находится поршень. Условие равновесия поршня $p_1 S + P - p_2 S = 0$, где P - вес поршня. Подставляя в последнюю формулу все предыдущие, получим для количества молей газа $\nu = \frac{P}{RT(1/h - 1/(H - h))} = 0,022$ моль.

7. Для изохорического процесса имеем: $p_1/T_1 = p_2/T_2$, где T_2 - температура газа после охлаждения. Первый закон термодинамики для этого процесса: $Q = \Delta U = \frac{3m}{2\mu} R(T_1 - T_2)$. Решая систему из полученных

двух уравнений, находим: $Q = \frac{3m}{2\mu} RT_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) = 7,5$ кДж.

8. Для того, чтобы нафталин полностью расплавился надо затратить количество тепла равное $Q_1 = \lambda m_1 / 2 = 75500$ Дж. При этом температура воды должна быть выше температуры нафталина на $\Delta T_1 = Q_1 / cm_2 = 8,988$ К. Но нафталин может и застыть, если взять воду холоднее. Такой же расчет приведет к тому же результату. Таким образом, температура в сосуде не изменится, если температура воды будет отличаться от температуры плавления не более чем на 8,988 К.

9. Атмосферное давление, которое поднимает холодную воду, складывается из давления насыщенного водяного пара при температуре воды и гидростатического давления самой воды, равного $p_1 = \rho gh$, где h - высота подъема воды. Это же давление сохранится и при подъеме кипящей воды. Таким образом, можно написать $p_{1n} + \rho gh_1 = p_{2n} + \rho gh_2$. Отсюда $h_2 = h_1 - (p_{2n} - p_{3n}) / \rho g = 0,2$ м.

10. Обратимых процессов всего два. Это либо процесс, в котором отсутствует передача тепла, либо процесс в котором происходит передача тепла между телами с одинаковой температурой. Это адиабатный процесс и изотермический процесс. В остальных случаях происходит передача тепла от более нагретых тел к менее нагретым, что необратимо.

Электричество

1. Конденсатор с расстояниями между обкладками 1 см подключили к источнику с разностью потенциалов 100 В. При этом оказалось, что на заряд 81 мкКл, помещенный внутрь конденсатора действует сила 0,01 Н. Найти проницаемость диэлектрика, которым заполнен конденсатор.

2. Шарик массой 3 г подвешен на шелковой нити в однородном вертикальном электрическом поле напряженности $2 \cdot 10^6$ В/м, направленном вверх. Он имеет отрицательный заряд $3 \cdot 10^{-8}$ Кл. Циклическая частота малых колебаний данного маятника 10 с⁻¹. Какова длина нити?

3. К батарейке подключают последовательно соединённые амперметр и вольтметр - приборы при этом показывают 1 мА и 9 В, соответственно. Подключаем параллельно первому вольтметру еще один вольтметр - показания первого из вольтметров практически не изменились, а амперметр показывает теперь 3 мА. Что покажут приборы, если соединить их все три последовательно и подключить к той же батарейке?

4. По двум длинным прямым проводникам, находящимся на расстоянии 5 см друг от друга, протекают токи силой в 10 А в одном направлении. Оп-

ределить индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от одного из проводников и на расстоянии 4 см от другого.

5. Плоская горизонтальная фигура площадью $0,1$ м², ограничена проводящим контуром, сопротивление которого 5 Ом, находится в однородном магнитном поле. Пока проекция магнитной индукции на вертикаль z равномерно меняется от $B_1 = 6$ Тл до некоторого конечного B_2 , по контуру протекает заряд $q = 0,08$ Кл. Найти B_2 .

6. Источник постоянного напряжения с ЭДС 100 В подключен через резистор к конденсатору переменной ёмкости, расстояние между пластинами которого можно изменять. Медленно раздвинув пластины, ёмкость конденсатора изменили на 0,01 мкФ. Какая работа была совершена против сил притяжения пластин, если с момента начала движения пластин до полного затухания возникших при этом переходных процессов в электрической цепи выделилось количество теплоты 10 мкДж?

7. Кольцо из тонкой проволоки разрывается, если его зарядить зарядом Q . Диаметр кольца и диаметр проволоки увеличили в три раза. При каком заряде будет разрываться это новое кольцо?

8. Конденсаторы $C_1 = 10$ мкФ и $C_2 = 20$ мкФ соединены последовательно. Параллельно получившейся цепочке подключают последовательно соединенные одинаковые резисторы $R = 100$ кОм. Точки соединения конденсаторов и резисторов замыкают проводником 1-2. Всю цепь подключают к батарейке с ЭДС 10 В, конденсаторы практически мгновенно заряжаются. Какой заряд протечет по проводнику 1-2 за достаточно большое время после замыкания? Элементы цепи считать идеальными.

9. На табличке прикрепленной к электродвигателю переменного тока стандартной частоты 50 Гц указаны номинальные мощность 1 кВт, ток 5 А и напряжение 220 В. Определить индуктивность обмотки электродвигателя.

10. Как определить число витков обмотки трансформатора, не разматывая катушки?

Решения

1. Напряженность электрического поля конденсатора в отсутствии диэлектрика дается формулой $E_0 = U/d$ (3 балла). Измеряемая напряженность электрического поля по определению равна отношению силы, действующей на пробный заряд к заряду $E = F/q$ (3 балла). По определению

диэлектрической проницаемости, она показывает во сколько раз в диэлектрике ослабляется электрическое поле $\varepsilon = E_0/E = Uq/Fd = 81$. (4 балла)

2. Если нити нет, шарик будет падать с ускорением, равным не g , а $g + qE/m$, где qE - сила действия электрического поля напряженности E на заряд q . Поэтому в формуле для собственной частоты колебаний математического маятника нужно вместо g поставить выражение $g + qE/m$, так что $\omega_0^2 = (g + qE/m)/\ell$. Отсюда $\ell = (g + qE/m)/\omega_0^2 = 0,3$ м.

3. Из условий задачи видно, что вольтметры имеют различные сопротивления. Второй вольтметр имеет вдвое меньшее сопротивление – сила тока через него составляет в схеме с параллельными вольтметрами $I_2 - I_1 = 2$ мА при силе тока первого (как и ранее) только 1 мА. Если сопротивление второго R , то первого – $2R$. Сопротивления же источника тока и сопротивление амперметра пренебрежимо малы, так как при изменении силы тока в три раза не удалось заметить изменение напряжения.

Отсюда показания амперметра: $I_3 = \frac{U}{3R} = \frac{2}{3}I_1 = \frac{2}{3}$ мА. Показания вольт-

метров при последовательном соединении $U_1 = \frac{2}{3}U = 6$ В $U_2 = \frac{1}{3}U = 3$ В.

4. По численным данным задачи видно, что в плоскости, перпендикулярной проводникам сечения проводников и точка, в которой нужно найти поле, находятся в вершинах прямоугольного треугольника. Поэтому индукция магнитного поля, создаваемого одним проводником будет перпендикулярна индукции магнитного поля, создаваемого другим проводником. Следовательно, модуль индукции поля, создаваемого обоими проводниками, будет равен корню квадратному из суммы квадратов каждого из полей. (3 балла). Индукция магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника с током задается формулой: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$. (1 балл). Поэтому

$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}$ (1 балл) и соответственно $B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}$. (1 балл). Складывая эти

индукции, получим: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2}} \right) = \frac{\mu_0 I \ell}{2\pi r_1 r_2} = 0,83 \cdot 10^{-4}$ Тл = 83

мкТл. (4 балла).

5. Из закона электромагнитной индукции в случае однородного поля следует $|e_{ind}| = |d\Phi/dt| = S|dB/dt|$, с другой стороны, $|e_{ind}| = IR$. Отсюда про-

текший заряд равен $|\Delta q| = I\Delta t = \frac{S}{R}|B_2 - B_1|$. Следовательно, искомая ин-

дукция поля определяется формулой: $B_2 = B_1 - R\Delta q/S = 2$ Тл.

6. Закон сохранения энергии дает: $W_n + A_b + A = W_k + Q$, где $W_n = C_1 U^2/2$, $W_k = C_2 U^2/2$, $A_b = U\Delta q = U(C_2 U - C_1 U) = U^2 \Delta C$. Из этих уравнений получаем: $\frac{1}{2}U^2 \Delta C + A = Q$. По условию $\Delta C = -0,01$ мкФ; сле-

довательно, $A - Q = 50$ мкДж и $A = 60$ мкДж.

7. Под действием сил электростатического отталкивания кольцо деформируется так, что силы упругости сравниваются с силами электростатическими. Электрические силы в кольце должны быть пропорциональны квадрату

заряда кольца и обратно пропорциональны радиусу $F_{el} = \alpha \frac{Q^2}{R^2}$. В момент

разрыва сила упругости, приходящаяся на единицу площади, равна пределу прочности поэтому $F = \sigma S$. Следовательно, всегда выполняется равенст-

во $\alpha \frac{Q^2}{R^2} = \sigma S$, в том числе и для кольца, имеющего втрое больший радиус

и втрое больший диаметр проволоки $\alpha \frac{Q_1^2}{R^2} = \sigma S_1$. Поскольку сечение про-

волоки пропорционально квадрату диаметра, для заряда Q_1 имеем

$\alpha \frac{Q_1^2}{9R^2} = 9\sigma S$. Отсюда $Q_1 = 9Q$.

8. Заряды параллельно соединенных конденсаторов одинаковы по величине поэтому $\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} = 2$. Поскольку сумма разностей потенциалов на

конденсаторах равна ЭДС батареи $U_1 + U_2 = \varepsilon$, начальные потенциалы

конденсаторов равны $U_1 = 2\varepsilon/3$ $U_2 = \varepsilon/3$. Через длительное время конден-

саторы перезарядятся, чтобы ток через проводник 1-2 не тек

$q_1 = C_1 U = C_1 \varepsilon/2$, $q_1 = C_1 U = C_1 \varepsilon/2$. В этом случае суммарный заряд об-

кладок станет равным $Q = q_2 - q_1 = (C_2 - C_1)\varepsilon/2 = 5 \cdot 10^{-5}$ Кл. Именно этот

заряд и протек через проводник 1-2.

9. Номинальная мощность и значение номинального тока определяют актив-

ное сопротивление обмотки электродвигателя $P = I^2 R$ (2 балла). Пол-

ное сопротивление обмотки равно $Z = \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2}$ (3 балла), определяется из закона Ома $U = ZI$ (2 балла). Из этих трех формул и можно найти индуктивность обмотки, которая равна: $L = \sqrt{U^2/I^2 - R^2/I^4} / (2\pi\nu) = 58 \text{ мГн}$. (3 балла)

10. Достаточно обернуть обмотку трансформатора одним витком проволоки, подать на нее номинальное напряжение и измерить напряжение на витке. (5 баллов) Отношение этих напряжений и равно числу витков катушки, если его округлить до целого числа, поскольку изменение магнитного потока внутри обмотки и внутри охватывающего его витка одинаково. (5 баллов)

Оптика

1. Два плоских зеркала пересекаются под углом 120° . Точечный источник света находится на расстоянии 25 см от каждого зеркала. Найти положения всех изображений этого источника в зеркалах. (5 мин)

2. Пучок параллельных лучей света, падающий на небольшой участок сферического зеркала радиуса R параллельно главной оптической оси зеркала, проходящей через центр кривизны, обычно собирается в точку, отстоящую на расстояние $R/2$ от центра кривизны, поскольку в этом случае для угла падения и отражения можно использовать равенство $\text{tg}\alpha = \sin\alpha = \alpha$. Поскольку это равенство выполняется только для малых углов падения, то при размерах зеркала, сравнимых с радиусом кривизны, наблюдается сферическая абберрация, т.е. параллельный пучок уже не собирается в точку, а на главной оси наблюдается пятно. Найдите размеры этого пятна для зеркала с радиусом кривизны 1 м, если диаметр этого зеркала равен 0,5 м. (10 мин)

3. В сосуде на поверхности воды плавает легкая тонкая плосковыпуклая линза выпуклой стороной вверх. Фокусное расстояние линзы в воздухе F . Показатель преломления воды равен n . На дне сосуда на главной оптической оси линзы поместили точечный источник света. Его изображение расположено на расстоянии h над линзой на её главной оптической оси. Найти высоту уровня воды в сосуде. (10 мин)

4. Под медленно движущимся плоскодонным кораблем с вертикальными бортами плывет разведчик в легком водолазном костюме. Ширина корабля 4 м, глубина погружения его днища 1,5 м. Небо затянуто сплошным облачным покровом, полностью рассеивающим свет. На каком максимальном расстоянии от днища корабля должен держаться разведчик, чтобы его не могли увидеть находящиеся вокруг другие водолазы? Рассеянием света во-

дой и размерами разведчика пренебречь. Показатель преломления воды относительно воздуха принять равным $4/3$. (5 мин)

5. Линза, фокусное расстояние которой 15 см, дает на экране изображение предмета с пятикратным увеличением. Экран передвинули вдоль главной оптической оси линзы. Затем при неизменном положении линзы передвинули предмет, чтобы изображение снова стало резким. В этом случае получено изображение с трехкратным увеличением. На сколько пришлось сдвинуть предмет относительно его первоначального положения? (10 мин)

6. На оси X в точке $x_1 = 10$ см находится тонкая рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f_1 = -10$ см, а в точке $x_2 > x_1$ - тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $f_2 = 30$ см. Главные оптические оси обеих линз совпадают с осью X . Свет от точечного источника, расположенного в точке $x = 0$, пройдя данную оптическую систему, распространяется параллельным пучком. Найдите расстояние между линзами. (10 мин)

7. Между плоскопараллельными стеклянными пластинками, освещаемыми светом с длиной волны 700 нм, попал волосок. В отраженном свете это привело к появлению интерференционных полос с расстоянием между полосами 3 см. Какова толщина волоса, если длина пластинок 10 см? (5 мин)

8. Длина электромагнитной волны, падающей на медную пластину в 2 раза меньше красной границы фотоэффекта для меди. Во сколько раз кинетическая энергия фотоэлектронов больше (или меньше) работы выхода электронов из меди? (5 мин)

9. Образец, содержащий радий, за 1 с испускает $3,7 \cdot 10^{10}$ α -частиц, обладающих импульсом $1,0 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с. За какое время выделится энергия 100 Дж? Масса α -частиц равна $6,7 \cdot 10^{-27}$ кг. Энергией отдачи ядер, γ -излучением и релятивистскими эффектами пренебречь. (5 мин)

10. Спектры создаются с помощью дифракционной решетки и с помощью призмы. Чем такие спектры могут различаться? (5 мин)

Решения

1. Согласно правилам построения изображений в зеркалах, изображение точечного источника будет находиться на перпендикуляре к зеркалу на расстоянии от поверхности зеркала равном расстоянию от источника до зеркала. (2 балла). При условиях задачи это расстояние равно 25 см. Поэтому расстояние от источника до каждого из изображений в зеркалах будет равно 50 см. (2 балла). Угол между направлениями на изображения будет

составлять $360^0 - 2 \cdot 90^0 - 120^0 = 60^0$. (4 балла). Таким образом, источник и два первых его изображения в зеркалах образуют равносторонний треугольник. (2 балла) Следовательно, изображения будут лежать на продолжениях зеркал и новых изображений дать не могут.

2. Лучи близкие к главной оптической оси зеркала по прежнему собираются в фокусе зеркала, т.е. на расстоянии $R/2$ от центра кривизны зеркала. (2 балла). Это один край пятна, расположенного вдоль оптической оси зеркала. Для определения второго края рассмотрим луч, попадающий в край зеркала. Синус его угла падения определяется равенством: $\sin \alpha = d/2R = 0,25$, (2 балла) где d - диаметр зеркала R - радиус кривизны его поверхности. Расстояние от перпендикуляра опущенного из точки попадания луча на главную оптическую ось до пересечения луча с осью равно $R \cos \alpha$. (2 балла). Для определения расстояния от центра кривизны до точки пересечения луча с главной оптической осью достаточно из этого расстояния вычесть катет равный $d/2 \tan 2\alpha$. Получим: $R \cos \alpha - d/2 \tan 2\alpha$. (2 балла). Искомые размеры пятна определяются, если из этого результата вычесть расстояние до фокуса. $x = \frac{R(2 \cos \alpha - 1) - d \cos 2\alpha}{2 \sin 2\alpha} = 0,48$ м. (2 балла)

3. Луч света от источника падает на плоскую поверхность линзы под углом γ , преломляется под некоторым углом α и после преломления на выпуклой поверхности линзы идет к точке . Если бы воды в сосуде не было, то для преломления под таким же углом α луч должен был бы падать на линзу под углом β , и источник находился бы в точке . Закон преломления света для этих двух ситуаций дает: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_{\text{вод}}}{n_{\text{лин}}}$ и

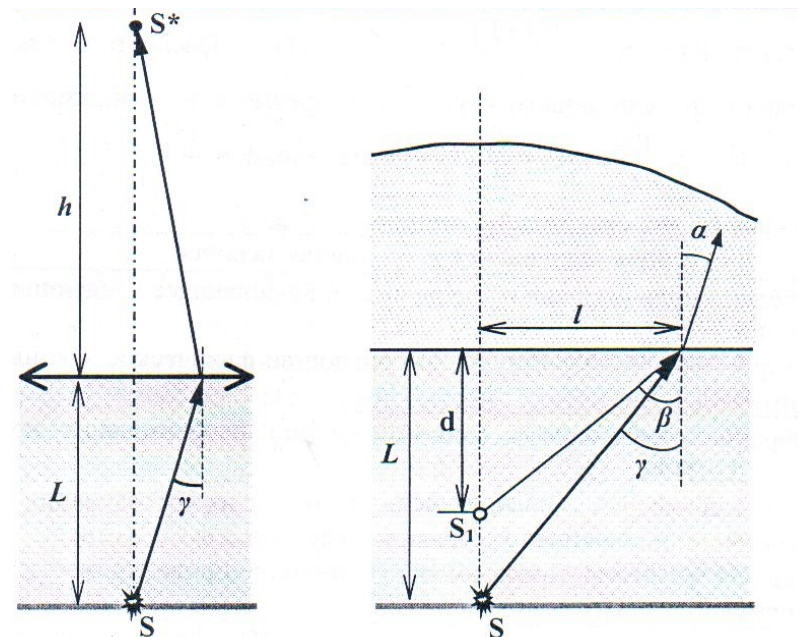
$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n_{\text{лин}}}$. (2 балла). Поделив первое из этих равенств на второе

получим $\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = n$. Обозначив расстояние от места преломления луча до

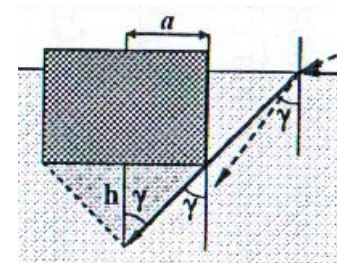
главной оптической оси линзы через ℓ , Напишем соотношения $\tan \beta = \ell/d$ и $\tan \gamma = \ell/L$. (2 балла). Поделив первое из них на второе получаем $\tan \beta / \tan \gamma = L/d$. При малых углах $\sin \beta = \tan \beta$, $\sin \gamma = \tan \gamma$ поэтому левые части отношений синусов и тангенсов одинаковы, значит равны и правые части $L/d = n$. (2 балла). Для второй ситуации формула тонкой линзы

дает: $\frac{1}{d} + \frac{1}{h} = \frac{1}{F}$. Отсюда $d = \frac{hF}{h - F}$. Следовательно $L = n \frac{hF}{h - F}$. (2 балла)

(За правильный рисунок 2 балла) 74

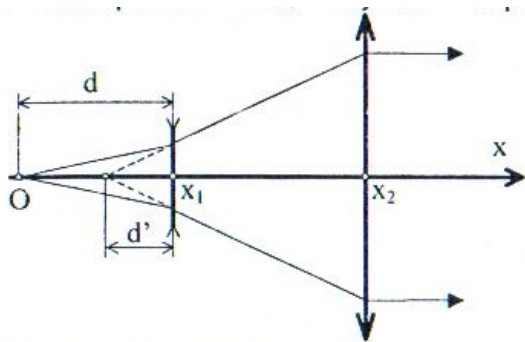


4. Водолазы не увидят разведчика, если он находится в тени корабля. Область тени – это пирамида, боковые грани которой очерчивают те лучи света, которые до преломления распространялись вдоль поверхности воды, а после преломления касаются краев днища. (2 балла). Максимальное расстояние разведчика от днища равно глубине h тени. Согласно рисунку, ее можно определить по формуле $h = a/\tan \gamma$, где a – полуширина корабля. Значение $\tan \gamma$ найдем из закона преломления света $\sin \alpha / \sin \gamma = n$, (2 балла) где n – показатель преломления воды, а $\alpha = 90^0$. Имеем $\sin \gamma = 1/n = 3/4$ $\tan \gamma = 3/\sqrt{7}$ $h = 2 \cdot \sqrt{7}/3 \approx 1,76$ м. (3 балла). (За рисунок 3 балла).



5. В первом случае для фокусного расстояния и увеличения можно записать следующие формулы: $F = \frac{fd}{f+d}$, $\Gamma = \frac{f}{d}$, (4 балла) где d – расстояние от предмета до линзы, d - расстояние от линзы до изображения, Γ - увеличение. Следовательно, $d = \frac{F(1+\Gamma)}{\Gamma} = 18$ см. (1 балл). После того как предмет передвинули, для нового положения предмета и изображения можно записать: $F = \frac{f_1 d_1}{f_1 + d_1}$, $\Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1}$. (2 балла) Следовательно, $d_1 = \frac{F(1+\Gamma_1)}{\Gamma_1} = 20$ см. (2 балла) Отсюда $\Delta d = 2$ см. (1 балл).

6. Изобразим ход лучей через систему линз. (См. рис.) (за рисунок 3 балла). Запишем формулу тонкой линзы для рассеивающей линзы с учетом правила знаков и найдем расстояние d' от линзы до предмета: $\frac{1}{d} - \frac{1}{d'} = -\frac{1}{f_1}$. (2 балла). Получим: $d' = \frac{f_1 d}{f_1 + d} = 5$ см. Найдем искомое расстояние $(x_2 - x_1)$ из условия параллельности пучка света проходящего через оптическую систему: $f_2 = (x_2 - x_1) + d'$. (3 балла). Получим: $(x_2 - x_1) = f_2 - d' = 25$ см. (2 балла)



7. На расстоянии между интерференционными линиями разность хода, вызванная наклоном пластинок, как раз составляет длину волны света. Тангенс угла наклона пластинок, следовательно, определяется равенством $\text{tg} \gamma = \lambda/x$. (5 баллов) Этому же тангенсу равно отношение толщины волоса к длине пластинок. Так что имеем $\lambda/x = d/L$ (4 балла). $d = \lambda L/x \approx 2,7$ мкм. (1 балл).

8. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = E_k + A$. (2 балла). Причем $A = h\nu_k$, где ν_k – красная граница фотоэффекта. Согласно условию задачи $\frac{\lambda}{\lambda_k} = \frac{1}{2}$, и нужно определить $\frac{E_k}{A}$. Имеем $\lambda = c/\nu$, (2 балла) так что $\frac{\lambda}{\lambda_k} = \frac{\nu_k}{\nu} = \frac{1}{2}$ $\nu = 2\nu_k$. (2 балла). $2h\nu_k = E_k + h\nu_k$. (2 балла). Отсюда $E_k = h\nu_k = A$. (2 балла).

9. Энергия одной α -частицы: $E_1 = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$. (2 балла). За время $\Delta t = 1$ с в образце выделяется энергия: $\Delta E = NE_1 = N p^2 / 2m$. (4 балла) Время, за которое выделилась заданная энергия: $T = \frac{E}{\Delta E} = \frac{2mE}{Np^2}$. $T = 1$ ч. (4 балла)

10. Как известно при прохождении видимого света через призму фиолетовые лучи отклоняются сильнее, чем красные. Спектр, полученный таким образом начинается со слабо отклоняющихся красных лучей и заканчивается сильно отклонившимися фиолетовыми. (5 баллов). Спектр, полученный с помощью дифракционной решетки таков, что угол отклонения растет с ростом длины волны, то есть красные лучи отклоняются сильнее, чем фиолетовые. Таким образом, спектры противоположны. (5 баллов).

Задачи заключительного этапа Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» 2009–10 уч. г.

1. Мальчик с высоты 1 м бросает камень через забор высотой 2 м, находящийся от него на расстоянии 20 м. Найти минимальную скорость, которую он должен сообщить камню, чтобы тот перелетел через забор.
2. Пробирка массой $M = 40$ г, содержащая пары эфира, закрыта пробкой с массой $m = 10$ г и подвешена в горизонтальном положении на нерастяжимой нити. Расстояние от центра тяжести пробирки до точки подвеса $L = 20$ см. При нагревании пробирки пробка вылетает из нее, а нить обрывается. Каково в этих условиях минимальное (по модулю) значение скорости пробки v_x относительно Земли в момент вылета, если нить выдерживает силу натяжения не более $T = 0,6$ Н?
3. Стержень закреплен под углом $\pi/2 - \alpha$ по отношению к вертикальной оси. Конструкция может вращаться вокруг этой оси с угловой скоростью ω . На стержне находится подвижное тело весом $G = mg$. Движение тела

по стержню происходит с трением. Коэффициент трения μ ($\mu = tg\beta$). Определить условия, при которых тело находится в покое, если конструкция вращается с постоянной скоростью ω . При вращении угол α не меняется.

4. Инертный газ неон находится в электровакуумной трубке при давлении $p = 10^{-5}$ Па и температуре 290 К. Найти концентрацию его атомов.

5. В сосуде находится одноатомный идеальный газ, масса которого 12 г, а молярная масса 0,004 кг/моль. В начале давление в сосуде было равно $4 \cdot 10^5$ Па при температуре 400К. После охлаждения газа давление понизилось до $2 \cdot 10^5$ Па. Какое количество теплоты отдал газ?

6. К.П.Д. теплового двигателя, работающего по циклу 1-2-3-4-1, где 1-2 – изотерма, 2-3 – изохора, 3-4 – изотерма 4-1 – изохора равен η_1 . К.П.Д. двигателя, работающего по циклу 3-4-1-3, где 3-4 – та же изотерма, 4-1 – та же изохора, что и в первом цикле, и 1-3 – адиабата равен η_2 . Чему равен КПД двигателя, работающего по циклу 1-2-3-1?

7. Два одинаковых и одинаково заряженных маленьких шарика, подвешенные на тонких нитях одинаковой длины, находятся в жидком диэлектрике с проницаемостью ϵ . Какова должна быть плотность диэлектрика, чтобы угол расхождения нитей в воздухе в нем был один и тот же? Плотность материала шариков ρ считать заданной.

8. Металлический шар установлен на тонком проводящем стержне, соединяющем его с Землей. Шар окружен незаряженной металлической сферой, радиусом $r_2 = 10$ см, изолированной от Земли, центр сферы совпадает с центром шара. При передаче сфере электрического заряда $q = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл, между шаром и сферой возникла разность потенциалов, равная $\Delta\phi = \phi_{сферы} - \phi_{шара} = 90$ В. Определите радиус r_1 шара.

9. В схеме, изображенной на рисунке, конденсатор заряжен до некоторого напряжения U . После замыкания ключа и прекращения тока в цепи оказалось, что напряжение на конденсаторе поменяло знак на противоположный и стало равным 1 В. Найти напряжение U . Батарейки, диоды, катушка – идеальные. ЭДС батареек равны 1,5 В.

10. Предмет, представляющий собой ярко и равномерно освещенную шкалу длиной 10 мм с делениями от 0 до 10, помещен в переднюю фокальную плоскость тонкой линзы. Нижняя половина линзы закрыта непрозрачной ширмой, диаметр линзы 20 мм. В задней фокальной плоскости линзы установлено плоское зеркало. Где нужно поставить экран, чтобы увидеть на

нем изображение шкалы? Найдите размер изображения, видимого на экране.

11. Электроны, вылетевшие с катода фотоэлемента (с работой выхода A) горизонтально в северном направлении, попадают в электрическое и магнитное поля. Электрическое поле направлено горизонтально на запад, а магнитное – вертикально вверх. Какой должна быть работа выхода, чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена на запад? Частота света $6,5 \cdot 10^{14}$ Гц, напряженность электрического поля $3 \cdot 10^2$ В/м, индукция магнитного поля 10^3 Тл.

12. Дифракционная решетка имеет 500 штрихов на 1 мм. Определить сколько полных спектров будет наблюдаться после падения на нее белого света с длинами волн от 400 нм до 700 нм.

Решения

1. При скорости полета v дальность полета определяется формулой $L = v \cos\alpha \cdot t$. Здесь время полета может определяться высотой того барьера, через который следует перебросить камень $h = v \sin\alpha \cdot t - gt^2/2$. Определяя из первого уравнения время полета и подставляя во второе, получим для скорости уравнение $h = tg\alpha L - \frac{gL^2}{2v^2 \cos^2\alpha}$. Его решение имеет

вид: $v^2 = \frac{gL^2}{2(L \sin\alpha \cos\alpha - h \cos^2\alpha)}$. Условие минимума этой функции от угла

позволяет найти значение тангенса угла под которым к горизонту должен быть брошен камень $tg\alpha = (h + \sqrt{h^2 + L^2})/L$. Подставляя это значение в формулу для скорости получим значение минимальной скорости в виде: $v = \sqrt{g(h + \sqrt{L^2 + h^2})} \approx 14,5$ м/с.

2. Силы, действующие на пробирку вдоль нити, определяются вторым законом Ньютона с учетом движения центра тяжести пробирки по окружности: $T - Mg = Mv_1^2/L$. По закону сохранения импульса $Mv_1 = mv_x$. Из первого равенства следует, что $v_1 = \sqrt{L(T/M - g)}$, а из второго получаем: $v_x = Mv_1/m = M\sqrt{L(T/M - g)}/m = 4$ м/с.

3. Условие равновесия определяется равенством нулю всех сил, действующих на подвижное тело, кроме тех, которые сообщают ему центростремительное ускорение, направленное к оси вращения. Вводя проекции сил на вертикальную и горизонтальную оси, получим: $NC\cos\alpha + \mu NS\sin\alpha - G = 0$ для проекции на вертикальную ось и $NS\sin\alpha - \mu NC\cos\alpha = F_u$ для проекции на горизонтальную ось. Здесь $F = L\sin\alpha \cdot \omega^2$ - центростремительная сила. Из первого уравнения $N = \frac{G}{C\cos\alpha + \mu S\sin\alpha}$. Подставляя это значение во второе уравнение и учитывая

условие определяющее коэффициент трения получаем следующее ограничение на расстояние до тела и угловую скорость вращения: $L\omega^2 = \frac{G\sin(\alpha - \beta)}{S\sin\alpha \cos(\alpha - \beta)}$.

4. Основное уравнение молекулярно кинетической теории для идеального газа имеет вид: $p = nkT$. Отсюда $n = \frac{p}{kT} = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$.

5. Для изохорного процесса справедлив закон Шарля $p_1/T_1 = p_2/T_2$, где - температура газа после охлаждения. Первый закон термодинамики для этого процесса дает $Q = \Delta U = \frac{3mR(T_1 - T_2)}{2\mu}$. Решая систему из этих двух

уравнений, получим: $Q = \frac{3mRT_1}{2\mu} \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) \approx 7,5 \text{ кДж}$.

6. КПД газа в первом описанном цикле находится по формуле: $\eta_1 = \frac{Q_{12} + Q_{41} - Q_{34} - Q_{23}}{Q_{12} + Q_{41}}$, а для второго описанного цикла:

$\eta_2 = (Q_{41} - Q_{34})/Q_{41} = 1 - Q_{34}/Q_{41}$. Искомый КПД выражается через те же количества переданного тепла в виде: $\eta = (Q_{12} - Q_{23})/Q_{12}$. Если учесть, что в изохорных процессах работа не производится и поэтому передаваемое тепло определяется только изменением внутренней энергии, то можно учесть, что $Q_{23} = Q_{41}$. Выражая из равенств для первых КПД искомое

КПД, получим: $\eta = \frac{2\eta_1 - \eta_2}{1 + \eta_1 - \eta_2}$.

7. Поскольку тангенс угла, который нити составляют с вертикалью остается одинаковым, а он равен отношению кулоновской силы отталкивания

шариков к весу шариков, можно записать: $\text{tg}\alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2 \rho Vg}$ и

$\text{tg}\alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2 (\rho - \rho_d) Vg}$ где ρ_d - искомая плотность диэлектрика. Приравняв правые части этих равенств, получаем уравнение для ее определения $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{(\rho - \rho_d)\epsilon}$. Отсюда $\rho_d = \rho(1 - 1/\epsilon)$.

8. Поскольку обычно потенциал Земли приравнивается нулю, то условие равенства нулю потенциала шара в данном случае записывается так:

$\varphi_{ш} = k \frac{q}{r_2} + k \frac{q_1}{r_1}$. Отсюда заряд шара q_1 равен $q_1 = -q \frac{r_1}{r_2}$. Разность потенциалов шара и окружающей его сферы будет равна:

$\Delta\varphi = \varphi_{сферы} - \varphi_{шара} = kq \frac{r_1}{r_2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = kq \frac{r_2 - r_1}{r_2^2}$. Отсюда следует, что радиус

диуса сферы $r_1 = r_2 - \frac{\Delta\varphi r_2^2}{kq} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

9. Поскольку все элементы цепи считаются идеальными, ток через диоды не пойдет, поскольку батареи стоят так, что их ЭДС направлен навстречу возможному току через диоды. Ток может идти только вследствие разрядки конденсатора. Энергии заряженного конденсатора должно хватить не только на преодоление ЭДС батареи, но и на собственную перезарядку. Если обозначить $U_1 = 1 \text{ В}$ конечное напряжение на конденсаторе, то при протекании максимального тока было справедливо равенство: $CU_1^2/2 = LI^2/2$. Сам же максимальный ток определялся равенством:

$I = \frac{U - \epsilon}{R}$. Отсюда следует, что перезарядка могла произойти, только если

$U > \epsilon + U_1 R \sqrt{C/L}$. Для идеальных элементов вместо второго слагаемого в этом выражении будет стоять, только U_1 т.е. при $U > 2,5 \text{ В}$.

10. Лучи выходящие из любой точки фокальной плоскости после прохождения линзы будут идти параллельным пучком. После отражения от зеркала они возвратятся к линзе также параллельным пучком. А если на линзу падает параллельный пучок, то он собирается в точку на фокальной плоскости. Поэтому экран надо ставить в передней фокальной плоскости по

другую сторону от главной оптической оси от шкалы. Именно там будет наблюдаться изображение шкалы, которое будет иметь тот же размер, что и сама шкала, но гораздо меньшую освещенность. Кроме того, как видно из рисунка вторая половина шкалы не попадет на экран. Следовательно размер изображенной шкалы будет вдвое меньше и на экране будет видна только часть шкалы до 5 мм.

11. для того, чтобы электроны отклонялись на запад, должно быть $F_m > F_e$.

Модуль силы, действующей со стороны электрического поля $|F_e| = |e|E$.

Модуль силы Лоренца, действующей со стороны магнитного поля $|F_m| = |e|vB$. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта с учетом приложенного

к фотоэлементу обратного напряжения $h\nu = A + mv^2/2$. Из этих уравнений получаем ограничение на работу выхода:

$$A < \left(h\nu - \frac{mE^2}{2B^2} \right) \approx 3,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 2,4 \text{ эВ}.$$

12. Максимальный порядок спектра для дифракционной решетки определяется равенством $d = k\lambda$. Здесь $d = 10^{-3}/n = 2 \cdot 10^{-6}$ м – постоянная решетки. Определим максимальный порядок для крайних длин волн.

$$k_1 = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{400 \cdot 10^{-9}} = 5. \quad k_2 = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{700 \cdot 10^{-9}} = 2. \text{ Берется целая часть при делении,}$$

поскольку синус угла больше единицы не бывает. Поскольку в задаче необходимо рассматривать только полные спектры, т.е. содержащие все длины волн, максимальный порядок спектра равен $k_2 = 2$. Полных спектров будет наблюдаться по два с каждой стороны. Ну и не следует забывать спектр нулевого порядка – он же самый яркий. Так что число полных спектров равно пяти.

Задачи Кубка г. Уфы для старшеклассников 2010–2011 уч. г.

Механика

1. По наклонной плоскости с углом наклона к горизонту $\alpha = 30^\circ$ скользит тело. Найти скорость тела в конце третьей секунды от начала скольжения. Коэффициент трения $k=0,25$.

2. Винтовка массой 3 кг подвешена горизонтально на двух параллельных нитях. При выстреле в результате отдачи она отклонилась вверх на высоту 19,6 см. Определить скорость пули, если ее масса 10 г.

3. На гладкой горизонтальной поверхности лежит доска длиной L и массой M . На доске расположен брусок длиной ℓ и массой m таким образом, что левые края доски и бруска совпадают. Бруску коротким ударом сообщают начальную скорость 1 м/с, направленную вправо. Когда движение бруска относительно доски прекратилось, и они стали двигаться как единое целое, оказалось, что совпадают правые края доски и бруска. Определите длину бруска ℓ , если $M=4m$, $L = 5\ell$, а коэффициент трения между доской и бруском $\mu = 0,1$.

4. Коробка массы M стоит на горизонтальном столе. Коэффициент трения между столом и коробкой равен μ . Внутри коробки лежит груз массы m , который может без трения двигаться по дну коробки. Он прикреплен к стенке коробки пружиной жесткости k . При какой амплитуде колебаний груза коробка начнет двигаться по столу.

5. Оцените частоту взмахов крыльев птицы средних размеров (массой 5 кг, площадью крыла $0,5 \text{ м}^2$) в условиях полета без планирования в воздухе с плотностью $\rho = 1,26 \text{ кг/м}^3$.

6. Орудие выстрелило снарядом вертикально вверх. Скорость вылета снаряда массой 1 кг составила 1 км/с. В верхней точке траектории снаряд разорвался на две части, разлетевшиеся горизонтально. Одна из частей массой 0,8 кг упала на расстоянии 500 м от орудия. На каком расстоянии от него упала вторая часть снаряда?

7. Легкая лестница установлена опираясь на абсолютно гладкую стену под углом 60° к горизонту. Коэффициент трения лестницы о пол составляет $\mu = 0,2$. Длина лестницы 2 м. Человек массой $m = 60$ кг поднимается вверх

по лестнице. На какую максимальную высоту он сможет подняться, прежде чем лестница начнет скользить?

8. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой АВ. Угол между плоскостями $\alpha = 30^0$. Маленькая шайба скользит вверх по наклонной плоскости из точки А с начальной скоростью 2 м/с, направленной под углом $\beta = 60^0$ к прямой АВ. Найдите максимальное расстояние, на которое шайба удалится от прямой АВ в ходе подъема по наклонной плоскости. Трением пренебречь.

9. На некоторой планете сутки равны 30 мин. При этом на ее экваторе наблюдается невесомость. Чему равна средняя плотность планеты, если она остается шаром.

10. Как меняется период колебаний маятниковых часов, установленных на космическом корабле, при выводе его на орбиту?

Решения

1. Поскольку тело скользит с наклонной плоскости, сумма сил, действующих на него, направлена вдоль наклонной плоскости и представляет собой разность составляющей силы тяжести и силы трения. $F = mg\sin\alpha - kmg\cos\alpha$. (3 балла) Эта сила сообщает телу ускорение, равное $a = F/m = g(\sin\alpha - k\cos\alpha)$. (3 балла) Скорость по прошествии времени t определяется как скорость при равноускоренном движении: $V = at = gt(\sin\alpha - k\cos\alpha)$ (3 балла). Для данных задачи она равна $V = 8,5$ м/с. (1 балл)

2. Скорость винтовки непосредственно после выстрела определяется из закона сохранения энергии и высоты подъема $Mgh = MV^2/2$ (3 балла). Из закона сохранения импульса определяется скорость пули. $MV = mv$ (3 балла). Объединяя эти равенства, получаем для скорости пули $v = M\sqrt{2gh}/m$ (3 балла). Вычисления приводят к результату: $v = 588$ м/с (1 балл).

3. Запишем законы сохранения импульса и энергии: $mv_0 = (M + m)v$, $mv_0^2/2 = (M + m)v^2/2 + Q$ (3 балла) где Q - количество теплоты, выделившейся в результате трения между доской и бруском. Для Q справедливо

выражение $Q = \mu mg(L - \ell)$ (3 балла). Отсюда с учетом того, что $L = 5\ell$, получаем: $\ell = \frac{mv_0^2}{2\mu g(M + m)}$ (3 балла). Вычисления приводят к результату $\ell = 0,1$ м. (1 балл)

4. Коробка начнет двигаться по столу, как только сила, действующая на коробку, превысит силу трения равную $F_{tr} = \mu(M + m)g$ (3 балла). На коробку изнутри действует сила упругости пружины равная $F_{up} = kA$ (3 балла), где A - амплитуда колебаний. Приравнявая эти силы, получаем для амплитуды выражение $A = \frac{\mu(M + m)g}{k}$ (4 балла).

5. Пусть средняя скорость движения крыла V_s . Тогда за время Δt при движении крыла вниз птица сообщит массе воздуха $\Delta m = \rho S V_s \Delta t$ (1 балл) скорость V_s , то есть передаст импульс $\Delta p = \rho S V_s^2 \Delta t$ (1 балла) Для того, чтобы птица держалась на заданной высоте, это импульс должен компенсировать соответствующее действие силы тяжести $mg\Delta t$ (2 балла). Отсюда находим $mg = \rho S V_s^2$, $V_s = \sqrt{\frac{mg}{\rho S}}$ (2 балла) $V_s = \omega L = 2\pi\nu L$ (1 балл). Считая для простоты $L \approx \sqrt{S}$, находим $\nu = \frac{1}{2\pi S} \sqrt{\frac{mg}{\rho}}$ (2 балла). Подстановка численных значений дает $\nu \approx 2$ с⁻¹ (1 балл).

6. Высота, на которой разорвался снаряд, определяется равенством $h = V^2/2g$ (1 балл). Дальность полета первого осколка определяется горизонтальной составляющей его скорости V_1 и равна $L_1 = V_1 t = V_1 \sqrt{2h/g} = V_1 V/g$ (2 балла). Так же для второго осколка $L_2 = V_2 t = V_2 \sqrt{2h/g} = V_2 V/g$ (2 балла). Скорость второго осколка определяется из закона сохранения импульса $m_1 V_1 = (m - m_1) V_2$ (2 балла), а дальность полета $L_2 = \frac{L_1 V_2}{V_1} = \frac{L_1 m_1}{m - m_1}$ (2 балла). Подстановка численных данных приводит к ответу $L_2 = 2000$ м = 2 км (1 балл).

7. Условие равновесия лестницы – равенство суммы сил и суммы моментов сил нулю. Сила нормальной реакции пола равна $N_1 = mg$ (2 балла), поскольку другие силы не имеют вертикальных составляющих. Поэтому сила трения равна $F_{\text{тр}} = \mu mg$ (2 балла) и направлена горизонтально, как и сила реакции стенки. Равенство моментов сил относительно точки опоры дает уравнение $mgx \sin 30^\circ = \mu mg \ell \cos 30^\circ$ (2 балла), где $x = \mu \ell \cos 30^\circ / \sin 30^\circ$ (2 балла) – расстояние, пройденное человеком вдоль лестницы. Высота подъема человека в этом случае равна $h = x \cos 30^\circ = \mu \ell \cos^2 30^\circ / \sin 30^\circ = 0,6$ (2 балла).

8. Составляющая скорости шайбы, направленная перпендикулярно линии АВ равна $V \sin \beta$. Именно эта составляющая будет способствовать удалению шайбы. Снова приближаться к линии пересечения плоскостей шайба начнет вследствие того, что сила тяжести ее остановит. Высота, до которой доберется шайба, определяется из закона сохранения энергии и равна $h = V_v^2 / 2g$. Здесь $V_v = V \sin \beta \sin \alpha$. (3 балла) Она связана с удалением от линии пересечения плоскостей соотношением $h/L = \sin \alpha$. (3 балла) Следовательно, $L = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{V^2 \sin^2 \beta \sin \alpha}{2g} = 0,074 \text{ м} = 7,4 \text{ см}$. (2 балла за формулу и 1 балл за ответ)

9. Поскольку на экваторе планеты наблюдается невесомость то ускорение свободного падения на планете равно $a = GM/R^2$ (2 балла) $a = \omega^2 R = 4\pi^2 R/T^2$ (2 балла). Поскольку масса определяется из плотности формулой $M = 4\pi R^3 \rho / 3$ (2 балла). Отсюда для плотности планеты получаем $\rho = 3\pi / (GT^2)$ (3 балла). Подстановка численных значений дает $\rho = 8,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (1 балл).

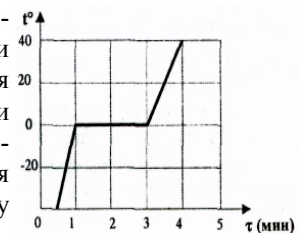
10. При выводе на орбиту космического корабля вначале из-за перегрузок период колебаний уменьшается. Затем после наступления невесомости расчет и становится бесконечным. Часы останавливаются. (10 баллов)

Молекулярная физика

1. Среднеквадратичная скорость молекул идеального одноатомного газа при температуре 100°C равна 540 м/с . Определить массу молекулы. (5 минут)

2. Идеальный одноатомный газ в количестве 1 моль сначала изотермически расширился ($T_1=300 \text{ К}$). Затем газ изохорно нагрели, повысив давление в 3 раза. Какое количество теплоты получил газ в последнем процессе? (5 минут)

3. В калориметре нагревается 200 г льда. На рисунке представлен график зависимости температуры льда от времени. Пренебрегая теплоемкостью калориметра и тепловыми потерями, определите подводимую к нему мощность из рассмотрения процессов нагревания льда и/или воды. Принять скрытую теплоту плавления льда равной $33 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$ (5 минут)



4. К.П.Д. идеальной тепловой машины, использующей азот в качестве рабочего тела 33%. Температура нагревателя 430 К . Работа, совершаемая машиной за цикл 18 кДж . Найти массу азота, если объем его в изотермическом процессе удваивался. (10 минут)

5. В вакууме закреплен горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится $0,1$ моль гелия, запертого поршнем. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г , летящая горизонтально со скоростью 400 м/с , и застревает в нем. Как изменится температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении? (10 минут)

6. Тепловая машина, рабочим телом которой является одноатомный идеальный газ работает почти по циклу Карно, только вместо адиабат в цикле используются изохорные охлаждение и нагревание газа. Нагревание происходит при объеме газа равном V_0 , а охлаждение при объеме равном $2V_0$. Во сколько раз при этом уменьшается к.п.д. тепловой машины по сравнению с к.п.д. машины, работающей по циклу Карно? (15 минут)

7. В теплоизолированном сосуде под массивным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Расстояние от поршня до дна сосуда равно h . Площадь поверхности поршня равна S . Найти период малых колебаний поршня. Масса поршня M . Атмосферное давление пренебрежимо мало. (5 минут)

8. В цилиндрическом сосуде под поршнем при температуре T находится насыщенный водяной пар. Определить массу сконденсировавшегося при изотермическом вдвигании поршня пара, если при этом совершена работа A . Молярная масса пара равна μ . (5 минут)

9. Один моль одноатомного идеального газа находится под теплоизолированным поршнем массы M в теплоизолированном сосуде с гладкими стенками. Найти теплоемкость этой системы, пренебрегая теплоемкостью сосуда и поршня. (5 минут)

10. Капилляр постоянного радиуса опускают в полностью смачивающую его жидкость, и она поднимается вверх благодаря действию сил поверхностного натяжения. Определить, какая часть работы сил поверхностного натяжения идет непосредственно на увеличение потенциальной энергии жидкости. (5 минут)

Решения

1. Поскольку кинетическая энергия молекул одноатомного газа определяется формулой $E = 3kT/2$ (3 балла) и равна $E = mv^2/2$, (3 балла) то из этих формул следует, что масса молекулы равна $m = 3kT/v^2$ (3 балла), где k - постоянная Больцмана. Подставляя численные значения получим: $m = 5,3 \cdot 10^{-26}$ кг. (1 балл)

2. Поскольку нагревание изохорное, количество полученного тепла равно изменению внутренней энергии и равно $\Delta Q = 3\nu R\Delta T/2$. (3 балла). Здесь ΔT изменение температуры. По закону Шарля $P_1/T_1 = P_2/T_2$. (3 балла). Поэтому повышение давления в три раза связано с повышением температуры также в три раза. Следовательно, $T_2 = 3T_1$ и $\Delta T = T_2 - T_1 = 2T_1$. (1 балл). Поэтому $\Delta Q = 3\nu RT_1$. (2 балла). Подстановка численных значений дает: $\Delta Q = 7479$ Дж. (1 балл).

3. Судя по графику, лед растаял за время $\Delta t = 2 \text{ мин} = 120 \text{ с}$. (3 балла). Нагреватель за это время сообщил ему количество тепла равное $\Delta Q = \lambda m$. (3 балла). Следовательно, мощность нагревателя равна $W = \Delta Q/\Delta t = \lambda m/\Delta t$. (3 балла). Подстановка численных значений дает: $W = 550$ Вт. (1 балл).

4. В цикле Карно, соответствующем идеальному тепловому двигателю тепло, передаваемое нагревателем газу, идет на совершение работы и равно $Q_n = \frac{5mT_n \ln(V_k/V_n)}{2\mu}$. (3 балла). Поскольку оно может быть найдено из

к.п.д. и совершенной работы с использованием формулы $\eta = \frac{A}{Q_n} 100\%$ (3

балла), масса используемого азота дается формулой $m = \frac{2Q_n \mu}{5T_n \ln(V_k/V_n)} = \frac{2A\mu 100\%}{5\eta T_n \ln(V_k/V_n)}$. (3 балла). Подстановка численных значений дает $m \approx 2$ кг. (1 балл).

5. Закон сохранения импульса при неупругом соударении $mv_0 = (m + M)v_n$. Отсюда $v_n = \frac{mv_0}{m + M}$ (2 балла), где m и M - соответ-

ственно масса пули и поршня, v_0 - скорость пули v_n - скорость поршня после попадания пули. Для расчета внутренней энергии одноатомного идеального газа $\Delta U = \frac{3}{2}\nu RT$ (3 балла). Поскольку газ сжимается адиабатно,

механическая энергия поршня с пулей превратится во внутреннюю энергию гелия. Поэтому $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{(m + M)v_n^2}{2}$ (2 балла). Отсюда

$\Delta T = \frac{m^2 v_0^2}{3R\nu(m + M)}$ (2 балла). Вычисления дают $\Delta T \approx 64$ К (1 балл).

6. В цикле Карно тепло газу сообщается только при изотермическом расширении и передается от газа холодильнику тоже в изотермическом процессе. В адиабатном процессе передачи тепла не происходит. Если адиабатный процесс заменить на изохорный, то увеличится количество тепла, получаемое газом от нагревателя, хотя произведенная работа не изменится. Поэтому отношение к.п.д. в двух циклах будет равно отношению Q_{1n} / Q_{2n}

(2 балла), где $Q_{1n} = \frac{3}{2}\nu RT_n \ln(V_2/V_1) + \frac{3}{2}\nu R(T_n - T_h)$ (2 балла) - количество

тепла полученное от нагревателя в изохорном и изотермическом процессах а $Q_{2n} = \frac{3}{2}\nu RT_n \ln(V_2/V_1)$ (2 балла) - количество тепла получаемое от нагре-

вателя в изотермическом процессе. Так что к.п.д. в цикле Карно больше в $N = \frac{\ln(V_2/V_1) + (1 - T_k/T_n)}{\ln(V_2/V_1)}$ (2 балла) раз. Учитывая выражение для к.п.д.

цикла Карно, получим уменьшение к.п.д. в $N = 1 + \frac{\eta}{\ln 2}$ раз (2 балла), где η - к.п.д. цикла Карно.

7. Давление газа под поршнем при условии равновесия определяется весом поршня $P_1 = \frac{Mg}{S}$ (2 балла). При смещении поршня из положения равновесия объем изменяется на величину равную $\Delta V = \Delta x S$ (2 балла). Изменение давления будет равно $\Delta P = P_1 \frac{\Delta x}{h}$ (2 балла), где Δx - смещение поршня. Возвращающая сила будет равна $F = \Delta P S = \frac{Mg \Delta x}{h}$ (2 балла). Поскольку период малых колебаний определяется формулой $T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}}$, где k - коэффициент пропорциональности между возвращающей силой и смещением, для данного случая получим: $T = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$ (2 балла).

8. Поскольку температура не изменялась, давление насыщенного пара тоже не менялось. Поэтому произведенная работа равна $A = P_n \Delta V$ (3 балла). Насыщенный пар удовлетворяет уравнению Клапейрона-Менделеева $P_n \Delta V = \frac{\Delta m}{\mu} RT$ (2 балла). Отсюда $\Delta m = \frac{P_n \Delta V \mu}{RT}$ (2 балла). Учитывая, что задана произведенная работа, получим: $\Delta m = \frac{A \mu}{RT}$ (3 балла).

9. Поскольку цилиндр теплоизолирован, и поршень может перемещаться при сообщении некоторого количества тепла, это тепло будет расходоваться на увеличение внутренней энергии газа и на работу по перемещению поршня. $\Delta Q = \Delta U + P \Delta V$ (2 балла). Для одноатомного идеального газа $\Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T$ (2 балла). Согласно уравнению Клапейрона – Менделеева

$P \Delta V = R \Delta T$ (2 балла). Отсюда $\Delta Q = \frac{5}{2} R \Delta T$ (2 балла). Следовательно, теплоемкость всей системы $C = 5R/2$ (2 балла).

10. Сила поверхностного натяжения, поднимающая жидкость, постоянна и равна весу поднятой жидкости. Расстояние, на котором действует эта сила, равно высоте столба жидкости. Произведенная этой силой работа, следовательно, равна: $A_1 = mgh$, где m - масса поднятой жидкости, h - высота столба жидкости, g - ускорение свободного падения. (5 баллов). Потенциальная энергия, которую имеет столбик жидкости, равна $A_2 = mgh/2$.

Центр тяжести жидкости был поднят только на высоту $h/2$. Следовательно, только половина работы сил поверхностного натяжения пошла на увеличение потенциальной энергии (5 баллов).

Электричество

1. Три электрона в состоянии покоя помещены в вершинах правильного треугольника со стороной 1 см. они начинают двигаться под действием сил взаимного отталкивания. Определить их предельную скорость. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряд электрона $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. (5 мин).

2. К однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 40 м приложили разность потенциалов 10 В. Каким будет изменение температуры проводника через 15 с? Удельная теплоемкость меди 380 Дж/(кг К), удельное сопротивление $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, плотность $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$. Потери тепла и изменением сопротивления пренебречь. (5 мин).

3. Электрическое поле образовано двумя неподвижными, вертикально расположенными, параллельными, разноименно заряженными непроводящими пластинами. Пластины расположены на расстоянии $d = 5 \text{ см}$ друг от друга. Напряженность поля между пластинами $E = 10^4 \text{ В/м}$. Между пластинами, на равном расстоянии от каждой из них, помещен шарик с зарядом $q = 10^{-5} \text{ Кл}$ и массой $m = 10 \text{ г}$. После того как шарик отпустили, он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснется одной из пластин. (10 мин).

4. Батарейка карманного фонаря замкнута на реостат. При сопротивлении реостата 1,65 Ом напряжение на нем 3,3 В, а при сопротивлении 3,5 Ом напряжение 3,5 В. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление батарейки. (5 мин).

5. У торца вертикально расположенного длинного соленоида на тонком не магнитном листе лежит соосно с соленоидом круглое тонкое кольцо из сверхпроводника. В начальном состоянии сила тока в витках соленоида и сила тока в кольце равны нулю. При прохождении тока по виткам соленоида вблизи торца возникает неоднородное магнитное поле. Вертикальную и радиальную составляющие вектора магнитной индукции можно в некоторой ближней к кольцу области задать с помощью соотношений: $B_z = B_0(1 - \alpha z)$, $B_r = B_0 \cdot \beta r$, где B_0 определяется силой тока в соленоиде $\alpha = 36 \text{ м}^{-1}$, $\beta = 18 \text{ м}^{-1}$. Сила тока, который начинают пропускать по виткам

соленоида, постепенно увеличивается. Определить критическое значение силы тока в соленоиде, при котором кольцо начинает подниматься над опорой. Считать массу кольца равной 100 мг, коэффициент самоиндукции кольца $L = 1,8 \cdot 10^{-8}$ Гн, площадь кольца 1 см^2 , плотность катушки соленоида $n = 10^3 \text{ м}^{-1}$. (15 мин).

6. Два последовательно соединенных гальванических элемента с одинаковыми ЭДС замкнуты на параллельно соединенные резисторы, сопротивления которых $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$. Внутреннее сопротивление второго элемента $r_2 = 0,4 \text{ Ом}$. Чему равно внутреннее сопротивление первого элемента, если напряжение на его зажимах равно нулю? (10 мин).

7. Определить энергию магнитного поля соленоида, в котором при силе тока 5 А возникает магнитный поток 0,5 Вб. (5 мин).

8. При облучении медной пластинки быстрыми α -частицами небольшая часть этих частиц в результате взаимодействия с ядрами атомов меняет направление скорости на противоположное. Какова максимальная сила взаимодействия между ядром и частицей при их сближении? (Ядро атома меди содержит 29 протонов; масса и скорость α -частиц составляют соответственно $7 \cdot 10^{-27}$ кг и $2 \cdot 10^4$ км/с; частицу считать точечной, а ядро – точечным и неподвижным. (10 мин).

9. В колебательном контуре индуктивность катушки 2,5 мГн, а емкости параллельно соединенных с ней конденсаторов 2 мкФ и 3 мкФ. Конденсаторы зарядили до напряжения 180 В и замкнули на катушку. Найти период колебаний и амплитудное значение тока через катушку. (5 мин).

10. Как с помощью сильного подковообразного магнита определить, постоянным или переменным током питается электрическая лампочка? (5 мин).

Решения

1. Предельная скорость движения электрона определяется из закона сохранения энергии. Энергия, которую имеет электрон в начальный момент, определяется из потенциала той точки, в которой он в начале находился

$E = e\varphi = \frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 a}$. Эта энергия равна кинетической энергии, в которую она

перейдет. Скорость определяется формулой $v = \sqrt{2E/m} = \frac{2e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 ma}}$. Под-

становка численных значений дает $v = 3,2 \cdot 10^2 \text{ м/с}$.

2. Учитывая, что потерями тепла и изменением удельного сопротивления можно пренебречь, используем формулы для закона Джоуля-Ленца

$\Delta Q = \frac{U^2 t}{R}$ и уравнение теплового баланса $\Delta Q = cm\Delta T$. Подставляя в них

выражения для массы проводника $m = \rho\ell S$ и его сопротивления $R = \frac{\sigma\ell}{S}$,

здесь σ - удельное сопротивление меди, получим: $c\rho\ell\Delta T = \frac{U^2 t}{\sigma\ell}$. Отсюда

для изменения температуры получим: $\Delta T = \frac{U^2 t}{c\rho\sigma\ell^2}$. Подстановка числен-

ных значений приводит к результату: $\Delta T = 16,3^0 \text{ К}$.

3. С учетом условия, $v = \sqrt{v_g^2 + v_b^2}$ (1 балл) для определения скорости в

момент касания шариком обкладки используем уравнение $v_g = a_e t$ (1 балл)

и $v_b = gt$ (1 балл). Время движения находим из соотношения

$d/2 = a_e t^2 / 2$. (1 балл). Используя второй закон Ньютона $F = ma$ (1 балл)

и формулу расчета кулоновской силы $F = qE$, (1 балл) выражаем ускорение заряда в электрическом поле $a_e = qE/m$. (1 балл). Получаем для ско-

рости формулу: $v = \sqrt{\frac{qEd}{m} + \frac{mdg^2}{qE}}$. (2 балла). Подстановка численных зна-

чений дает $v = 1,1 \text{ м/с}$. (1 балл).

4. Из закона Ома для полной цепи следует, что напряжение на реостате

равно $U = IR = \frac{ER}{R+r}$. Записывая это равенство для двух случаев измере-

ний $U_1 = \frac{ER_1}{R_1+r}$ $U_2 = \frac{ER_2}{R_2+r}$, решаем полученную систему уравнений.

Получим: $r = \frac{R_2 R_1 (U_2 - U_1)}{U_1 R_2 - U_2 R_1}$ и $E = U_1 + U_1 \frac{r}{R_1}$. Подставляя численные

значения имеем: $r = 0,2 \text{ Ом}$, $E = 3,7 \text{ В}$.

5. Значение индукции магнитного поля у торца длинного соленоида равно половине значения магнитной индукции поля внутри соленоида вдали от торцов: $B_0 = \mu_0 I n / 2$. Пусть кольцо расположено на некотором расстоянии z от торца. Результирующий магнитный поток $\Phi = B_z S + LI = B_0 (1 - \alpha z) S + LI$, где I – сила тока в кольце. Сверхпроводящее кольцо сохраняет магнитный поток. Из начальных условий $\Phi = 0$.

Следовательно, $I(z) = -\frac{B_0 (1 - \alpha z) S}{L}$. Знак «минус» указывает на то, что ток

в кольце идет в направлении, противоположном направлению тока в витках соленоида. Сила Ампера, действующая на кольцо, направлена вверх:

$F_z = F_A - mg = |I(z)| B_r 2\pi r_0 - mg = \frac{B_0^2 (1 - \alpha z) S^2}{L} 2\beta - mg$. Условие равновесия кольца $F_z = 0$, т.е. $B_0^2 (1 - \alpha z) = \frac{mgL}{2\beta S^2}$ или $(\mu_0 I n / 2)^2 (1 - \alpha z) = \frac{mgL}{2\beta S^2}$.

При $z = 0$ критическое значение индукции магнитного поля равно B_0 и,

следовательно, $I_x = \sqrt{\frac{mgL}{2\beta} \frac{2}{S\mu_0 n}}$. При такой силе тока кольцо начинает

подниматься над опорой. Подстановка численных значений дает $I_x = 11,1 \text{ А}$.

6. Ток через батареи определяется из закона Ома для полной цепи

$I = \frac{2E}{R_b + r_1 + r_2}$, (2 балла) где $R_b = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 2 \text{ Ома}$ – сопротивление внешней

цепи. (2 балла) Поскольку напряжение на зажимах первого элемента равно нулю, значит выполняется равенство $E = I r_1$. (3 балла). Следовательно,

для определения имеем уравнение $R_b + r_1 + r_2 = 2r_1$. (2 балла). Подстановка численных значений дает $r_1 = 2,4 \text{ Ом}$. (1 балл).

7. Энергия магнитного поля соленоида дается формулой $W = LI^2 / 2$. (3

балла). Для определения индуктивности соленоида выразим магнитный поток $\Phi = LI$. (3 балла). Объединяя эти формулы, получим для энергии

соленоида выражение $W = \Phi I / 2$. (3 балла). Подстановка численных данных приводит к ответу $W = 1,25 \text{ Дж}$. (1 балл).

8. Для определения максимальной силы взаимодействия между α частицей и ядром учтем, что это взаимодействие кулоновское, а так как заряды считаются точечными, $F = k \frac{q_m q_\alpha}{r^2}$, (2 балла) где r – минимальное расстояние

на которое сблизятся α частица и ядро. Для определения этого расстояния следует учесть, что на нем α частица остановится и полетит обратно. Это значит, что кинетическая энергия α частицы $T = mv^2 / 2$ (1

балл) полностью перейдет в энергию отталкивания $W = k \frac{q_m q_\alpha}{r}$. (1 балл).

Получаем уравнение для определения r $k \frac{q_m q_\alpha}{r} = \frac{mv^2}{2}$. (2 балла). Решая и

подставляя в выражение для силы, получим $F = \frac{(mv^2)^2}{4kq_m q_\alpha}$. (3 балла). Под-

становка численных значений дает: $F = 147 \text{ Н}$. (1 балл).

9. Для параллельно соединенных конденсаторов емкости складываются, и емкость в колебательном контуре имеет значение $C = C_1 + C_2 = 5 \text{ мкФ}$. (2

балла). Согласно формуле Томсона период колебаний, следовательно, равен $T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)}$. (2 балла). Для определения амплитудного

значения тока через индуктивность можно воспользоваться законом сохранения энергии $LI_m^2 / 2 = CU_m^2 / 2$. (2 балла). Отсюда $I_m = U_m \sqrt{C/L}$. (2

балла). Подставляя численные значения, получим: $T \cong 7 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ (1 балл) и $I_m \cong 8,05 \text{ А}$. (1 балл).

10. Надо поднести магнит к лампочке так чтобы нить лампочки была перпендикулярна магнитному полю, создаваемому магнитом. Из-за силы Ампера при протекании постоянного тока нить слегка прогнется, но ее смещение трудно будет заметить. (5 баллов). Если по нити течет переменный ток, она будет колебаться с частотой этого тока в удерживающих ее контактах и можно будет услышать слабое гудение. (5 баллов).

Оптика

1. Точечный источник света и его изображения, полученные от плоских зеркал, лежат в вершинах правильного шестиугольника. Сколько потребовалось зеркал и как они расположены? (5 мин)
2. На рассеивающую линзу падает пучок световых лучей. После преломления в линзе лучи пересекаются в точке на главной оптической оси, удаленной от линзы на расстоянии $b = 15$ см. Если линзу убрать, то точка пересечения лучей переместится на $x = 50$ мм. Найти фокусное расстояние линзы. (5 мин)
3. На поверхности воды плавает надувной плот шириной 4 м и длиной 6 м. Небо затянуто сплошным облачным покровом, полностью рассеивающим свет. На какой максимальной глубине под плотом должна находиться маленькая рыбка, чтобы ее не могли увидеть плавающие вокруг плота хищники? Глубиной погружения плота, рассеиванием света водой и его отражением от дна водоема пренебречь. Показатель преломления воды относительно воздуха принять равным $4/3$. (10 мин)
4. Предмет фотографируют с помощью камеры-обскуры. Глубина камеры 20 см, расстояние до предмета 30 см, диаметр отверстия камеры 2 мм. Каковы размеры мельчайших деталей предмета, различимых на снимке? (5 мин)
5. На дифракционную решетку с периодом $d = 0,01$ мм нормально к поверхности решетки падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 600$ нм. За решеткой, параллельно ее плоскости, расположена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $f = 5$ см. Чему равно расстояние между максимумами первого и второго порядков на экране, расположенном в фокальной плоскости линзы? (10 мин)
6. Поверхность некоторого металла освещается светом с длиной волны $\lambda = 350 \cdot 10^{-9}$ м. Подбором определенной задерживающей разности потенциалов запирают фототок. При изменении длины волны света на $\Delta\lambda = 5 \cdot 10^{-8}$ м задерживающую разность потенциалов пришлось увеличить на $\Delta U = 0,59$ В, чтобы фототок опять полностью прекратился. Определить заряд электрона. ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с) (10 мин)
7. Стеклоплавильная плосковыпуклая линза, положена выпуклой стороной, радиус которой 8,6 м на плоскую стеклянную пластинку. При освещении

сверху перпендикулярным монохроматическим светом, в отраженном свете наблюдаются кольца Ньютона. Радиус четвертого темного кольца 4,5 мм. Определить длину волны использованного света. (5 мин)

8. Две узкие щели расположены так близко друг к другу, что расстояние между ними трудно установить прямыми измерениями. При освещении щелей светом с длиной волны $5 \cdot 10^{-7}$ м оказалось, что на экране, расположенном на расстоянии 4 м от щелей, соседние светлые полосы интерференционной картины отстоят друг от друга на 2 см. Каково расстояние между щелями? (5 мин)
9. Мощность точечного источника монохроматического света $P_0 = 10$ Вт на длине волны $\lambda = 500$ нм. На каком максимальном расстоянии этот источник будет замечен человеком, если глаз реагирует на световой поток 60 фотонов в секунду? Диаметр зрачка $d_{зр} = 0,5$ см. (5 мин)
10. Как зависит сила давления, оказываемого светом Солнца, на какое-либо тело от расстояния этого тела до Солнца? (5 мин)

Решения

1. Угол между солнечным лучом, падающим на зеркало, и лучом отраженным равен $\beta = 30^\circ + 90^\circ = 120^\circ$. (2 балла). Поэтому угол падения луча на зеркало, который вдвое меньше него по закону отражения равен 60° . (2 балла). Зеркало, поэтому, следует отклонить от горизонта дальше, чем падающий луч на угол равный $\alpha = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$. (2 балла). Отсюда следует, что оно будет составлять с горизонталью угол в 60° , (2 балла). а с вертикалью, соответственно, 30° . (2 балла).
2. Изображение источника в рассеивающей линзе реальное, находящееся от линзы на расстоянии $d = b = 15$ см. (3 балла). Источник является мнимым, поэтому его расстояние от линзы должно быть отрицательным, и равным в данном случае $f = x - b = -10$ см. (3 балла). Используя формулу тонкой линзы $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$, получим: $F = \frac{df}{f+d} = -30$ см. (4 балла) Следовательно, фокусное расстояние линзы равно 30 см.
3. Лучи, идущие от предмета на расстоянии d , собираются на расстоянии f , которое больше фокусного расстояния, и поэтому образуют на пленке пятно диаметром δ . Из подобия треугольников получаем соотношение

$\frac{\delta}{D} = \frac{f - F}{f}$, $f(D - \delta) = FD$. (2 балла). Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$ находим: $f = \frac{Fd}{d - F}$. (2 балла). Из этих уравнений получаем

окончательно: $F = \frac{d\delta}{D}$. (2 балла). Численный расчет дает $F = 50$ мм. (1 балл). Рисунок (3 балла)

4. Точечный источник испускает свет во все стороны. В камеру-обскуру попадают только лучи, лежащие внутри конуса, ограниченного отверстием. (3 балла). По подобию прямоугольников точка, расположенная на расстоянии d от камеры-обскуры, даст на экране пятно по размерам равное $\Delta x = \frac{\ell(d + f)}{d}$, (5 баллов) где d – расстояние от предмета до камеры, f – глубина камеры, ℓ – диаметр отверстия. Подстановка численных значений дает: $\Delta x = 3,3 \cdot 10^{-3}$ м. (2 балла)

5. На экране наблюдаются светлые и темные полосы в результате интерференции световых пучков, образующихся в результате дифракции света на решетке. Прозрачную щель решетки можно представить согласно принципу Гюйгенса-Френеля совокупностью тонких светящихся нитей, параллельных краям щели, которые излучают когерентные цилиндрические волны. Поскольку в условии ничего не говорится о ширине щелей, будем их считать достаточно узкими. Светлые полосы на экране свидетельствуют о том, что волны от разных щелей приходят в эти точки в одинаковой фазе и интерferируют, давая максимум интенсивности световой волны (1 балл). Наличие рисунка с ходом лучей от двух щелей через линзу с соблюдением законов геометрической оптики, демонстрирующих путь волн интерферирующих в заданной точке экрана (1 балл). Вычислим разность хода лучей, образующих первый и второй максимумы $s_1 = d \sin \varphi_1$ $s_2 = d \sin \varphi_2$ (1 балл). Прохождение лучей через линзу не приводит к изменению их разности фаз (1 балл). Условие максимума первого и второго порядков имеет вид: $d \sin \varphi_1 = \lambda$ $d \sin \varphi_2 = 2\lambda$ (1 балл). Поскольку экран находится в фокальной плоскости линзы для координат положений первого и второго максимумов с использованием фокусного расстояния линзы $X_1 = f \tan \varphi_1$ $X_2 = f \tan \varphi_2$ (1 балл). Отсюда следует, что расстояние между максимумами $X_1 - X_2 = f(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$ (1 балл). Учтя, что при малых углах φ (малость углов $\sin \varphi = 0,06 \Rightarrow \varphi \approx 3^0$ можно проверить, используя

данные задачи) $\sin \varphi = \tan \varphi = \varphi$, (1 балл) получим: $X_2 - X_1 = f(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1) = f(2\lambda/d - \lambda/d) = f\lambda/d$ (1 балл). Подставив численные значения физических величин, выраженных в системе Си, получим ответ $X_2 - X_1 = 3 \cdot 10^{-3}$ м = 3 мм. (1 балл).

6. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид: $h\nu = A + mV^2/2$. (2 балла) Учитывая, что $v = c/\lambda$, где c – скорость света, $hc/\lambda = A + mV^2/2$ $hc/\lambda_1 = A + mV_1^2/2$. (2 балла) Энергия электрона связана с запирающим напряжением соотношениями: $mV^2/2 = eU$ $mV_1^2/2 = eU_1$ (2 балла), где e – заряд электрона. $\Delta U + U = U_1$ $\lambda - \Delta\lambda = \lambda_1$ (2 балла). Тогда $hc/\lambda = eU + A$. (2 балла). Исключая работу выхода A , находим $e = \frac{hc\Delta\lambda}{\Delta U(\lambda - \Delta\lambda)\lambda}$. (1 балл). Подставим численные значения и получим $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. (1 балл).

7. В отраженном свете наблюдается интерференция из-за разности фаз света, отраженного от нижней поверхности выпуклой линзы и света, отраженного от пластинки, находящейся под линзой. Геометрическое построение с использованием теоремы Пифагора для радиуса темного кольца и радиуса кривизны линзы дает: $R^2 = r_k^2 + (R - d)^2$ (2 балла), где d – толщина воздушной прослойки между линзой и зеркалом. Пренебрегая в этом уравнении слагаемыми, содержащими квадрат толщины прослойки, малыми по сравнению с линейными слагаемыми, получим: $2d = r_k^2/R$ (2 балла). Поскольку интерференция дает темное кольцо тогда, когда эта удвоенная толщина равна целому числу длин волн, совпадающему с номером кольца, то $2d = k\lambda$ (3 балла). Отсюда $\lambda = \frac{2d}{k} = \frac{r_k^2}{kR}$ (2 балла). Подстановка численных значений приводит к результату $\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7}$ м. (1 балл)

8. При интерференции от двух щелей разность хода для светлой полосы кратна длине волны. Для соседних светлых полос разности хода отличаются только на одну длину волны. Поскольку треугольники, образованные лучами, идущими к соседним максимумам и расстоянием между ними, подобны треугольникам, образованным расстоянием между щелями и разностью хода лучей, можно использовать приблизительную пропорцию $\frac{\lambda}{d} = \frac{x}{L}$, (4 балла) где d – расстояние между щелями, x – расстояние между

полосами, L - расстояние до экрана. Следовательно, $d = \lambda L/x$. (4 балла). Численный расчет дает $d = 10^{-4}$ м. (1 балл).

9. Энергия фотона определяется формулой $\varepsilon = h\nu$. (2 балла). Частота связана с длиной волны равенством $\nu = \frac{V}{\lambda}$. Здесь $V = \frac{c}{n}$ - скорость света в среде, n - коэффициент преломления. Подставляя две последние формулы в первую, для коэффициента преломления получим: $n = \frac{hc}{\varepsilon\lambda}$. Численный расчет приводит к результату $n = 1,5$.

10. Частота колебаний электромагнитного поля определяется исключительно источником света и не зависит от среды. (5 баллов). Поскольку скорость света в среде меньше чем в вакууме, при переходе света из вакуума в среду длина волны равная $\lambda = V/\nu$ уменьшается во столько же раз во сколько уменьшается и скорость света. (5 баллов).

Задачи заключительного этапа Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» 2010–11 уч. г.

1. Вначале спортсмен бросил гранату стоя на месте. На сколько дальше улетит граната, если перед бросанием спортсмен разбежится до скорости v . Считать, что при полете граната поднимается на максимальную высоту равную H .
2. На маленькую однородную пружинку массы m и жесткости k с высоты h падает стальной шарик массы M и подскакивает снова почти на высоту h . На какую высоту после удара подскочит пружина?
3. Имеется стакан высотой 30 см, доверху наполненный водой. На какой высоте от дна стакана следует проделать дырочку, чтобы струя, вытекающая из дырки, была на наибольшее расстояние? Каково это расстояние? Стакан стоит на горизонтальной поверхности.
4. При изобарном расширении аргона при нормальном атмосферном давлении его внутренняя энергия увеличилась на 300 Дж. Определите изменение объема аргона. Ответ выразите в литрах.
5. С одинаковой высоты упали два тела – алюминиевое и железное, находящиеся при одинаковой температуре. Какое из них при ударе нагреется до более высокой температуры, если удельная теплоемкость алюминия равна

0,88 кДж/кг К а железа равна 0,46 кДж/кг К? Поясните, как вы получили ответ.

6. В офисе работает климат-контроль. В помещение за рабочий день подается воздух в объеме 20000 м³ при температуре 18 °С и относительной влажности 50 %, забираемый с улицы. Сколько воды дополнительно надо испарить в подаваемый воздух, если на улице температура 10 °С и относительная влажность воздуха 60%? Плотность насыщающих водяных паров при 10 °С равна 9.4 г/м³, при 18 °С – 15.4 г/м³.

7. Внутри тонкостенной незаряженной проводящей сферы радиусом R находится точечный заряд Q_1 на расстоянии $R/2$ от центра сферы. Снаружи сферы находится точечный заряд Q_2 на расстоянии $2R$ от ее центра. Сфера расположена на расстоянии от Земли, значительно большем R , и соединена через ключ и источник с ЭДС E с Землей. Примем потенциал Земли за нулевой. Чему будет равен заряд сферы после замыкания ключа (то есть после соединения ее с Землей через источник) и наступления равновесия.

8. Аккумулятор с ЭДС равной 9 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом заряжают от генератора с ЭДС равной 12 В и внутренним сопротивлением 0,1 Ом. К аккумулятору параллельно присоединена электрическая лампочка сопротивлением 2 Ом. Определить силу тока в цепи генератора и лампы.

9. Максимальный заряд на обкладках конденсатора в колебательном контуре 2,5 нКл. Амплитудное значение силы тока в контуре 5 мА. Определить период колебаний.

10. На однородный стеклянный шарик радиуса $R = 1$ см падает вдоль его оси симметрично относительно нее монохроматический пучок света диаметром 1 мм. Найти диаметр светового пятна, которое при этом образуется на экране, расположенном за шариком на расстоянии $2R$ от его центра перпендикулярно оси пучка. Коэффициент преломления стекла $n = 1,5$.

11. Телескоп имеет диаметр объектива равный 2 м. Каково его угловое разрешение для лучей синего света с длиной волны 500 нм.

12. Некто наловил мух в стеклянный стакан объемом V и, чтоб они не разлетелись, закрыл стакан рассеивающей линзой, фокусное расстояние которой в точности равно высоте стакана. Определить объем тела, внутри которого летают изображения мух.

Решения

1. Поскольку высота полета гранаты не меняется, не меняется и время полета. Горизонтальная составляющая скорости увеличивается на v . Дальность полета увеличивается, следовательно, на vt , (3 балла) где t – время полета гранаты, которое определяется как удвоенное время падения с высоты H . Поскольку $H=gt_1^2/2$ (2 балла), время полета $t=2t_1=2\sqrt{2H/g}$ (2 балла). Отсюда следует, что увеличение дальности полета составляет: $\Delta\ell=2v\sqrt{2H/g}$ (3 балла).

2. Поскольку шарик после столкновения с пружинкой подскочил на высоту h , его скорость v_0 в момент отрыва от пружинки, как и скорость верхнего витка самой пружинки определяется законом сохранения энергии: $mv_0^2/2=mgh$, $v_0=(2gh)^{1/2}$. Основание пружинки в этот момент неподвижно, поэтому скорость её центра масс есть $v_0/2$. С такой начальной скоростью пружинка поднимется на высоту $h_n=(v_0/2)^2/(2g)=h/4$.

3. Пусть высота дырочки от дна стакана составляет x . Тогда дальность полета струи определяется формулой $\ell=vt$, где время полета зависит от высоты дырочки $t=\sqrt{2x/g}$. Скорость, с которой вода вылетает из отверстия, определяется высотой слоя воды над отверстием, поскольку потенциальная энергия давления $\rho g(h-x)$ слоя воды превращается в кинетическую энергию струи $\rho v^2/2$. Приравняв эти выражения, получаем для скорости истечения воды формулу: $v=\sqrt{2g(h-x)}$. Таким образом, для дальности полета струи получаем выражение: $\ell=2\sqrt{(h-x)x}$. Максимум этой функции от x наблюдается при $x=h/2$. Значит ответ на первый вопрос $x=15$ см. Дальность полета получается подстановкой этой высоты в предыдущую формулу, тогда получаем $\ell=30$ см.

4. Дано: $p=10^5$ Па; $\Delta U=300$ Дж. Процесс изобарный $\Delta Q=\Delta U+A$; где $A=p\Delta V$ – работа; $\Delta U=\frac{3}{2}\nu R\Delta T=\frac{3}{2}p\Delta V$ – изменение внутренней энергии;

$$\Delta V=\frac{2\Delta U}{3p}=\frac{2\cdot 300}{3\cdot 10^5}=2\cdot 10^{-3}\text{ м}^3=2\text{ л}$$

5. При падении тел их потенциальная энергия в момент удара переходит в кинетическую, а последняя целиком переходит во внутреннюю энергию

тел. Так как массы тел, высота подъема, а следовательно, и конечные скорости в момент удара равны, то $\Delta U_1=\Delta U_2$, или $c_1m(T_1-T)=c_2m_2(T_2-T)$; где T_1, T_2 – температуры алюминиевого и железного тел в момент удара; T – начальная температура тел. Поскольку $c_1 < c_2$, то из уравнения (1) следует $(T_1-T) > (T_2-T)$, т.е. железное тело нагревается при ударе до более высокой температуры, чем алюминиевое.

6. Масса воды в объеме V воздуха на улице $m_1=\rho_1V$ (1), Масса воды после кондиционирования в офисе $m_2=\rho_2V$ (2) (1 балл) Дополнительно нужно испарить воды $\Delta m=m_2-m_1=(\rho_2-\rho_1)V$ (3) (2 балла) Относительная влажность воздуха на улице $\phi_1=\frac{\rho_1}{\rho_{1нас}}100\%$ (4), в офисе –

$\phi_2=\frac{\rho_2}{\rho_{2нас}}100\%$ (5) (2 балла). Находим плотность водяных паров на улице и в офисе из (4) и (5), и подставляем в (3): $\Delta m=(\phi_2\rho_{2нас}-\phi_1\rho_{1нас})V$ (3 балла). Подставляем числовые данные и получаем ответ $\Delta m=41.2$ кг – (2 балла).

7. После замыкания ключа на внутренней и внешней поверхностях сферы появятся заряды q_1 и q_2 , причем $q_1=-Q_1$. Определим q_2 . Потенциал сферы создается зарядами Q_2 и q_2 , поскольку вне сферы заряды q_1 и Q_1 поле не создают. Если их убрать, распределение заряда q_2 не изменится. В поле, создаваемом зарядами Q_2 и q_2 , потенциал сферы равный E равен потенциалу в центре сферы $E=k\frac{q_2}{R}+k\frac{Q_2}{2R}$. Отсюда $q_2=\frac{ER}{k}-\frac{Q_2}{2}=4\pi\epsilon_0ER-\frac{Q_2}{2}$. Общий заряд, который получит сфера, поэтому равен $Q=q_1+q_2=-Q_1-Q_2/2+4\pi\epsilon_0RE$.

8. Поскольку генератор и аккумулятор при зарядке соединены одноименными полюсами, их ЭДС вычитаются. Поэтому из закона Ома для полной цепи следует, что ток через лампочку определяется как создаваемый только генератором, то есть формулой: $I_L=\frac{E_G}{(R+r_G)}=5,7$. Ток через аккумуля-

**Задачи Кубка г. Уфы
для старшеклассников 2011–2012 уч. г.**

лятор равен: $I_A = \frac{E_G - E_A}{(r_G + r_A)} = 10$. Ток через генератор равен сумме этих

токов: $I_G = I_L + I_A = 15,7$.

9. По закону сохранения энергии максимальный заряд и максимальный ток связаны соотношением $LI_m^2 = q_m^2/C$. Учитывая формулу Томсона

$T = 2\pi\sqrt{LC}$, получаем $T = 2\pi\frac{q_m}{I_m}$. Вычисления при данных задачи приводят к результату $T = 3,14 \cdot 10^{-6}$ с.

10. Угол поворота луча шаром определяется формулой $\psi = 2(\alpha - \beta)$. Поскольку угол падения $\alpha = d/2R$ мал, синус в законе преломления может считаться равным углу $\beta = \alpha/n$. Тогда угол расхождения крайних лучей

определяется равенством $\varphi = 2\psi = 2\frac{d}{R}\left(1 - \frac{1}{n}\right)$. Умножая его на расстояние

до экрана, получим диаметр пятна $D = 4d\left(1 - 1/n\right)$. Подстановка численных значений дает $D = 1,3$ мм.

11. Угловое разрешение телескопа определяется дифракционной картиной, которая появляется в связи с дифракцией света на отверстии телескопа. Разность хода лучей от двух соседних источников света при прохождении через отверстие телескопа не должна быть меньше длины волны света, тогда эти объекты будут выглядеть разделенными. Поскольку эта разность хода определяется только размерами отверстия при падении света на телескоп перпендикулярно его отверстию, можно написать: $\varphi = \lambda/D$. Подстановка числовых значений дает $\varphi = 2,5 \cdot 10^{-7}$ рад.

12. Поскольку линза рассеивающая, точка, стоящая на дне стакана вблизи его стенки, изображается в виде точки, расположенной на половине высоты стакана и на половине радиуса самого стакана. Пусть высота стакана h , а радиус кругового дна стакана R . Тогда объем стакана $V = \pi R^2 h$. Мухи будут летать внутри конуса, объем которого дается формулой

$V' = \frac{\pi R^2 h}{3} - \frac{\pi(R/2)^2 h/2}{3}$. Получаем $V' = \frac{7V}{24}$.

Механика

1. Скорость пули на выходе из автомата Калашникова равна 700 м/с, длина ствола автомата 40 см. Найти ускорение с которым пуля разгоняется в автомате, считая его постоянным. (5 минут)

2. На гладкой горизонтальной плоскости стоит гладкая горка. На нее налетает шайба массы m со скоростью v_0 . После соскальзывания с горки скорости шайбы и горки одинаковы. Определить массу горки. (10 минут)

3. С высоты 30 м свободно падает стальной шарик. Через 2 с после начала падения он сталкивается с неподвижной плитой, плоскость которой наклонена под углом 30° к горизонту. На какую высоту над поверхностью земли поднимется шарик после упругого удара. (5 минут)

4. К тяжелой верёвке длиной ℓ , лежащей на гладком горизонтальном столе, приложили силу F , направленную вдоль веревки. Найти натяжение верёвки на расстоянии x от того конца, к которому приложена сила. (5 минут)

5. Ракета имеет два двигателя, которые могут сообщать ей постоянные ускорения a_1 и a_2 , направленные вертикально вверх. Первый двигатель рассчитан на работу в течение времени t_1 , второй – времени t_2 , причем $a_1 > a_2$ и $t_1 < t_2$. Двигатели могут включаться как одновременно, так и последовательно. Какой порядок включения двигателей следует выбрать для того, чтобы к моменту окончания работы двигателей ракета поднялась на максимальную высоту. (15 минут)

6. К нижнему концу легкой пружины подвешены связанные невесомой нитью грузы: верхний массой 0,2 кг и нижний массой 0,1 кг. Нить, соединяющую грузы, пережигают. С каким ускорением начнет двигаться верхний груз. (10 минут)

7. На планете Плюк местный школьник решил определить ускорение свободного падения g . Он взял чашу с очень скользким сферическим дном радиусом R и положил в неподалёку от нижней точки O дна маленькую монету. Монета стала совершать колебания около точки O с частотой 0,5 Гц. Согласно расчётам школьника на планете Плюк ускорение свободного падения равно 5 м/с^2 . Определить значение R , если расчёты школьника верны. (10 минут)

8. На двух параллельных, вертикально расположенных пружинах одинаковой длины горизонтально подвешен стержень, весом которого можно пренебречь. Коэффициенты упругости пружин соответственно равны $k_1 = 0,02$ Н/м и $k_2 = 0,03$ Н/м. Расстояние между пружинами $L = 1$ м. В каком месте стержня нужно подвесить к нему груз весом P , чтобы стержень оставался горизонтальным? (5 минут)

9. На наклонной плоскости с углом наклона к горизонту α лежит тело, коэффициент трения которого о плоскость равен μ ($\mu < \operatorname{tg} \alpha$). Найти минимальную силу, которую следует приложить к телу, чтобы удержать его на плоскости. (15 минут)

10. При открывании массивной двери в первый момент приходится прикладывать достаточно большую силу, зато дальше дверь идет довольно легко. Почему? (5 минут)

Решения

1. Если ускорение считать постоянным, то для скорости пули имеем уравнение $v = at$, где t – время пролёта пули через ствол. Его можно найти через длину ствола по формуле $\ell = at^2/2$. Из этих двух уравнений следует, что $\ell = v^2/2a$. Отсюда получаем, что ускорение определяется равенством $a = v^2/2\ell$. Подставляя данные задачи, получим: $a = 612500$ м/с².

2. Пусть масса горки M . Тогда из закона сохранения импульса $mv_0 = (m - M)v$, где v – скорость горки и шайбы после столкновения, так как по условию они одинаковы, значит движутся в разных направлениях, чем и обуславливается знак – между массами. Поскольку горизонтальная плоскость и горка гладкие, трение отсутствует и выполняется закон сохранения энергии, который выглядит так: $mv_0^2 = (m + M)v^2$ Определяем из

первого равенства $v = \frac{mv_0}{(m - M)}$ и подставляя его во второе получим уравнение для определения массы горки $mv_0^2 = \frac{(m + M)m^2v_0^2}{(m - M)^2}$. Решая его получаем, что $M = 3m$.

3. Запишем уравнение для вертикальной составляющей скорости шарика после удара: $v_p = gt \sin 30^\circ = 10m/c$. Высота подъёма шарика над плитой

после удара: $h_L = v_p^2 / (2g) = 5m$. Оценим высоту подъёма шарика над землёй: $h = H - gt^2/2 + h_L = 15m$.

4. Сила, приложенная к верёвке, сообщает ей ускорение равное $a = F/\rho\ell$ где ρ – масса единицы длины верёвки. На участок длиной x действует сила $F_x = ax$. Натяжение верёвки меньше действующей силы именно на эту величину и поэтому равно: $F_2 = F(1 - x/\ell)$.

5. При одновременном включении двигателей ускорение ракеты будет равно $a_1 + a_2$ и будет действовать в течение времени t_1 . За это время ракета поднимется на высоту $h = (a_1 + a_2)t_1^2/2$ и приобретёт скорость $v = (a_1 + a_2)t_1$. Затем высота увеличится после выключения первого двигателя и общая высота подъёма будет $h_1 = a_1t_1t_2 + a_2t_2^2/2 - a_1t_1^2/2$. При последовательном включении двигателей высота подъёма при работе сначала первого двигателя а потом второго равна $h_2 = a_1t_1^2/2 + a_1t_1t_2 + a_2t_2^2/2$. а при работе сначала второго двигателя, а потом первого $h_3 = a_1t_1^2/2 + a_2t_1t_2 + a_2t_2^2/2$. Поскольку $a_2 < a_1$ $h_3 < h_2$, и кроме того видно, что $h_1 < h_2$. Следовательно наилучшим режимом работы двигателей будет режим, при котором сначала включается первый двигатель, а потом второй.

6. До пережигания нити сила упругости пружины равна сумме сил тяжести грузов: $F = (m_1 + m_2)g$. Следовательно, эта же сила действует на груз m_1 после пережигания нити. Запишем второй закон Ньютона для оси OY : $m_1g - F = m_1a$ в результате получаем: $a = -(m_2 / m_1)g = -5m/c^2$.

7. С точки зрения механики движение монеты в чаше аналогично движению груза математического маятника при его колебаниях: траектория движения обоих тел – дуга окружности, и оба движутся под действием силы тяжести и силы, перпендикулярной траектории в каждой её точке. Различие лишь в том, что у математического маятника равен длине нити и сила, перпендикулярная траектории является силой упругости нити, а в опыте школьника радиус траектории определяется радиусом внутренней поверхности чаши, а вместо силы упругости нити выступает сила упругости чаши. Следовательно, можно воспользоваться формулой частоты гармонических колебаний математического маятника, заменив в ней длину нити на радиус чаши: $\omega = \sqrt{g/R}$. Отсюда $R = g / \omega^2 \approx 0,5m$.

8. Пусть точка подвеса находится на расстоянии x от первой пружины. Тогда для того, чтобы стержень оставался горизонтальным надо, чтобы выполнялось равенство моментов сил упругости пружин относительно точки подвеса груза при их одинаковом удлинении: $k_1x = k_2(L - x)$. Отсюда

$$x = \frac{k_2L}{k_1 + k_2}. \text{ Подстановка численных значений из задачи даёт: } x = 0,6 \text{ м.}$$

9. Очевидно, что если удерживающая сила будет, кроме того, и прижимать тело к наклонной поверхности она может быть меньше. Пусть угол, составляемый ею с наклонной плоскостью, равен β . Тогда, проектируя действующие силы на направление вдоль наклонной плоскости, получим $mg \sin \alpha - \mu N - F \cos \beta = 0$. Проектирование на перпендикулярное направление даст $N - mg \cos \alpha - F \sin \beta = 0$. Решая эту систему уравнений, получим для модуля силы выражение

$$F = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\mu \sin \beta + \cos \beta}.$$

Минимальное значение для силы получится, если оба слагаемых в знаменателе одинаковы $\mu \sin \beta = \cos \beta$. Отсюда $\operatorname{tg} \beta = \mu$ и, следовательно

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}}.$$

Подставляя также и синус, выраженный через тангенс, получим для минимальной силы выражение

$$F_{\min} = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\sqrt{1 + \mu^2}}.$$

10. Вначале необходимо кроме преодоления силы трения ещё и сообщать тяжелой двери некоторое ускорение, чего потом делать не надо, поскольку дверь уже набрала некоторую скорость. Поэтому прикладываемая сила в начале открывания должна быть больше, чем в конце открывания.

Молекулярная физика

1. Найти среднюю скорость молекул в одном моле гелия, если он занимает объём 1 м^3 при давлении 10^5 Па . (5 мин)

2. Для растапливания $m_1 = 1 \text{ кг}$ льда, находившегося при температуре $t_1 = -10^0 \text{ С}$, используется водяной пар при температуре $t = 100^0 \text{ С}$. Температура образовавшейся воды равна $\Delta t = 10^0 \text{ С}$. Сколько воды получилось? Удельные теплоёмкости льда и воды соответственно $c_1 = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

и $c_2 = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, теплота плавления льда $\lambda = 335 \text{ кДж}/\text{кг}$, теплота парообразования воды $\eta = 2256 \text{ кДж}/\text{кг}$. (5 мин)

3. Некоторое количество гелия расширяется: сначала адиабатно, а затем — изобарно. Конечная температура газа равна начальной. При адиабатном расширении газ совершил работу, равную $4,5 \text{ кДж}$. Чему равна работа газа за весь процесс?(10 мин)

4. В объёме $V_1 = 3 \text{ л}$ находится $N_1 = 0,5$ моль кислорода, а в объёме $V_2 = 2 \text{ л}$ находится $N_2 = 0,5$ моль азота при температуре $T = 300 \text{ К}$. Найти максимальную работу A_{\max} , которая может быть совершена при смешивании этих газов в суммарном объёме $V_1 + V_2$ в изотермическом и адиабатическом процессах. Оба газа считать идеальными.(15 мин)

5. В закрытом сосуде находится гелий под давлением $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Масса газа 12 г . В результате охлаждения газа давление в сосуде понизилось до $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Какой стала температура гелия в сосуде после его охлаждения, если отданное им количество теплоты $7,5 \text{ кДж}$.(5 мин)

6. Определите плотность смеси, состоящей из $m_1 = 50 \text{ г}$ кислорода и $m_2 = 50 \text{ г}$ водорода при температуре $t = 20^0 \text{ С}$ и давлении $p = 9 \cdot 10^4 \text{ Па}$.(10 мин)

7. В сосуде с небольшой трещиной находится идеальный газ. В опыте давление газа уменьшилось в 6 раз, а его температура упала втрое при неизменном объёме. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в сосуде?(5 мин)

8. Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой массой 400 кг заполнен гелием. На высоте, где температура воздуха 17^0 С и давление 10^5 Па , шар может удерживать груз массой 225 кг . Какова масса гелия в оболочке шара? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объёма шара. (10 мин)

9. При выводе уравнения Клапейрона $PV = RT$ (здесь V — объём, отнесенный к одному молю газа) молекулы считаются материальными точками. Простейшие попытки учесть конечность размеров молекул реальных газов приводят к уравнению Клаузиуса $P(V - b) = RT$, где b — некоторая константа, характеризующая газ. Показать, что плотность газа, подчиняющегося уравнению Клаузиуса, не может быть сколь угодно большой, и найти ее максимальное значение. Молярную массу газа считать известной.(10 мин)

10. Оценить число молекул газа в аудитории, высота которой 4 м , ширина 10 м , длина 50 м .(5 мин)

Решения

1. Согласно основному уравнению молекулярно кинетической теории $p = \frac{1}{3}nm\bar{v}^2$. (2 балла). Концентрация $n = \frac{N_A}{V}$, (2 балла) а масса одной молекулы $m = \frac{\mu}{N_A}$. (2 балла) Поэтому $p = \frac{\mu\bar{v}^2}{3V}$. (2 балла). Отсюда $v = \sqrt{3pV/\mu}$. (1 балл). Подстановка численных значений даёт $v = 8660$ м/с. (1 балл).
2. Количество тепла, полученное льдом равно $Q_1 = m_1(c_1(0 - t_1) + c_2\Delta t + \lambda)$. (2 балла). Оно равно количеству тепла, отданному паром при превращении в воду $Q_2 = m_2(\eta + c_2(t - \Delta t))$. (2 балла). Количество образовавшейся при этом из пара воды, следовательно, равно $m_2 = \frac{m_1(c_1(0 - t_1) + c_2\Delta t + \lambda)}{\eta + c_2(t - \Delta t)}$. (3 балла). Масса образовавшейся из пара и льда воды, следовательно, равна $m = m_1 + m_2$. (2 балла). Подстановка числовых значений даёт $m = 1,151$ кг. (1 балл).
3. При адиабатном расширении совершаемая работа равна уменьшению внутренней энергии. Поскольку после изобарного расширения температура газа стала равна начальной, газ в этом процессе получил обратно то же количество внутренней энергии, которое потерял при адиабатном расширении. Гелий одноатомный газ, поэтому полученная им энергия определяется равенством: $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$. (2 балла). Изменение объёма при изобарном расширении определяется из уравнения Клапейрона-Менделеева $p\Delta V = \nu R\Delta T$. (1 балл). Совершаемая работа при изобарном расширении равна $A_2 = p\Delta V = \nu R\Delta T$. (2 балла). Но из первого уравнения следует, что $\nu R\Delta T = 2\Delta U/3 = 2A_1/3$. (2 балла). Работа газа за весь процесс, следовательно, равна $A = A_1 + A_2 = 5A_1/3$. (2 балла). Подстановка числовых значений приводит к результату: $A = 7,5$ кДж. (1 балл).
4. Для идеального газа в изотермическом процессе внутренняя энергия не меняется и максимальная работа определяется из уравнения состояния после интегрирования по формуле: $A_{1\max} = RT\left(N_1 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + N_2 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}\right)$. (2 балла). Для адиабатического процесса $A_{2\max} = -\Delta U$. (1 балл). Это при-

- водит к следующему уравнению для определения конечной температуры при адиабатическом процессе $(N_1C_{V1} + N_2C_{V2})\ln \frac{T_k}{T} + \frac{A_{1\max}}{T} = 0$. (2 балла). Здесь $C_{V1} = C_{V2} = 2,5R$ - молярные теплоёмкости кислорода и азота. Вычисления дают $T_k = 225$ К. (1 балл). Максимальная работа, совершенная при адиабатическом процессе, следовательно, определяется равенством: $A_{2\max} = U(T) - U(T_k) = \left[\frac{T - T_k}{T} \ln \frac{T}{T_k}\right]A_{1\max}$. (2 балла). Подстановка численных значений даёт для изотермического процесса $A_{1\max} \approx 1,8$ кДж, (1 балл) а для адиабатического $A_{2\max} \approx 1,6$ кДж. (1 балл).
5. Процесс изохорный, поэтому $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$. (2 балла). Из уравнения Клапейрона-Менделеева $p_1V = (m/\mu)RT_1$. (2 балла). Отданная теплота равна $Q = \frac{3m}{2\mu}R(T_1 - T_2)$. (2 балла). Учитывая первое уравнение, для T_2 получаем $T_2 = \frac{2Qp_2\mu}{3Rm(p_1 - p_2)}$. (3 балла). Подстановка численных значений даёт: $T_2 = 200,6$ К. (1 балл).
6. По закону Дальтона $p = p_1 + p_2$ (2 балла), где p_1 - парциальное давление кислорода и p_2 - парциальное давление водорода. Обозначим объём сосуда V и запишем уравнение состояния каждого газа: $p_1V = (m_1/\mu_1)RT$, $p_2V = (m_2/\mu_2)RT$. (2 балла). Иными словами $pV = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right)RT$. (2 балла). Отсюда для плотности смеси, учитывая, что $\mu_1 = 0,032$ кг/моль и $\mu_2 = 0,002$ кг/моль, получаем $\rho = \frac{m_1 + m_2}{m_2} = \frac{(m_1 + m_2)p}{RT(m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2)}$. (3 балла). Подстановка числовых значений даёт $\rho = 0,22$ кг/м³. (1 балл).
7. Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева в начале и конце опыта $p_1V = \nu_1RT_1$ (2 балла) и $p_2V = \nu_2RT_2$. (2 балла). Внутренняя энергия в начале опыта определяется равенством $U_1 = \frac{3}{2}\nu_1RT_1$, (2 балла) в конце опыта

она равна $U_2 = \frac{3}{2} v_2 RT_2$ (2 балла). Чтобы определить во сколько раз она уменьшилась разделим первое выражение на второе. Получим: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{v_1 RT_1}{v_2 RT_2} = \frac{p_1}{p_2}$ (2 балла). Следовательно, внутренняя энергия уменьшилась в шесть раз.

8. Обозначим массу гелия в оболочке шара M . Сумма масс оболочки m_1 , груза m_2 и гелия должна быть равна массе воздуха, вытесняемого шаром, чтобы он удерживался на высоте. Молярные массы воздуха $\mu_1 = 0,029$ и гелия $\mu_2 = 0,004$. Масса вытесняемого воздуха определяется из уравнения Клапейрона-Менделеева и равна $m = \frac{pV\mu_1}{RT}$ (2 балла). Здесь объём шара определяется массой гелия и равен $V = \frac{MRT}{\mu_2 p}$ (2 балла). Таким образом,

для массы гелия получаем уравнение $m_1 + m_2 + M = \frac{M\mu_1}{\mu_2}$ (3 балла). Его

решение $M = \frac{(m_1 + m_2)\mu_2}{\mu_1 - \mu_2}$ (2 балла). Вычисления приводят к результату

$M = 100$ кг. (1 балл).

9. Поскольку абсолютная температура не может быть отрицательной, наименьший объём, который может иметь моль газа, равен $V_0 = b$ (5 баллов). При этом плотность газа будет максимальной и равной $\rho = \frac{\mu}{b}$ (5 баллов). Здесь μ – молярная масса газа.

10. Число молекул газа равно числу молей газа, умноженному на число Авогадро. Таким образом $N = \frac{pVN_A}{RT}$ (8 баллов). Расчёт для данных задачи даёт $N \approx 0,5 \cdot 10^{29}$ (2 балла).

Электричество

1. Точечные заряды $q = 1$ мкКл расположены в вершинах квадрата со стороной 10 см. Какой заряд и куда надо поместить, чтобы полученная система зарядов находилась в равновесии. (5 мин)

2. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности $I_m = 5$ мА, а амплитуда колебаний заряда конденсатора $q_m = 2,5$ нКл. В момент времени t заряд конденсатора $q = 1,5$ нКл. Найдите силу тока в катушке в этот момент. (10 мин)

3. Стальной проводник диаметром 0,1 мм включен в цепь постоянного тока с силой тока 0,4 А. Как изменится напряженность электрического поля в проводнике при повышении его температуры от 273°К до 373°К . Удельное сопротивление стали при 273° равно $0,2 \cdot 10^{-7}$ Ом·м. Температурный коэффициент сопротивления стали $\alpha = 6 \cdot 10^{-3} \text{К}^{-1}$. (5 мин)

4. Маленький заряженный шарик массой 50 г, имеющий заряд 1 мкКл, движется с высоты 0,5 м по наклонной плоскости с углом наклона 30° . В вершине прямого угла, образованного высотой и горизонталью, находится неподвижный заряд 7,4 мкКл. Чему равна скорость шарика у основания наклонной плоскости, если его начальная скорость равна нулю? Трением пренебречь. (10 мин)

5. Проволочное кольцо диаметра d , имеющее сопротивление R , помещено в переменное однородное магнитное поле, перпендикулярное его плоскости. Магнитная индукция нарастает линейно за время t_1 от нуля до значения B и, затем, линейно уменьшается до нуля за время t_2 . Какое количество теплоты выделится в кольце? (5 мин)

6. У торца вертикально расположенного длинного соленоида на тонком немагнитном листе лежит соосно с соленоидом круглое тонкое кольцо из сверхпроводника. При прохождении тока по виткам соленоида вблизи торца возникает неоднородное магнитное поле. Вертикальную и радиальную составляющие вектора магнитной индукции можно в некоторой ближней к кольцу области задать с помощью соотношений $B_z = B_0(1 - 36z)$, $B_r = B_0 \cdot 18r$, где B_0 определяется силой тока в соленоиде. Сила тока, пропускаемого по виткам соленоида постепенно увеличивается. Определить критическое значение силы тока в соленоиде, при котором кольцо начинает подниматься над опорой. Масса кольца $m = 100$ мг, коэффициент самоиндукции кольца $L = 1,8 \cdot 10^{-8}$ Гн, площадь кольца $S = 1 \text{см}^2$, плотность катушки соленоида $n = 10^3 \text{м}^{-1}$, магнитная постоянная $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{Гн/м}$. (15 мин)

7. По двум длинным прямым проводникам, находящимся на расстоянии 5 см друг от друга, протекают токи силой в 10 А в одном направлении. Определить индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от одного из проводников и на расстоянии 4 см от другого. (5 мин)

8. Вакуумный диод, у которого анод (положительный электрод) и катод (отрицательный электрод) — параллельные пластины, работает в режиме, когда между током и напряжением выполняется соотношение $I = cU^{3/2}$ (где c — постоянная величина). Во сколько раз увеличится сила, действующая на анод из-за удара электронов, если напряжение на диоде увеличить в два раза? Начальную скорость вылетающих электронов считать равной нулю. (10 мин)

9. Рамка площадью 300 см² имеет 200 витков и вращается с частотой 50 об/сек в однородном магнитном поле с индукцией $1,5 \cdot 10^{-2}$ Тл. Какая ЭДС (по частоте и амплитуде) вырабатывается таким генератором? (5 мин)

10. Как будут вести себя два проводника с токами, расположенные перпендикулярно друг другу? (5 мин)

Решения

1. Из соображений симметрии следует, что заряд противоположного знака должен быть расположен в центре квадрата. Сила, с которой отталкиваются заряды одинакового знака при отсутствии этого заряда, равна векторной сумме сил, действующих на заряд со стороны всех остальных зарядов:

$F = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$. (2 балла) Если обозначить сторону квадрата a , то величина этой силы определяется равенством: $F = (kq^2 / a^2)(\sqrt{2} + 1/2)$. (2 балла)

Для равновесия необходимо, чтобы величина заряда, помещенного в центр квадрата, была достаточна для равенства этих сил. Следовательно, она определяется равенством:

$k \frac{q^2}{a^2} (\sqrt{2} + 1/2) = k \frac{2qq_1}{a^2}$. (4 балла) Из него следует,

что $q_1 = q(\sqrt{2} + 0,5) \cdot 2 = 0,95$ мкКл. (2 балла)

2. В идеальном контуре сохраняется энергия колебаний:

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \quad (1); \quad \frac{q_m^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2} \quad (2). \quad (4 \text{ балла})$$

Из равенства (1) следует $I^2 = I_m^2 - \frac{q^2}{LC}$. (2 балла)

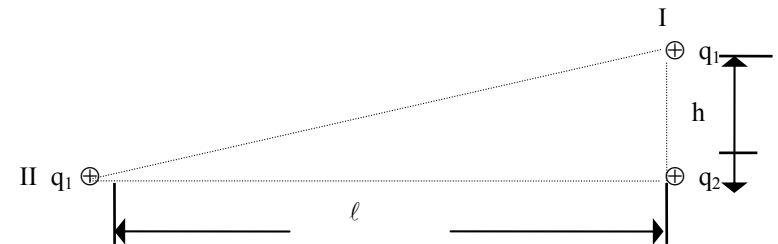
Из равенства (2) следует $LC = \frac{q_m^2}{I_m^2}$. (2 балла)

В результате получаем: $I = I_m \sqrt{1 - \frac{q^2}{q_m^2}} = 4,0 \text{ мА}$. (2 балла)

3. Сопротивление проводника определяется формулой $R = \rho \ell / S$. (2 балла) Разность потенциалов равна $U = IR = I\rho \ell / S$. (2 балла) Напряженность электрического поля при начальной температуре $E_0 = \frac{U}{\ell} = \frac{I\rho_0}{S}$. (2 балла)

Поскольку зависимость удельного сопротивления от температуры дается формулой $\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta t)$, (2 балла) то $E = I\rho_0(1 + \alpha\Delta t)/S$. Изменение напряженности, следовательно $E/E_0 = 1 + \alpha\Delta t = 1,6$. (2 балла)

4.



Закон сохранения энергии для двух положений заряженного шарика q_1 : $E_{p1} + E_{p2} = E_p + E_k$. (3 балла) где E_{p1} — потенциальная энергия заряда q_1 в поле тяготения (положение I), E_{p2} — потенциальная энергия заряда q_1 в электрическом поле заряда q_2 (положение I), E_p — потенциальная энергия зарядов в положении II, E_k — кинетическая энергия заряда q_1 в положении II, поэтому $mgh + kq_1q_2/h = mv^2/2 + kq_1q_2/\ell$ (3 балла). Выразим ℓ из прямоугольного треугольника: $\ell = h/\text{tg}\alpha$, где $\alpha = 30^\circ$. (2 балла).

Тогда $v = \sqrt{2gh + \frac{2kq_1q_2}{m} \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{\ell} \right)} = 3,5 \text{ м/с}$. (2 балла)

5. При изменении потока магнитной индукции через сечение кольца возникает Э.Д.С. индукции равная в данном случае $\varepsilon = \frac{B\pi d^2}{4t_1} + \frac{B\pi d^2}{4t_2}$. (3 балла) Она

вызывает появление постоянного тока равного $I = \frac{B\pi d^2(t_1 + t_2)}{4Rt_1t_2}$. (3 балла)

При протекании такого тока через кольцо выделяется количество теплоты равное $Q = \frac{(B\pi d^2)^2(t_1 + t_2)}{16Rt_1t_2}$. (4 балла)

6. Значение индукции магнитного поля у торца длинного соленоида равно половине значения магнитной индукции поля внутри соленоида вдали от торцов: $B_0 = \mu_0 In/2$. (2 балла). Пусть кольцо расположено на некотором расстоянии от торца. Результирующий магнитный поток $\Phi = B_z S + LI = B_0(1 - 36z)S + LI$, (2 балла) где I – сила тока в кольце. Сверхпроводящее кольцо сохраняет магнитный поток. Из начальных условий $\Phi = 0$. Следовательно, $I(z) = -B_0(1 - 36z)S/L$. (2 балла) Сила Ампера, действующая на кольцо направлена вверх: $F_z = |I(z)|B_r 2\pi r_0 - mg$. (2 балла) Условие равновесия кольца $F_z = 0$. Критическое значение индукции магнитного поля равно B_0 и, следовательно, $I_0 = \sqrt{\frac{mgL}{36 S\mu_0 n}} = 11,1$. (2 балла)

При такой силе тока кольцо начинает подниматься над опорой.

7. По численным данным задачи видно, что в плоскости, перпендикулярной проводникам сечения проводников и точка, в которой нужно найти поле, находятся в вершинах прямоугольного треугольника. Поэтому индукция магнитного поля, создаваемого одним проводником будет перпендикулярна индукции магнитного поля, создаваемого другим проводником. Следовательно, модуль индукции поля, создаваемого обоими проводниками, будет равен корню квадратному из суммы квадратов каждого из полей. (3 балла). Индукция магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника с током задается формулой: $B = \mu_0 I / (2\pi r)$. (1 балл). Поэтому $B_1 = \mu_0 I / (2\pi r_1)$ (1 балл) и соответственно $B_2 = \mu_0 I / (2\pi r_2)$. (1 балл). Складывая эти индукции, получим: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2}} \right) = \frac{\mu_0 I \ell}{2\pi r_1 r_2} = 0,83 \cdot 10^{-5}$ Тл

$= 8,3$ мкТл. (4 балла).

8. Второй закон Ньютона: $F \Delta t = \Delta p$; $F = \Delta p / \Delta t$; (1 балл). формула расчета импульса тела (заряда): $p = m v N$; заряд любой частицы кратен заряду электрона $N = I \Delta t / |e|$. (2 балла) Значит, $F = m v I / |e|$ (2 балла). Теоремы о кинетической энергии: $\Delta E_k = A$. Работа электрического поля: $A = |e| U$.

Значит, $\frac{m v^2}{2} = \frac{|e| U}{m}$ и $v = \sqrt{2|e| \frac{U}{m}}$ (2 балла). После преобразований получаем формулу для расчета силы: $F = c U^2 \sqrt{2m / |e|}$ (2 балла). Для двух значе-

ний напряжений: $F/F_0 = (U/U_0)^2 \Rightarrow F/F_0 = 4$. (1 балл) Следовательно, сила, действующая на анод из-за удара электронов, увеличится в 4 раза.

9. Частота возникающей в рамке Э.Д.С. равна частоте обращения рамки. (4 балла) Следовательно, создается Э.Д.С. с частотой 50 Гц. Амплитуда возникающей Э.Д.С. определяется из закона электромагнитной индукции и равна $\varepsilon_{\max} = BSN2\pi n$. (6 баллов) Здесь N - число витков рамки, n - частота обращения рамки.

10. Если проводники расположены перпендикулярно друг другу, то магнитное поле создаваемое одним из проводников будет действовать на участки другого проводника согласно правилу левой руки. (5 баллов) Поэтому проводники будут поворачиваться так, чтобы стать параллельно друг другу и чтобы токи в них стали сонаправлены. (5 баллов)

Оптика

1. В цистерне с сероуглеродом на глубине 26 см под поверхностью воды расположен точечный источник света. Вычислите площадь круга на поверхности жидкости, в пределах которого возможен выход лучей в воздух. Показатель преломления сероуглерода равен 1,64. (5 мин).

2. Объектив фотоаппарата имеет фокусное расстояние 5 см, а размер кадра 24 x 35 мм. С какого расстояния надо сфотографировать чертеж размером 480 x 600 мм, чтобы получить максимальный размер изображения? Какая часть площади кадра будет при этом занята изображением? (10 мин).

3. Дифракционная решетка содержит 5000 штрихов на 1 см. Какой максимальный порядок спектра может наблюдаться с ее помощью для света с длиной волны 760 нм (красный свет)? (5 мин).

4. Фотоэффект у данного металла начинается при частоте излучения $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Найдите частоту падающего света, если вылетающие с поверхности металла фотоэлектроны полностью задерживаются сеткой, потенциал которой относительно металла составляет 3 В. (10 мин).

5. Коэффициент отражения света от границы раздела «воздух–стекло» можно обратить в нуль, если нанести на поверхность стекла покрытие с коэффициентом преломления n («просветление оптики»). Для излучения скольких длин волн в видимом диапазоне ($400 \text{ нм} \leq \lambda \leq 760 \text{ нм}$) «просветляющим» будет покрытие толщиной $d = 1000 \text{ нм}$? ($n = 1,69$). (5 мин).

6. Фонарик испускает пучок лучей, сходящихся на расстоянии 1 м от него в маленькое пятно. На пути лучей поместили два плоских зеркала квадрат-

ной формы так, что линия их соприкосновения находится на оси пучка на расстоянии 70 см от фонарика и перпендикулярна оси пучка. Плоскости зеркал перпендикулярны друг другу, а одно из зеркал составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с осью пучка. На каком расстоянии от фонарика сойдется теперь пучок? (Чертеж и расположение изображений обязательно). (10 мин).

7. Мощность точечного источника монохроматического света $P_0 = 10$ Вт на длине волны $\lambda = 500$ нм. На каком максимальном расстоянии этот источник будет замечен человеком, если глаз реагирует на световой поток 60 фотонов в секунду? Диаметр зрачка $d_{зр} = 0,5$ см. (5 мин).

8. Для разгона космических аппаратов в открытом космосе и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус - скрепленный с аппаратом легкий экран большой площади из тонкой пленки, которая зеркально отражает солнечный свет. Какой должна быть площадь паруса S , чтобы аппарат массой 500 кг (включая массу паруса) под действием давления солнечных лучей изменил скорость на 10 м/с за 24 часа? Мощность W солнечного излучения, падающего на 1 м^2 поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт. (10 мин).

9. Имеется 8 кг радиоактивного цезия. Определить массу не распавшегося цезия после 135 лет радиоактивного распада, если его период полураспада 27 лет. (5 мин).

10. Длина волны красного света в воде равна длине волны зеленого света в воздухе. Какой цвет увидит человек под водой, если ее осветить красным светом. Объяснить почему. (5 мин).

Решения

1. Выход лучей света в воздух возможен, если угол падения их на поверхность раздела сероуглерод-воздух меньше предельного угла полного внутреннего отражения для сероуглерода, который определяется равенством: $\text{Sin} \alpha = 1/n$. (4 балла) Радиус круга образованного выходящими лучами находится из геометрии задачи и равен $R = htg \alpha = \frac{hn}{\sqrt{n^2 - 1}}$. (3 балла). Пло-

щадь круга соответственно равна $S = \pi R^2 = \frac{\pi h^2 n^2}{n^2 - 1}$. (2 балла). Подстановка численных значений дает: $S = 0,337$ м. (1 балл).

2. Записываем формулу для линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$. (3 балла). Из отношения

высот кадра (h) и чертежа (H) найдем увеличение: $k = \frac{h}{H} = \frac{1}{20} = \frac{d'}{f} - 1$. (2

балла). Найдем расстояние до чертежа при съёмке: $d = \frac{1+k}{k} F = 105$ см. (3 балла). Найдем отношение площадей изображения и кадра $\eta' = 6/7$. (2 балла).

3. Период решетки определяется формулой $d = \frac{L}{n}$. (2 балла). Формула дифракционной решетки имеет вид $d \text{Sin} \alpha = k \lambda$. (3 балла). Ясно, что синус угла не может быть больше единицы. Поэтому максимальный порядок спектра равен целой части выражения $k = \frac{L}{\lambda n}$. (3 балла). Подстановка численных значений дает $k = 2$. (2 балла).

4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта с учетом задерживающего потенциала: $h\nu = A + E_k$; $E_k = eU$; (4 балла), условие красной границы фотоэффекта $h\nu_0 = A$, (3 балла), тогда $\nu = \nu_0 + \frac{eU}{h} = 1,32 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$. (3 балла).

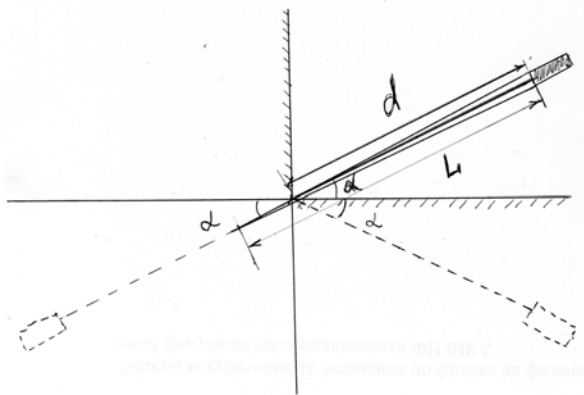
5. Просветление оптики будет наблюдаться, если отраженный от покрытия луч света и прошедший через покрытие и отраженный от стекла луч на поверхности стекла будут находиться в противофазе. Это условие записывается в виде формулы $2d = \frac{(2k+1)\lambda}{2n}$. (5 баллов). Для границ области ви-

димого диапазона получаем: $k_1 = \frac{2dn}{\lambda_1} - \frac{1}{2} = 7,95$ $k_2 = \frac{2dn}{\lambda_2} - \frac{1}{2} = 3,94$ (4

балла). Внутри этой области лежат всего четыре целых числа. Так что, для четырех значений длин волн будет наблюдаться просветление. (1 балл).

6. Обозначим расстояние, на котором лучи сходятся, $L = 1$. Расстояние от фонарика до линии пересечения зеркал $d = 70$ см. Поскольку линия пересечения зеркал находится на оси пучка световое пятно будет также лежать на отражении этой оси на расстоянии равном $L - d$ (2 балла) от линии пересечения зеркал. Из рисунка видно, что отражение луча, идущего по оси пучка, проходит по оси пучка в обратном направлении. Поэтому расстоя-

ние пятна от фонарика равно $R = d - (L - d) = 2d - L$. (2 балла). Подстановка численных значений дает $R = 0,4$ м. (1 балл).



(За рисунок 5 баллов).

7. Обозначим плотность светового потока, замечаемого человеком $n = 60$.

Энергия одного фотона равна $\frac{hc}{\lambda}$ (2 балла). Число фотонов вылетающих

во все стороны от источника в секунду равно $N = \frac{p\lambda}{hc}$. (1 балл) В единицу

угла вылетает соответственно $\frac{N}{4\pi} = \frac{p\lambda}{4\pi hc}$ фотонов (1 балл). Угловой раз-

мер зрачка на расстоянии L от источника равен $\alpha = \frac{d^2}{L^2}$. (2 балла). Следо-

вательно, в секунду в глаз попадает число фотонов равное $n = \frac{pd^2\lambda}{4\pi hcL^2}$ (1

балл). Чтобы источник был замечен он должен находиться на расстоянии

не больше, чем $L = d\sqrt{\frac{p\lambda}{4\pi hc n}}$. (2 балла). Подстановка численных значений

дает $L = 0,93 \cdot 10^6$ м. (1 балл).

8. Давление света при его зеркальном отражении: $p = 2W/c$. (2 балла).

Сила давления: $F = 2WS/c$ (2 балла). Второй закон Ньютона: $F = ma$ (1

балл). Скорость равноускоренного движения (при $v_0 = 0$): $v = at$. (1 балл).

Тогда $F = ma = \frac{mv}{t}$; (2 балла), получен ответ:

$$S = \frac{Fc}{2W} = \frac{mvc}{2tW} = \frac{500 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 1370} = 6336 \text{ м}^2. (2 балла)$$

9. За время равное периоду полураспада распадается половина всего количества ядер цезия. Число оставшихся ядер определяется формулой радиоактивного распада $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$. (5 баллов). Поскольку масса не распавшихся ядер не меняется, вместо N можно поставить m . (1 балл). Отсюда,

масса не распавшегося цезия определяется формулой $m = m_0 2^{-\frac{t}{T}}$. (3 балла).

Она равна $m = 0,25$ кг. (1 балл).

10. Видимый человеком цвет определяется не длиной волны, которая изменяется при переходе из одной среды в другую, а частотой света, которая зависит только от источника. Так что красный свет так и останется красным (10 баллов).

Задачи заключительного этапа Республиканского турнира «Кубок Башкортостана по физике» 2011–12 уч. г.

1. Два шарика роняют с высоты h последовательно один за другим на горизонтальную плиту. Масса второго шарика пренебрежимо мала по сравнению с массой первого. На какую высоту подскочит второй шарик, если все удары абсолютно упругие?

2. Нить маятника длиной $l = 1$ м, к которой подвешен груз массы $m = 0,1$ кг, отклонена на угол α от вертикального положения и отпущена. Сила натяжения нити T в момент прохождения маятником положения равновесия равна 2 Н. Чему равен угол α ?

3. Катушка массой M с намотанной на нее легкой нитью стоит на горизонтальном столе так, что ее ось горизонтальна, и упирается в два гвоздя, вбитых вертикально в стол. Один конец нити закреплен на катушке, а к свободному концу нити, свешивающемуся в прорезь стола, привязан груз. При каких значениях массы груза система будет в равновесии? Радиус барабанов катушки R , радиус намотки нити r . Коэффициент трения катушки о гвозди μ_1 , коэффициент трения катушки о поверхность стола μ_2 .

4. В закрытом с обоих концов горизонтальном цилиндре находится поршень, разделяющий цилиндр на две части. В одной части цилиндра нахо-

дятся 3 г водорода, в другой 16 г кислорода. Какую часть объема цилиндра занимает водород? Объем поршня считать очень малым. Трение не учитывать.

5. Некоторое количество гелия расширяется: сначала адиабатно, а затем — изобарно. Конечная температура газа равна начальной. При адиабатном расширении газ совершил работу, равную 4,5 кДж. Чему равна работа газа за весь процесс?

6. Начертить график изменения плотности газа от температуры в изобарном процессе и график зависимости плотности газа от давления в изотермическом процессе.

7. Плоский конденсатор зарядили до $U = 200$ В и отключили от источника. Каким станет напряжение на нем, если расстояние между пластинами увеличить от 0,2 мм до 0,7 мм и заполнить его слюдой с диэлектрической проницаемостью 7?

8. На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жёсткая тонкая рамка в виде равностороннего треугольника ADC со стороны, равной a . Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции которого перпендикулярен стороне CD и по модулю равен B . Какой силы ток нужно пропустить по рамке (по часовой стрелке), чтобы она начала приподниматься относительно стороны CD, если масса рамки m ?

9. Игрушечный электропоезд массой $m = 500$ г с двигателем постоянного тока питается через рельсы от источника тока с напряжением $U_0 = 5$ В и движется с горизонтальной скоростью $v_0 = 20$ см/с. В некоторый момент времени источник отключают, а рельсы замыкают резистором с сопротивлением $R = 50$ Ом. Найдите тормозной путь поезда, считая, что его колеса не проскальзывают. Сопротивлением обмоток электродвигателя, трением в подшипниках и другими потерями в двигателе пренебречь.

10. На рассеивающую линзу падает пучок световых лучей. После преломления в линзе лучи пересекаются в точке на главной оптической оси, удаленной от линзы на расстоянии $b = 15$ см. Если линзу убрать, то точка пересечения лучей переместится на $x = 50$ мм. Найти фокусное расстояние линзы.

11. На дифракционную решетку с периодом $d = 0,01$ мм нормально к поверхности решетки падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 600$ нм. За решеткой, параллельно ее плоскости, распо-

ложена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $f = 5$ см. Чему равно расстояние между максимумами первого и второго порядков на экране, расположенном в фокальной плоскости линзы?

12. Каково максимальное число фотонов в секунду испускается мобильным телефоном, работающим на частоте 100 МГц, если мощность аккумулятора 0,5 Вт.

Решения

1. После удара первого шарика о плиту он отскочит от нее со скоростью $v_1 = \sqrt{2gh}$. (2 балла). С такой же скоростью на него будет налетать второй меньший шарик. Поскольку масса меньшего шарика мала по сравнению с массой первого шарика, удар между ними можно рассматривать в системе отсчета, связанной с первым шариком. В этой системе отсчета скорость второго шарика после упругого удара с первым равна $v_2 = 2v_1$. (3 балла). Относительно плиты второй шарик, следовательно, будет двигаться со скоростью $v = v_2 + v_1 = 3v_1$. (3 балла). Высота на которую он подскочит равна $H = 9h$. (2 балла).

2. На основании второго закона Ньютона, ускорение, вызванное суммой действующих на груз сил тяжести и натяжения нити, равно величине центростремительного ускорения: $\alpha = \frac{V^2}{l} = \frac{1}{m}(T - mg)$. (3 балла). За-

кон сохранения механической энергии для груза маятника: в состоянии максимального отклонения энергия является потенциальной, (U), а в момент прохождения положения равновесия — кинетической (за начало отсчета U выбрано нижнее положение груза): $mg l(1 - \cos\alpha) = \frac{mV^2}{2}$. (3 балла). По-

лучен ответ в алгебраической и численной форме: $\cos\alpha = \frac{3}{2} - \frac{T}{2mg}$, $\alpha = \arccos\frac{1}{2} = 60^\circ$. (4 балла)

3. Допустим, что существует масса m_0 такая, что для массы груза $m > m_0$ катушка начнет проскальзывать. При массе груза $m = m_0$ сила трения катушки о гвозди $F_1 = \mu_1 N_1$, (1 балл) где N_1 — сила нормального давления катушки на гвозди, а сила трения о стол $F_2 = \mu_2 N_2$, (1 балл) где N_2 — сила нормального давления катушки о стол. Запишем для катушки второй закон Ньютона в проекции на координатные оси:

$F_2 - N_1 = 0$ $N_2 + F_1 - Mg - T = 0$. (2 балла). Натяжение нити $T = m_0 g$. (1 балл). Момент приложенных к катушке сил относительно оси катушки равен нулю, так как катушка находится в равновесии $Tr - F_1 r - F_2 R = 0$. (1 балл). Решая систему полученных уравнений имеем $m_0 = M \frac{\mu_2(1+r\mu_1/R)}{r/R - \mu_2}$.

(1 балл). Таким образом, если $\mu_2 < r/R$, то система будет в равновесии при $m < m_0 = M \frac{\mu_2(1+r\mu_1/R)}{r/R - \mu_2}$, (2 балла) а при $m > m_0$ катушка будет вращаться. Если увеличивать μ_2 , приближая его к r/R , то m_0 будет неограниченно возрастать. (1 балл).

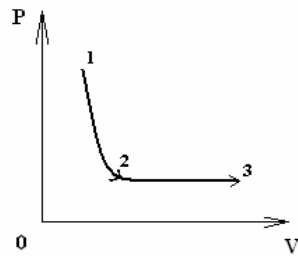
4. Поскольку поршень подвижен и объем его очень мал можно считать, что давление и температура в обеих частях цилиндра одинаковы. Для водорода и кислорода можно написать уравнения Клапейрона – Менделеева

$$PV_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT \quad PV_2 = \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad (4 \text{ балла}).$$

Поскольку полный объем цилиндра равен сумме объемов водорода и кислорода, искомое отношение равно

$$\eta = \frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{m_1 \mu_2}{m_1 \mu_2 + m_2 \mu_1} \quad (4 \text{ балла}).$$

Подстановка численных значений дает: $\eta = \frac{3}{4}$. (2 балла). Таким образом, три четверти цилиндра занимает водород.



5. Работа за весь процесс равна сумме работ на каждом из участков, знание первого закона термодинамики, умение сопроводить решение рисунком в системе координат PV.

$$A_{123} = A_{12} + A_{23}; \Delta U = A_{\text{вн.с.}} + Q; A_{12} = -A_{\text{вн.с.}}$$

При адиабатном процессе нет теплообмена.

$$\text{Так как } Q_{12} = 0, \text{ то } A_{12} = -\Delta U_{12}. \Delta U_{12} = 3/2 \cdot \nu R \Delta T_{12}. \text{ Значит, } A_{12} = -3/2 \cdot \nu R \Delta T_{12} \Rightarrow (3 \text{ балла}) A_{12} = -3/2 \cdot \nu R (T_2 - T_1) \Rightarrow$$

$$A_{12} = 3/2 \cdot \nu R (T_1 - T_2). \text{ Работа при изобарном процессе } A_{23} = \nu R \Delta T_{23} \Rightarrow$$

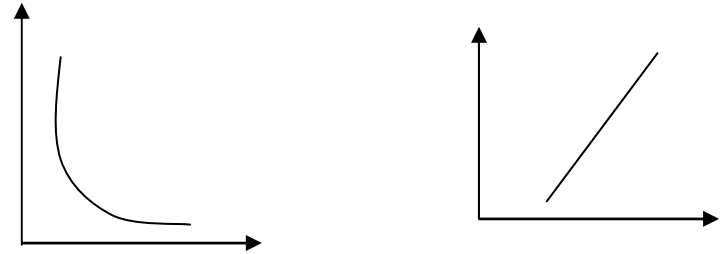
$$A_{23} = \nu R (T_3 - T_2). (3 \text{ балла}). \text{ Так как по условию } T_3 = T_1, \text{ то } A_{23} = \nu R (T_1 - T_2)$$

$$A_{123} = 3/2 \cdot \nu R (T_1 - T_2) + \nu R (T_1 - T_2) = 5/2 \nu R (T_1 - T_2). \text{ Из формулы}$$

$$A_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_2) \text{ выражаем } \nu R = \frac{2A_{12}}{3(T_1 - T_2)}. (3 \text{ балла}). \text{ Тогда}$$

$$A_{123} = 5/3 A_{12} = 7500 \text{ Дж. (1 балл).}$$

6. Выражая из уравнения Клапейрона-Менделеева плотность газа как отношение массы к объему получим: $\rho = \frac{P\mu}{RT}$. (2 балла). Искомые графики будут иметь вид:



7. Поскольку конденсатор после зарядки отключили от источника, его заряд не может измениться. Следовательно, напряжение на нем станет равным $U_1 = \frac{CU}{C_1}$. (3 балла) Емкость же пропорциональна диэлектрической

проницаемости диэлектрика и обратно пропорциональна расстоянию между пластинами, поэтому $C_1 = \frac{\epsilon Cd}{d_1}$. (3 балла). Отсюда искомое значение

$$\text{напряжения на конденсаторе будет даваться формулой: } U_1 = \frac{Ud_1}{\epsilon d}. (3 \text{ балла}).$$

Подстановка числовых значений приведет к результату $U_1 = 100 \text{ В}$. (1 балл).

8. Пусть по рамке течет ток I . На стороны рамки действует сила Ампера. На сторону AC: $F_{A1} = IaB \sin(\pi - \alpha) = \frac{1}{2} IaB$; (2 балла). На сторону AD:

$$F_{A2} = IaB \sin \alpha = \frac{1}{2} IaB; (2 \text{ балла}). \text{ На сторону CD: } F_{A3} = IaB; (2 \text{ балла}).$$

Суммарный момент этих сил относительно оси CD

$$N_A = F_A \frac{a\sqrt{3}}{4} + F_A \frac{a\sqrt{3}}{4} = \frac{a^2 BI \sqrt{3}}{4}. (1 \text{ балл}). \text{ Момент силы тяжести}$$

$$N_g = -\frac{mga}{2\sqrt{3}}. (1 \text{ балл}). \text{ Условия отрыва } N_A + N_g \geq 0, \frac{a^2 BI\sqrt{3}}{4} \geq \frac{mga}{2\sqrt{3}}. (1$$

балл). Отсюда, $I \geq \frac{2mg}{3aB}$. (1 балл). Допускается ответ в виде равенства.

9. ЭДС индукции пропорциональна скорости изменения потока, поэтому напряжение на клеммах двигателя пропорционально скорости движения поезда: $U = U_0 \frac{v}{v_0}$. Мощность, которую вырабатывает двигатель работающий в режиме генератора, целиком выделяется на резисторе (трением пренебрегаем) и определяется законом Джоуля-Ленца: $P = U \frac{U}{R} = \frac{U_0^2 v^2}{Rv_0^2}$.

Легко заметить, что эта формула означает, что тормозящая сила пропорциональна скорости: $F = -\frac{U_0^2 v}{Rv_0^2}$. Таким образом, полный импульс силы за

время торможения и тормозной путь связаны следующим соотношением:

$$mv_0 = \frac{U_0^2 L}{Rv_0^2}. \text{ Отсюда тормозной путь равен } L = \frac{Rmv_0^3}{U_0^2}. \text{ Подстановка чис-$$

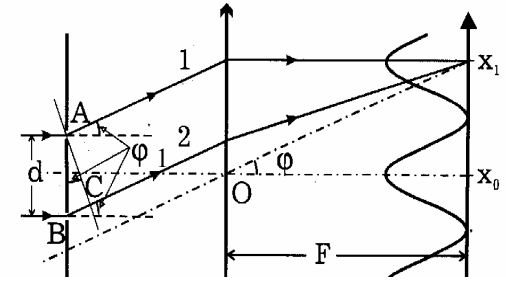
ленных значений дает $L = 8 \text{ мм}$.

10. Поскольку рассеивающая линза удаляет изображение, после ее удаления точка схождения лучей приблизится к тому месту, где линза стояла. Используя формулу тонкой линзы для этого случая можно написать:

$$-\frac{1}{b-x} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{F}. \text{ Отсюда фокусное расстояние линзы равно: } F = \frac{(b-x)b}{x}. \text{ Подстановка численных значений дает } F = 0,3 \text{ м}.$$

11. На экране наблюдаются светлые и темные полосы в результате интерференции световых пучков, образующихся в результате дифракции света на решетке. Прозрачную щель решетки можно представить согласно принципу Гюйгенса Френеля совокупностью тонких светящихся нитей, параллельных краям щели, которые излучают когерентные цилиндрические волны. Поскольку в условии ничего не говорится о ширине щелей, будем считать их достаточно узкими. Светлые полосы на экране свидетельствуют о том, что волны от разных щелей приходят в эти точки в одинаковой фазе и интерферируют, давая максимум интенсивности световой волны. На рис.

показан ход лучей 1 и 2 (луч – направление распространения световой волны), образующих интерференционный максимум первого порядка на расстоянии X_1 от центрального (нулевого) максимума. Ход лучей, образующих второй максимум, строится аналогично, только лучи 3 и 4 пойдут под большим по сравнению с φ_1 углом φ_2 по отношению к главной оптической оси линзы. Разность хода лучей s_1 и s_2 , образующих первый и второй максимумы: $s_1 = BC = d \sin \varphi_1$, $s_2 = d \sin \varphi_2$. Прохождение лучей через линзу не приводит к изменению их разности фаз. Условие интерференционных максимумов первого и второго порядков: $d \sin \varphi_1 = \lambda$, $d \sin \varphi_2 = 2\lambda$. Из рис. видно, что: $X_1 = f \tan \varphi_1$, $X_2 = f \tan \varphi_2$. Откуда следует, что искомое расстояние между максимумами равно: $X_2 - X_1 = f(\tan \varphi_2 - \tan \varphi_1)$. Учтя, что при малых углах φ (малость углов $\sin \varphi = 0,06 \Rightarrow \varphi \approx 3^\circ$ можно проверить, используя данные задачи) $\sin \varphi = \tan \varphi = \varphi$, получим: $X_2 - X_1 = f(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1) = f(2\lambda/d - \lambda/d) = f\lambda/d$. Получаем ответ: $X_2 - X_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3 \text{ мм}$.



12. Поскольку энергия фотона определяется формулой Планка $E = h\nu$, общая излучаемая энергия в единицу времени может иметь значение не превышающее $Wt = Nh\nu$. Отсюда число фотонов испускаемых в одну секунду равно $N = \frac{Wt}{h\nu}$. Подстановка численных значений дает $N \approx 7,6 \cdot 10^{24}$.

Методические возможности анализа результатов Кубка

Результаты, полученные в ходе проведения, как отдельных этапов Кубка, так и в целом за год позволяют получить объективную информацию об уровне подготовки школьников г. Уфы как по отдельным темам и разделам физики, так и в целом. Только надо учитывать, что эта оценка «сверху», т.е. по лучшим ученикам. Для примера вначале рассмотрим статистику результатов, показанную школами г. Уфы за пятнадцать проведенных Кубковых турниров. В приведенной ниже таблице приведены команды занявшие по итогам года первые десять мест, в первом столбце указаны место, а в первой строке номер Кубка.

Место	Номер Кубка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	45	121	60	60	106	153	153	93
2	68	60	93	111	93	3	93	82
3	106	45	70	82	153	121	82	153
4	121	70	68	106	60	82	121	121
5	56	136	82	121	121	106	60	106
6	111	82	38	3	70	58	83	70
7	105	3	121	114	27	93	70	114
8	42	106	45	68	105	52	58	3
9	153	РБТЛ	106	93	3	111	45	83
10	60	42	БРГИ	62	62	42	41	60

Место	Номер Кубка						
	9	10	11	12	13	14	15
1	153	106	93	153	93	153	93
2	82	93	105	42	153	83	153
3	93	39	83	93	106	93	106
4	104	121	91	91	3	РЭЛИ1	58
5	130	114	114	83	58	РЭЛИ2	83
6	РБЛИ	ЦДТИ	45	38	ЦДТТ	82	155
7	60	3	82	РБЛИ	83	58	Гефест
8	83	83	70	64	РЭЛИ1	106	97, 114
9	106	42	153, 64	106	155	РБЛИ	РЭЛИ1
10	42	82	97	121	39	115	35

Вначале отметим победителей уфимского Кубка по физике: лицей 153 - 5 раз, гимназия 93 - 4 раза, школы №106 - 2 раза, №60 - 2 раза, №121 - 1 раз, №45 - 1 раз. Т.к. статистический материал набран достаточно большой, определим лучшие школы города Уфы по преподаванию физики исходя из суммы набранных баллов – мест. Ниже приведена таблица выстроившая по рейтингу десять школ, показавших наилучшие результаты за пятнадцать лет проведения Кубков:

1	Школа № 93	6	Школа № 60
2	Школа № 153	7	Школа № 83
3	Школа № 106	8	Школа № 3
4	Школа № 121	9	Школа № 70
5	Школа № 82	10	Школа № 45

Интересно так же посмотреть на «динамику» этого процесса, т.е. как выглядит эта десятка по итогам первых десяти лет:

1	Школа № 121	6	Школа № 153
2	Школа № 82	7	Школа № 45
3	Школа № 60	8	Школа № 70
4	Школа № 93	9	Школа № 111
5	Школа № 106	10	Школа № 3

и по итогам последних пяти лет:

1	Школа № 93	6	Школа № 91
2	Школа № 153	7	Школа № 82
3	Школа № 83	8	Школа № 114
4	Школа № 106	9	Школа № 42
5	Школа № 58	10	Школа № 105

Приведем также результаты финальных туров Республиканского турнира:

Место	2007–2008	2008–2009	2009–2010	2010–2011	2011–2012
1	Уфа, лицей 83	Уфа, лицей 153	Уфа, гимн 93	Ишимб р-н	Уфа, лицей 153
2	Уфа, гимн 93	Уфа, гимн 91	Белебеевск р-н	Стерлитамак	Нефтекамск
3	Уфа, гимн 105	Кумертау, гимн 1	Уфа, лицей 153	Нефтекамск	Уфа, гимн 93

4	Уфа, гимн 91	Уфа, СОШ 41	Ишимб р-н	Белебеевск р-н	Уфа, лицей 83
5	Уфа, лицей 153	Уфа, гимн 93	Уфа, лицей 106	Ишимб р-н	Мелеуз р-н
6	Кумертау, гимн 1	Стерлитамак	Уфа, лицей 83	Уфа, лицей 153	Салават
7	Белебей, гимн 1	Туймазы, СОШ 6	Октябрьский	Уфа, гимн 93	Мишкинск р-н
8	Белорецк КШ	Уфа, гимн 64	Уфа, СОШ 58	Уфа, лицей 106	Дюртюль р-н
9	Дюртюли, гимн 3 Салават, гимн 2	Уфа, лицей 106	Бураевск р-н	Уфа, гимн 64	Янаульск р-н
10	Ишимбай, гимн 1	Дюртюль р-н	Уфа, гимн 3	Октябрьский	Уфа, СОШ 155 Ишимб р-н

Отметим, что если на первом финале безоговорочно выигрывают уфимские, более опытные команды, то уже в четвертом выигрывает команда из г. Ишимбая, и уфимских команд в десятке лучших уже меньше половины. Так же радуется организаторов острая борьба на олимпиаде сильных команд, что говорит о качественном проведении турниров на местах и правильном отборе лучших.

Глава II

Кубок г. Уфы по физике для учащихся 8–9 классов

Правила проведения

Коллектив Муниципального образовательного учреждения дополнительного образования детей центра детского технического творчества «Биктырыш» Октябрьского района города Уфы Республики Башкортостан совместно с профессорско-преподавательским составом физико-математического факультета Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акумоллы в течение ряда лет обеспечивает проведение и организацию мероприятий с целью создания условий для развития интеллектуальных способностей молодежи, привлечения их к техническому творчеству, исследовательской, экспериментальной деятельности. В рамках городской экспериментальной площадки действовавшей в МБОУ ЦДТТ «Биктырыш», одним из таких мероприятий является проведение в течение пяти лет Кубка города Уфы по физике среди учащихся 8-9 классов по технологии аналогичной описанной в первой главе.

В начале учебного года оргкомитетом турнира по школам рассылается положение о проведении Кубка города по физике среди учащихся 8-9 классов. Участниками являются учащиеся 8-9 классов школ города Уфы, по одной команде, в количестве 3 человек, от общеобразовательного учреждения. Место проведения Кубка города по физике - лекционные залы физико-математического факультета Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акумоллы. Данный Кубок города Уфы по физике для проводится в 3 этапа:

- в феврале проходит 1 этап по разделу «Механика»,
- в марте - 2 этап - «Тепловые явления. Гидростатика»,
- в апреле - 3 этап – «Электричество и магнетизм»

Прием заявок от желающих участвовать на олимпиаде проводится за 10 дней до первого этапа. В начале проведения олимпиады проводится регистрация. Капитан команды получает десять листов бумаги, на которых указаны номер задачи и номер школы. На этих листах члены команды имеют право писать решение задач и только их сдавать для проверки. Команда, состоящая из трех человек, садится изолированно от других команд за столы, на которых стоит табличка с номером их школы. После приветственного слова председателя жюри, представления членов жюри, знакомства с правилами проведения Кубка, на экране появляется условие задачи.

Решение задачи учащимися начинается после удара гонга. На решение каждой задачи, в зависимости от сложности, выделяется от 5 до 10 минут. По истечении времени, отведенное на решение данной задачи, звучит удар гонга. Капитан команды обязан поднять листок с решением и держать до тех пор, пока ассистенты (студенты, помогающие проводить олимпиаду), не соберут все листы от команд. Эти листы они приносят на стол членам жюри, которые тут же начинают проверку.

В это время на экране показывается решение этой задачи, а затем критерии оценок. Пока команды решают следующую задачу, члены жюри тут же проверяют работы команд, оценивая их по десятибалльной системе, а ассистенты заносят баллы в таблицу, начерченную на доске для всеобщего обозрения и в протоколы олимпиады.

Апелляция проводится во время решения командами задачи. Один член команды может подойти к члену жюри, отвечающий за апелляцию, со своими вопросами по поводу правильности проверки решения задачи. Причем, первая задача апеллируется во время решения третьей задачи, вторая – во время решения четвертой и так далее. Девятая и десятая задача – не апеллируется. Последние задачи подбираются такие, которые не вызвали бы вопросов у ребят. После решения и обсуждения десятой задачи, членами жюри подводится тут же итог соревнования.

На каждом этапе команды решают 10 задач, оцениваемых по 10-балльной системе. Баллы, набранные командой на данном этапе, суммируются. На экране высвечивается таблица, показывающая баллы, полученные командами за каждую задачу, их сумма, место, которое заняла команда на соревновании, какие команды - призеры и какие команды могут участвовать на следующем этапе. На данном этапе побеждает команда, набравшая наибольшее количество баллов. Команды - призеры награждаются дипломами I, II, III степени, а руководители команд Благодарственными письмами.

I этап – отборочный (в среднем в течении пяти лет на первых этапах участвовало от 53 до 70 команд со школ города Уфы и села Бакалы). На II этап допускаются 30 команд, набравших наибольшее количество баллов, на III этап – 20 команд. По результатам трех этапов Награждение команды-победителя, команд-призеров и команд, занявших места от четвертого по пятнадцатое, проводится в праздничной атмосфере в стенах Вуза. Приглашаются декан, преподаватели физического факультета, проректор, учителя физики, подготовившие победителей и призеров. Команде-победителю Кубка города Уфы по физике среди учащихся 8-9 классов общеобразовательных школ вручается Кубок. Каждый член команды-победителя и команд-призеров награждается дипломом I, II, III степени и памятными по-

дарками. Члены команд, занявшие места от четвертого по пятнадцатое получают диплом участника данного Кубка.

Во время решения задач в зале можно наблюдать и увидеть яркое проявление ума, воли, чувств, эмоций, творческих способностей и мотивов деятельности детей, поэтому учителя физики, сидящие на последнем ряду в зале, могут отслеживать поведение своих детей.

Задачи Кубка по физике Октябрьского района г Уфы 2007 г.

ЭТАП 1

1. Первую половину пути пешеход двигался со скоростью 1 м/с, а вторую половину пути со скоростью 3 м/с. Найдите среднюю скорость на всём пути. (7 минут)

Решение

$$v_{cp} = \frac{S}{t_1 + t_2}$$

$$t_1 = \frac{S}{2v_1}; t_2 = \frac{S}{2v_2}; t_1 + t_2 = \frac{S(v_1 + v_2)}{2v_1 \cdot v_2}; v_{cp} = \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}.$$

$$v_{cp} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 3}{1 + 3} = 1,5 (м/с).$$

2. Канат длиной 5 м и массой 8 кг лежит на земле. Канат за один конец подняли на высоту, равную его длине. Какую при этом совершили механическую работу? (6 минут)

Решение

Так как сила тяжести, действующая на канат приложена к его центру, а центр каната поднят на половину его длины, то

$$A = P \frac{h}{2} = mg \frac{h}{2}.$$

Отсюда $A \approx 196$ Дж.

3. На полу лежат куб и шар, сделанные из стали. Масса их одинакова. Тела подняли до соприкосновения с потолком. Одинаково ли при этом изменилась их потенциальная энергия? (5 минут)

Решение

Сторона квадрата меньше, чем диаметр шара. Поэтому

$$H_1 > H_2, \quad \Delta E_1 > \Delta E_2$$

4. Двум товарищам нужно перейти траншею, на дне которой вода. Они стоят на противоположных сторонах траншеи, и у каждого из них имеется доска, длина которой немного меньше ширины траншеи. Как им следует поступить, чтобы с помощью имеющихся досок перейти траншею? (6 минут)

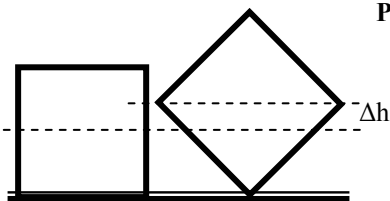
Решение

Решение задачи ясно из рисунка



5. Какую работу надо совершить, чтобы перевернуть куб массой 100 кг и ребром 1 м с одной грани на другую? (10 минут)

Решение



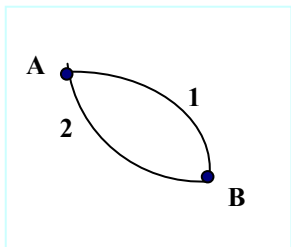
$$A = mg\Delta h;$$

$$\Delta h = \frac{a\sqrt{2}}{2} - \frac{a}{2} = \frac{a}{2}(\sqrt{2} - 1);$$

$$A = \frac{mga}{2}(\sqrt{2} - 1) \approx 200 \text{ Дж.}$$

✖

6. Небольшое тело скользит с трением из т. А в т. В. по цилиндрическим поверхностям одинакового радиуса сначала по пути 1, потом по пути 2. Коэффициент трения одинаков. В каком случае скорость тела в т. В будет больше? (8 минут)



Решение

Скорость тела в т. В зависит от того, какую часть своей потенциальной энергии израсходует тело на работу против силы трения. На путях

1 и 2 силы трения не одинаковы, т.к. не одинаковы силы давления тела на поверхность. При движении по любому криволинейному пути тело должно иметь центростремительное ускорение. На пути 1 это ускорение направлено вниз, на пути 2 – вверх. Поэтому вес тела, а следовательно и сила давления, на пути 1 меньше чем на пути два. Следовательно, работа силы трения на пути 2 больше, чем на пути 1. Потенциальная энергия расходуется больше на работу силы трения, если тело движется по пути 2. Поэтому, кинетическая энергия будет у тела больше, если оно будет двигаться по пути 1. Следовательно, тело будет иметь большую скорость в конце движения, если будет двигаться по пути 1.

7. Санки массой 10 кг скатились с горы высотой 5 м и остановились на горизонтальном участке. Какую минимальную работу совершит мальчик, возвращая санки по линии их скатывания? (7 минут)

Решение

При скатывании санок с горки изменение потенциальной энергии равно работе силы трения на всем пути $A_{тр} = mg\Delta h$. Чтобы по тому же пути поднять санки на горку, надо совершить работу против силы трения и сообщить санкам потенциальную энергию $A = A_{тр} + mg\Delta h$. Следовательно, произведенная работа равна $2mg\Delta h$.

$$A \approx 1000 \text{ Дж.}$$

8. Массивную дверь ребёнок может закрыть, а открыть её ему оказывается не под силу. Почему? (5 минут)

Решение

При закрывании дверь как рычаг позволяет легко преодолеть трение в петлях. Приобретая некоторую скорость, дверь по инерции захлопывается, преодолевая трения между нею и рамой. При открывании двери, кроме трения в петлях, ребенку необходимо преодолеть также трение покоя между дверью и рамой, на что требуется значительно большее усилие.

9. Тело свободно падает с некоторой высоты и за последние 196 м пролетает за 4 с. Сколько времени падало тело и чему равна начальная высота? (10 минут)

Решение

Напишем уравнения движений с высоты H и с высоты $(H-h)$, т.к. начальная скорость этих движений равна нулю.

$$H = \frac{gt^2}{2}; H - h = \frac{g}{2}(t - \tau)^2.$$

$$\frac{gt^2}{2} - h = \frac{gt^2 - 2gt\tau + g\tau^2}{2};$$

$$2gt\tau = 2h + g\tau^2; \quad t = \frac{h}{g\tau} + \frac{\tau}{2} \approx 7(c);$$

$$s = \frac{gt^2}{2}; \quad s = 240 \text{ м}$$

10. Подходя к станции, поезд за предпоследнюю секунду движения проходит 2,25 м. Чему равен модуль ускорения поезда? (10 минут)

Решение

Учитывая принцип симметрии в механике, задачу можно переформулировать. Отходя от станции, поезд за вторую секунду движения прошёл 2,25 м. Чему равно его ускорение?

1. Путь за первую секунду: $s = \frac{at^2}{2} = 0,5a.$

2. Путь за две секунды: $s = \frac{at^2}{2} = 2a.$

$$2a - 0,5a = 2,25;$$

3. Путь за вторую секунду: $s_2 - s_1 = 2,25;$

$$a = \frac{2,25}{1,5} = \left(1,5 \frac{м}{с^2}\right)$$

ЭТАП 2

1. Лампочка накаливания мощностью 54 Вт погружена в прозрачный калориметр, содержащий 650 см³ воды. За 3 мин вода нагревается на 3,4 °С. Какая часть расходуемой лампочкой энергии идёт на увеличение внутренней энергии воды? (10 минут)

Решение

$$\eta = \frac{c\rho V\Delta T}{P\tau}; \quad \eta = \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 0,000650 \cdot 3,4}{54 \cdot 180} = 0,955.$$

Ответ: $\eta = 95,5\%$

2. Космонавт на Луне вскрыл банку с водой. Какая часть воды при этом испарилась? (10 минут)

Решение

$$m_1 - \text{обратилась в пар, } m - m_1 - \text{лед; } m_1 L = \lambda(m - m_1); \quad m_1 L = \lambda m - \lambda m_1;$$

$$\frac{m_1}{m} = \frac{\lambda}{L + \lambda}. \quad \frac{m_1}{m} = \frac{330000}{2300000 + 330000} = 0,1255.$$

3. В воде равномерно падает шарик из свинца. При перемещении шарика вниз на расстояние 4 м выделилось 16 Дж теплоты. Каков объём шарика? Плотность свинца 11300 кг/м³. (10 минут)

Решение

$$A_C = Q = F_C h.$$

При равномерном движении шарика вниз

$$F_C = F_T - F_A = mg - \rho g V = \rho_T g V - \rho g V;$$

$$Q = Vg(\rho_T - \rho)h; \quad V = \frac{Q}{gh(\rho_T - \rho)}.$$

$$V = \frac{16}{10 \cdot 4 \cdot (11300 - 1000)} = 39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 39 \text{ см}^3.$$

4. Нагревание 2 л воды на электрической плитке от 13 до 18 °С продолжается 5 мин, а от 75 до 80 °С – 6,5 мин. Определите мощность электрической плитки. Объясните причины различия в длительности нагревания. (8 баллов)

Решение

При нагревании воды от 13 до 18 °С энергия практически не теряется. Поэтому

$$P = \frac{cm(t_2 - t_1)}{\tau} = \frac{4200 \cdot 2 \cdot 5}{5 \cdot 60} = 140 \text{ Вт}.$$

При нагревании от 75 до 80 °С часть энергии идет на нагревание окружающего воздуха, т.к. его температура ниже температуры воды. Поэтому время нагревания во втором случае больше.

5. В кастрюле бурно кипит вода. В воде варятся макароны. Кипит ли вода в трубочках макарон? (5 минут)

Решение

Не кипит, т.к. для процесса кипения необходим постоянный подвод энергии от более нагретого тела.

6. Тёплый воздух, как известно, поднимается вверх. Почему же на высоте 10 км держится температура -50 °С? (5 минут)

Решение

Поднимаясь вверх, воздух расширяется, т.е. совершает работу. При этом внутренняя энергия воздуха уменьшается. Поэтому его температура понижается.

7. Алюминиевый кубик ставят на лёд, имеющий температуру 0°C . До какой температуры должен быть нагрет кубик, чтобы он погрузился в лёд наполовину? $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$; $\rho_{\text{а}} = 2700 \text{ кг/м}^3$; $c = 900 \text{ Дж/кг}$ (10 минут)

Решение

Считаем, что вся энергия, отдаваемая кубиком при остывании, идет только на плавление льда. Тогда

$$c_a \rho_a V \Delta t = \lambda \rho_{\text{л}} V / 2;$$

$$t = \Delta t = \frac{\lambda \rho_{\text{л}}}{2 c_a \rho_a}; t = \frac{330000 \cdot 900}{2 \cdot 900 \cdot 2700} = 61^{\circ}\text{C}.$$

8. В закрытом сосуде на одной высоте находятся два одинаковых шарика. Один подвешен на нетеплопроводящей нити, другой закреплён на нетеплопроводящем стержне. Шарикам сообщают одинаковое количество теплоты. Температура какого шарика повысится больше и почему? (7 минут)

Решение

При нагревании шаров их объем увеличивается и происходит смещение центра тяжести.

$$\text{Для первого шарика } Q = cm\Delta t_1 - mg\Delta h$$

$$\text{Для второго шарика } Q = cm\Delta t_2 + mg\Delta h$$

$$\Delta t_1 = \frac{Q + mg\Delta h}{cm}; \Delta t_2 = \frac{Q - mg\Delta h}{cm}.$$

Следовательно, $\Delta t_1 > \Delta t_2$.

9. Электрический паяльник мощностью 350 Вт не может нагреть 650 г воды до кипения. Убедившись в этом, его выключают. На сколько понизится температура воды через 15 с после выключения паяльника? (8 минут)

Решение

Когда паяльник нагреет воду до максимально возможной температуры, количество теплоты, отдаваемое паяльником воде окажется равным количеству теплоты, отдаваемому водой окружающим телам. При выключении паяльника вода будет продолжать отдавать тепло с той же скоростью.

$$cm\Delta T = Pt; \Delta T = \frac{P \cdot t}{cm}; \Delta T = \frac{350 \cdot 15}{4200 \cdot 0,65} = 1,9^{\circ}\text{C}$$

10. Для охлаждения лимонада в него бросают кубики льда при 0°C . Масса каждого кубика 8 г. Первоначальная температура лимонада 30°C ,

его количество в стакане 200 мл. Сколько кубиков льда надо бросить в лимонад, чтобы температура понизилась до 15°C ? (10 минут)

$$\lambda = 330 \text{ кДж/кг}; c = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K};$$

Решение

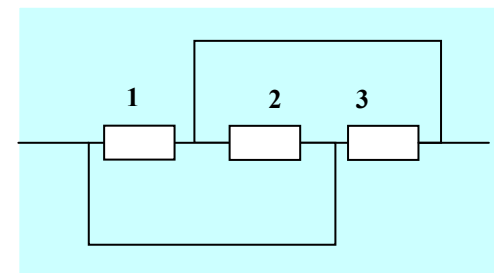
$$c\rho V\Delta t_1 = N\lambda m + Ncm\Delta t_2;$$

$$N = \frac{c\rho V\Delta t_1}{m(\lambda + c\Delta t_2)};$$

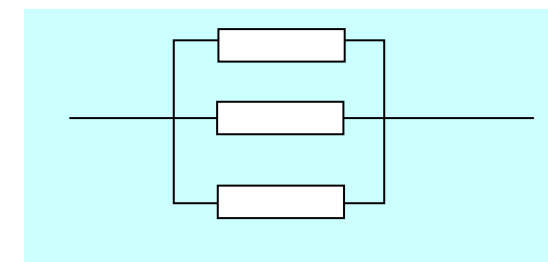
$$N = \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 0,0002 \cdot 15}{0,008 \cdot (330000 + 4200 \cdot 15)} = 4.$$

ЭТАП 3

1. Каково сопротивление показанной на рисунке цепи? Сопротивление каждого резистора 1 Ом. (5 минут)



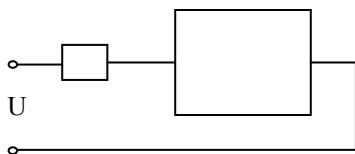
Решение



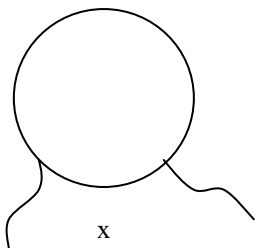
Указанное на рисунке соединение резисторов является параллельным (начала трёх резисторов и их концы соединяются вместе) В таком случае сопротивление участка равно $R/3$; $R = 1/3 \text{ Ом}$

2. Квадратные медные пластины одинаковой толщины, площади которых $S_1 = 1 \text{ см}^2$ и $S_2 = 1 \text{ м}^2$, включены в цепь. Сравните сопротивления пластин. (10 минут)

Решение



$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{l \cdot d}$. d – толщина, l – длина грани. Тогда $R = \frac{\rho}{d}$. Следовательно, сопротивление пластин одно и то же.



3. Из проволоки сопротивлением $R = 25 \text{ Ом}$ сделано кольцо. Где следует присоединить провода, подводящие ток, чтобы сопротивление кольца было $r = 4 \text{ Ом}$? Длина проволоки l . (10 минут)

Решение

$$R = R_1 + R_2 = 25 \text{ Ом}; r = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4 \text{ Ом};$$

$$\frac{R_1 R_2}{25} = 4; R_1 R_2 = 100; R_2 = 25 - R_1; R_1(25 - R_1) = 100;$$

$R_1^2 - 25R_1 + 100 = 0$. Решая квадратное уравнение, получим R_1 равным 5 Ом ; 20 Ом , а R_2 соответственно 20 Ом ; 5 Ом . Далее $\rho l / S = 25 \text{ Ом}$; $\rho x_{1,2} / S = 5 \text{ Ом}; 20 \text{ Ом}$. Отсюда $x_1 = l / 5$; $x_2 = 4l / 5$.

4. Как, имея в распоряжении только две одинаковые спицы, одна из которых намагничена, определить, какая из них намагничена, а какая не намагничена? (5 минут)

Решение

Надо прикоснуться концом одной спицы к середине другой. Если спицы притягиваются, значит поднесённая спица намагничена.

5. Имеются два маленьких металлических шарика на изолирующих ручках. Один из шариков заряжен. Можно ли с их помощью сообщить электроскопу заряд, в несколько раз превышающий заряд шарика? (10 минут)

Решение

Можно. Надо поднести незаряженный шарик к заряженному (не касаясь), затем прикоснуться пальцем к противоположной стороне поднесённого шарика, убрать палец. Таким образом, незаряженный в начале шарик

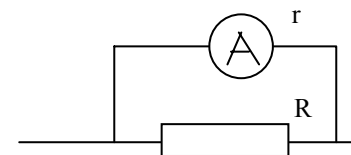
зарядится «по индукции». Затем передать заряд шарика шару электроскопа, коснувшись его внутренней поверхности. Прделанную операцию можно повторить много раз.

6. Иголлка, висящая на нити, притягивается к заряженной эбонитовой палочке. Почему та же иголлка, лежащая на воде, отталкивается от заряженной эбонитовой палочки? (5 минут)

Решение

К наэлектризованной эбонитовой палочке притягивается не только иголлка, но и вода. При этом вода образует «горку», с которой скатывается иголлка, удаляясь от эбонитовой палочки.

7. Выйдет ли из строя амперметр, если его по ошибке включат в сеть так, как показано на рисунке? (5 минут)



Решение

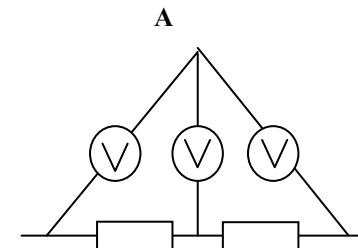
Будем считать, что при правильном включении стрелка амперметра отклоняется до предела. Всё зависит от сопротивления R . Если $R > r$ (r – сопротивление амперметра), то амперметр выйдет из строя. Если $R < r$, то R будет играть роль шунта, т.е. такое включение для амперметра не опасно. Однако, в большинстве случаев $R \gg r$.

8. Ученик во время лабораторной работы собрал показанную на рисунке цепь, в которой все три вольтметра одинаковы. Показания двух вольтметров $U_1 = 2,5 \text{ В}$ и $U_2 = 2 \text{ В}$. Каким может быть показание третьего вольтметра? (10 минут)

Решение

В т. А сходятся токи, идущие через вольтметры. Возможны два случая:

1) $I_1 = I_2 + I_3$. Тогда напряжения, ко-



торые показывают вольтметры $U_1 = U_2 + U_3$ $U_3 = 0,5$ В.
 2) $I_1 + I_2 = I_3$. Тогда $U_3 = 4,5$ В. **Ответ:** 0,5 В или 4,5 В.

9. Замкнутая электрическая цепь состоит из батарейки и резистора, причём батарейка находится в одном из стоящих на столе «чёрных ящиков», а резистор – в другом. Как можно с помощью вольтметра и магнитной стрелки, не размыкая цепь, определить, в каком именно «чёрном ящике» находится батарейка? (8 минут)

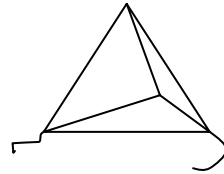
Решение

Используя вольтметр, определим, какой провод связан с положительным полюсом батарейки, а какой – с отрицательным. Затем, с помощью магнитной стрелки по правилу буравчика можно определить направление тока в проводнике. Этого достаточно, чтобы указать, в каком ящике находится батарейка.

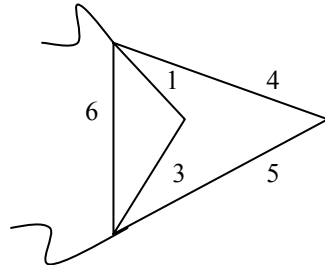
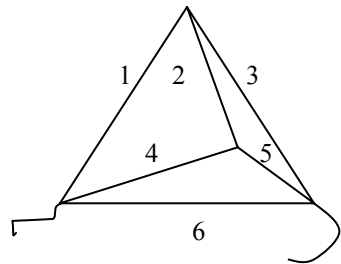
10. Каково сопротивление проволочного тетраэдра, если сопротивление каждого ребра равно 10 Ом? (10 минут)

Решение

Учитывая симметрию схемы, можно заключить, что по проводнику 2 ток не идёт. Уберём этот проводник и начертим эквивалентную схему:



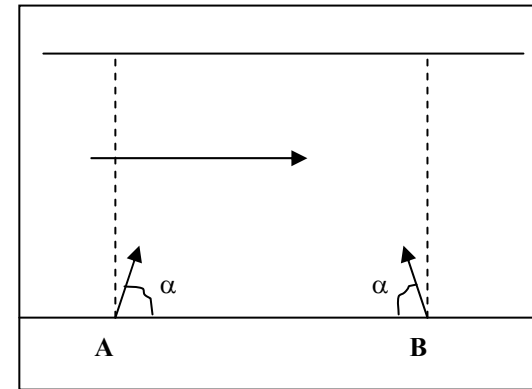
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r}; \frac{1}{R} = \frac{4}{2r}; R = \frac{r}{2} = 5 \text{ Ом}$$



Задачи первого Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2008 г.

ЭТАП 1

1. Из п.п. А и В, расположенных на расстоянии 500 м, одновременно начинают движение два катера с одинаковой скоростью 36 км/ч относительно воды под углами 60° к берегу. Скорость течения воды 2 м/с. Через какой промежуток времени катера встретятся? (7 минут)



Решение

$$t = \frac{s}{v_1 \cdot \cos \alpha + v_2 \cdot \cos \alpha}$$

$$t = \frac{500}{10} = 50 \text{ с}$$

2. Вес жидкости, налитой в сосуд, равен 2Н. Может ли архимедова сила, действующая на помещённый в этот сосуд тело, быть равной 10 Н? (5 минут)

Решение

Может, если размер тела лишь немного меньше размера сосуда.

3. Каким было бы давление колёс вагона на рельсы, если бы колёса и рельсы не деформировались при соприкосновении? (5 минут)

Решение

Бесконечно большим

4. Рыбак плыл на лодке по течению, зацепил шляпой за мост, и она свалилась в воду. Через час рыбак спохватился, повернул обратно и подобрал шляпу на 4 км ниже моста. Какова скорость течения? (7 минут)

Решение

В системе отсчёта, связанной с водой, шляпа неподвижна, а время движения рыбака: 1 час от шляпы и 1 час к шляпе. Значит, за 2 часа шляпа проплыла 4 км.

$$v = \frac{4 \text{ км}}{2 \text{ ч}} = 2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

5. Человек 3 км шёл пешком, затем 20 км ехал на велосипеде. Во сколько раз скорость езды на велосипеде больше скорости ходьбы, если ехал он вдвое дольше, чем шёл? (7 минут)

Решение

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1}; t_2 = \frac{s_2}{v_2};$$

$$\frac{2s_1}{v_1} = \frac{s_2}{v_2}; v_2 = \frac{s_2}{2s_1} \cdot v_1 = \frac{20 \text{ км}}{6 \text{ км}} = 3,3 (\text{раза})$$

6. Пройдя 3/8 моста, собака услышала сигнал догоняющего её автомобиля. Если собака побежит назад, то она встретится с автомобилем у одного конца моста, а если побежит вперёд, то встретится с ним у другого конца моста. Во сколько раз скорость автомобиля больше скорости собаки? (10 минут)

Решение

$$\frac{s}{v_1} = \frac{3l}{8v_2} \quad (1) \quad \frac{s+l}{v_1} = \frac{5l}{8v_2} \quad (2) \quad \text{Делим (1) на (2): } \frac{s}{s+l} = \frac{3}{5}; s = \frac{3l}{2}$$

Подставляем в (1): $\frac{3l}{2v_1} = \frac{3l}{8v_2}; v_1 = 4$

Ответ: в 4 раза

7. Гвоздь длиной 10 см забит по шляпку в доску толщиной 4 см. Какую работу надо совершить, чтобы вытащить гвоздь, если в начале вытаскивания надо приложить силу 20 Н? (10 минут)

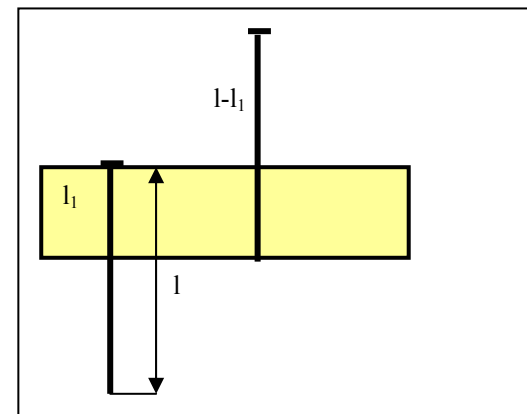
Решение

1) $A_1 = F(1-l_1) = 20 \cdot 0,06 = 1,2 \text{ Дж}$

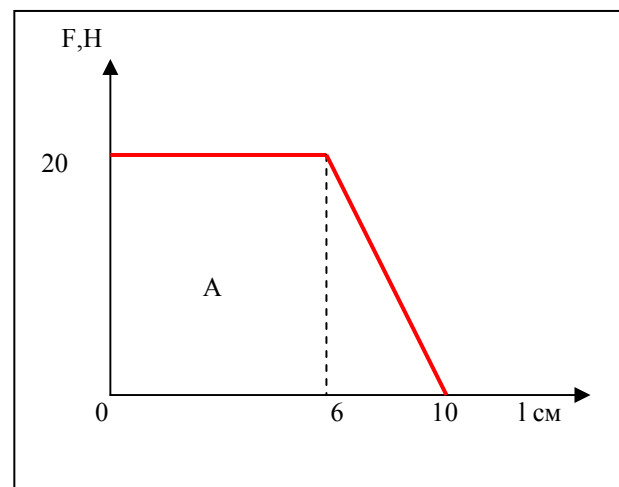
2) $A_2 = 1/2 F l_1 = 10 \cdot 0,04 = 0,4 \text{ Дж}$

3) $A = A_1 + A_2 = 1,6 \text{ Дж}$

Ответ: 1,6 Дж



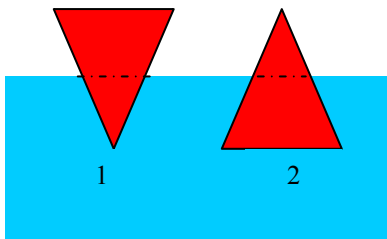
Примечание: Задачу можно решить графически:



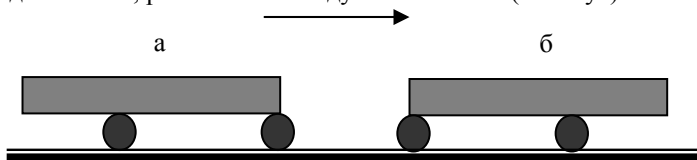
8. Легкий сплошной конус погружают в воду один раз вершиной вверх, а другой раз – вершиной вниз (рис). В каком случае надо совершить большую работу для полного погружения конуса? (7 минут)

Решение

Представим, что оба конуса погружаются одновременно. Тогда, в любой момент времени сила Архимеда, действующая на конус 1, меньше силы Архимеда, действующей на конус 2. Перемещение конусов одинаковое. Работа силы тяжести при погружении конусов одинаковая. Следовательно, работа по погружению 1 конуса (A_1) меньше работы по погружению 2 конуса (A_2).



9. Доску прокатывают по двум каткам (рис а). Какой путь относительно дороги пройдет доска, когда она займет конечное положение (рис б). Длина доски 10 м, расстояние между катками 6 м. (5 минут)



Решение

Относительно катков доска проходит расстояние 4 м. Сами катки относительно дороги проходят такое же расстояние. Следовательно, доска относительно дороги проходит расстояние 8 м.

Ответ: 8 м.

10. Три туриста, имеющие в своем распоряжении 2 велосипеда, должны в кратчайший срок попасть на базу. За какое время им всем троим удастся это сделать, если скорость езды каждого из туристов на велосипеде 16 км/ч, скорость быстрой ходьбы 8 км/ч, расстояние до базы 48 км? (10 минут)

Решение

Поскольку туриста 3, а велосипеда 2, каждому туристу придется пройти одну треть пути пешком. На этот путь пешком будет затрачено:

$$\frac{s}{3 \cdot v_1} = \frac{48}{3 \cdot 8} = 2(\text{часа}).$$

На оставшуюся часть пути будет затрачено:

$$\frac{48-16}{16} = 2(\text{часа})$$

Всего затрачено: $2 + 2 = 4$ часа. Как это сделать практически?

Один идет пешком, двое едут на велосипеде 16 км. Затем второй турист оставляет велосипед у дороги и идет пешком 16 км. Там он подбирает велосипед, оставленный третьим туристом и до конца едет на велосипеде. Первый через 16 км садится на оставленный ему велосипед и едет до конца. Все трое прибывают на базу одновременно через 4 часа.

ЭТАП 2

1. На пляжном песке растелили одеяло площадью 4 м^2 . Оцените массу столба воздуха над одеялом. (7 минут)

Решение

Если атмосферное давление равно 10^5 Па , то вес столба воздуха равен $P = p \cdot S$; $P = 4 \cdot 10^5 \text{ Н}$.

Масса воздуха равна приблизительно $4 \cdot 10^4 \text{ кг}$ или 40 тонн.

Ответ: ~ 40 тонн

2. В бутылку налили горячую воду, опустили термометр и завинтили пробку. Каждую минуту показания термометра записывали в таблицу. Какова температура воздуха в комнате? (10 минут)

Время, мин	0	1	...	10	11
Температура, °C	80	76	...	50,1	48,1

Решение

Количество теплоты, отдаваемое водой окружающему воздуху, пропорционально разности температуры воды и температуры окружающего воздуха.

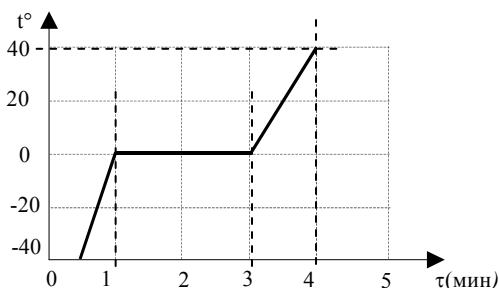
$$\text{За первую минуту: } \Delta T_1 = k(t_1 - t_b) \quad (1)$$

$$\text{За десятую минуту: } \Delta T_2 = k(t_{10} - t_b) \quad (2)$$

Разделим (1) на (2): $\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{t_1 - t_b}{t_{10} - t_b}$; Отсюда $t_b = 20^\circ \text{C}$

3. В калориметре нагревается 200 г вещества. В начальный момент времени вещество находилось в твердом состоянии. На рисунке представлен график зависимости температуры вещества в калориметре от времени.

Пренебрегая теплоемкостью калориметра и тепловыми потерями и предполагая, что подводимая к сосуду мощность постоянна, определите удельную теплоемкость твердой фазы, если удельная теплоемкость жидкости $c_{ж} = 2,8 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$. (7 минут)



Решение

В твердой фазе $Q_1 = P\tau_1 = c_1 m \Delta t_1$

В жидкой фазе $Q_2 = P\tau_2 = c_2 m \Delta t_2$.

Т.к. мощность подводимого тепла постоянна, то $\frac{Q_1}{\tau_1} = \frac{Q_2}{\tau_2}$.

Ответ: $\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{c_1}{c_2}$; $c_1 = \frac{\tau_1 c_2}{\tau_2}$, $c_1 = 1,4 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$.

4. В калориметр с водой опускают подвешенный к динамометру металлическое тело. Через некоторое время показания динамометра уменьшились на 9%. Что можно сказать о начальных температурах воды и опущенного в нее тела? (5 минут)

Решение

Показания динамометра уменьшились \Rightarrow вес тела уменьшился \Rightarrow увеличилась выталкивающая сила \Rightarrow увеличился объем тела \Rightarrow температура тела повысилась \Rightarrow теплота перешла от воды к телу \Rightarrow температура воды была выше температуры тела.

5. В калориметр с водой, температура которой 20°C , переносят нагретые в кипятке одинаковые металлические шарики. После переноса первого шарика температура в калориметре поднялась до 40°C . Какой станет температура воды в калориметре после переноса двух шариков? (10 минут)

Решение

$t_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$, $t_3 = 40^\circ\text{C}$. $t_4 = ?$

Найдем теплоемкость шарика: $c_1 m_1 (t_3 - t_1) = C (t_2 - t_3)$,

$$C = \frac{c_1 m_1 (t_3 - t_1)}{t_2 - t_3}, \quad C = \frac{c_1 m_1}{3}.$$

Опустим еще один шарик, запишем уравнение теплового баланса:

$$c_1 m_1 (t_4 - t_3) + \frac{c_1 m_1}{3} (t_4 - t_3) = \frac{c_1 m_1}{3} (t_2 - t_4).$$

Получим: $3(t_4 - t_3) + (t_4 - t_3) = t_2 - t_4$. Отсюда $t_4 = \frac{t_2 + 4t_3}{5}$, $t_4 = 52^\circ\text{C}$.

6. Будет ли гореть свеча в кабине космического корабля-спутника? (5 минут)

Решение

Так как в кабине корабля-спутника все тела находятся в состоянии невесомости, теплый воздух не будет подниматься вверх, поэтому не будет происходить конвекция. Из-за недостатка кислорода свеча гореть не будет.

7. Между появлением искры в цилиндре ДВС и воспламенением всей горючей смеси проходит некоторый промежуток времени. По этой причине искра должна проскакивать несколько раньше, чем поршень дойдет до верхней мертвой точки, или, как говорят, с опережением. От чего зависит это опережение? Что может произойти при слишком раннем и слишком позднем зажигании? (5 минут)

Решение

Опережение зависит от угловой скорости вращения коленчатого вала. Чем больше угловая скорость, а следовательно, число оборотов, тем больше должно быть опережение.

При слишком раннем зажигании горючая смесь может воспламениться раньше, чем поршень дойдет до верхней мертвой точки. Это может привести к снижению мощности двигателя и к поломке двигателя.

Слишком позднее зажигание приводит к тому, что горючая смесь не успевает сгорать, что тоже вызывает потерю мощности, т.е. снижение КПД.

8. Мяч, имея кинетическую энергию 20 Дж , ударяется о стену и отлетает от неё, потеряв 50% скорости. Какое количество теплоты выделяется при ударе мяча о стену? (7 минут)

Решение

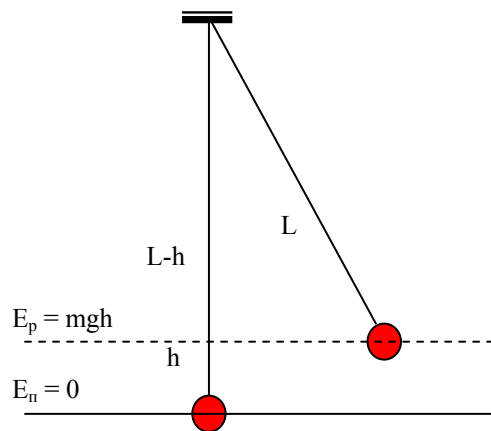
$$E_1 = \frac{mv^2}{2}; E_2 = \frac{mv^2}{8}, \quad Q = E_1 - E_2, \quad Q = E_1 - \frac{E_1}{4} = \frac{3E_1}{4}, \quad Q = \frac{3 \cdot 20}{4} = 15 \text{ Дж}$$

Ответ: 15 Дж

9. Шарик массой 100г, подвешенный на нити длиной 1м, отклонили от положения равновесия на угол 30 градусов и выпустили из рук. Через некоторое время колебания шарика прекратились. Какое количество теплоты выделилось вследствие трения шарика о воздух? (10 минут)

Решение

Сообщённая шарiku потенциальная энергия полностью переходит во внутреннюю, поэтому
 $\Delta E_{\text{п}} = Q$
 $\Delta E_{\text{п}} = mgh$
 $\Delta E_{\text{п}} = mgL(1 - \cos\alpha)$
 $\Delta E_{\text{п}} = 1 \cdot 10 \cdot 1 \cdot (1 - 0,87) = 1,3 \text{ Дж}$



10. Летящая пуля, обладающая энергией 8 Дж, пробила закреплённую доску, потеряв при этом половину скорости. Какое количество теплоты выделилось при этом? (7 минут)

Решение

$$E_1 = \frac{mv^2}{2}; E_2 = \frac{mv^2}{8}; Q = E_1 - E_2; Q = E_1 - \frac{E_1}{4} = \frac{3E_1}{4}; Q = \frac{3 \cdot 8}{4} = 6 \text{ Дж}$$

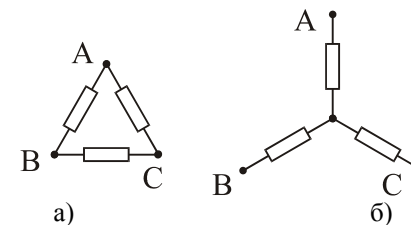
ЭТАП 3

1. Почему металлический шарик притягивается к наэлектризованной палочке, а потом отталкивается от нее, а бумажный шарик притягивается к наэлектризованной палочке и прилипает к ней? (5 минут)

Решение

Вокруг наэлектризованной палочки существует электрическое поле, под действием которого в металлическом шарике происходит перераспределение зарядов, ближе к палочке оказывается заряд противоположного знака, он притягивается к палочке и приобретает одноименный с ней заряд, т.к. металлический шарик является проводником, и заряд с палочки переходит на него. Поэтому он отталкивается. На поверхности бумажного шарика в электрическом поле возникает связанный заряд и он притягивается к палочке, т.к. бумага является диэлектриком, заряд с палочки не переходит на бумажный шарик, и он все время к ней притягивается.

2. Имеются две цепи. В цепи на рисунке а) сопротивления резисторов одинаковы и равны 3 Ом каждый. Сопротивления резисторов в цепи б) неизвестны. Чему они равны, если сопротивления между соответствующими точками в обеих цепях одинаковы? (8 минут)

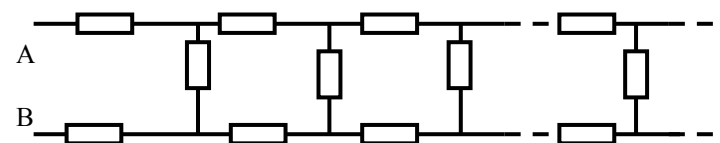


Решение

Пусть сопротивление каждого резистора первой цепи R_1 , а второй цепи R_2 , тогда общее сопротивление первой цепи между двумя любыми точками $r_1 = \frac{2R_1 \cdot R_1}{2R_1 + R_1} = \frac{2}{3} R_1$, а сопротивление второй цепи между двумя любыми точками $r_2 = 2R_2$. Так как сопротивление цепей одинаково

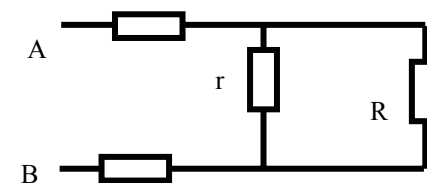
$$\frac{2}{3} R_1 = 2R_2. \quad \text{Отсюда } R_2 = 1 \text{ Ом}$$

3. Определите сопротивление бесконечной цепи между точками А и В. Сопротивление каждого резистора равно 1 Ом. (10 минут)



Решение

Сопротивление каждого резистора обозначим r , а общее сопротивление цепи R . Т.к. цепь бесконечная, ее сопротивление не изменится, если слева добавим еще одно звено. Тогда бесконечную цепочку резисторов можно представить, как на рисунке.



$$R = \frac{rR}{r+R} + 2r. \text{ Из этого уравнения находим } R. R^2 + Rr = Rr + 2Rr + 2r^2.$$

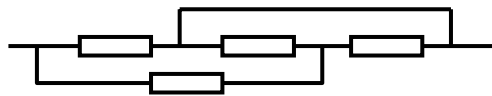
Решая квадратное уравнение, получим $R=2,73r=2,73 \text{ Ом}$.

4. Имеется проводник длиной 10 м и сопротивлением 100 Ом. Какой максимальной мощности нагреватель можно изготовить из этой проволоки, если напряжение в сети 200 В, а сила тока не должна превышать 5 А? (10 минут)

Решение

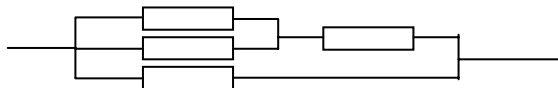
Чтобы сила тока имела максимальное значение 5 А, сопротивление проводника должно быть 40 Ом, а его длина 40 см. Следовательно из имеющегося проводника можно сделать два нагревателя и включить их параллельно. Излишек провода выбросить или оставить на запас. Мощность такого нагревателя будет равна $P=2 \cdot U \cdot I=2 \cdot 200 \cdot 5=2000 \text{ (Вт)}$.

5. Каково сопротивление показанной на рисунке цепи, если сопротивление каждого резистора равно 1 Ом? (10 минут)



Решение

Эквивалентная схема:



Общее сопротивление такой цепи будет равно.

$$R_{об} = \frac{\frac{3}{2} R \cdot R}{\frac{3}{2} R + R} = \frac{3}{5} R = 0,6 \text{ Ом}$$

6. Почему электрические лампочки накаливания часто перегорают при включении? (5 минут)

Решение

Электрическое сопротивление вольфрамовой нити накала электрической лампы сильно зависит от температуры: сопротивление холодной нити в несколько раз меньше сопротивления раскалённой нити. Поэтому сразу

после включения через нить накала идёт большой ток и выделяется большое количество теплоты, что и приводит к перегоранию лампы.

7. Никелиновую и медную проволоки одинаковых размеров включают параллельно и подключают к источнику высокого напряжения. Какая проволока перегорит? (5 минут)

Решение

При параллельном включении напряжение на обеих проволоках одинаково. Количество теплоты, выделяемое при прохождении тока, удобнее рассчитывать по формуле:

$$Q = \frac{U^2}{R} t$$

Сопротивление медной проволоки в несколько раз меньше, чем сопротивление никелиновой, поэтому в этой проволоке выделится большее количество теплоты, и эта проволока перегорит.

Возможна и другая логика объяснения: напряжение одинаково → сопротивление медной проволоки меньше → сила тока в медной больше → $Q=I^2 R t$ → в медной выделится больше тепла → медная перегорит.

Задачи второго Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2009 г.

ЭТАП 1

1. Камень брошен с земли вертикально вверх. Начальная скорость 20 м/с. Найти путь и перемещение камня за 5 с. (5 минут)

Решение

Время движения камня вверх и вниз.

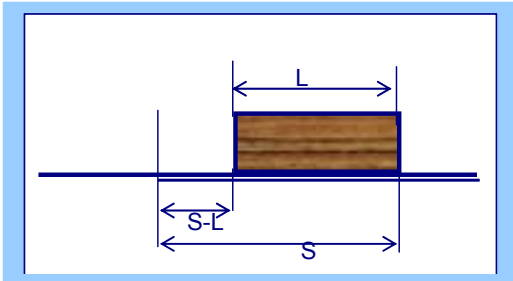
$$v = v_0 - gt;$$

$$0 = v_0 - gt; t = \frac{v_0}{g}; t = \frac{40}{10} = 4 \text{ с}$$

Следовательно, камень в течение 1 с будет лежать на земле. Перемещение камня равно нулю. Найдём пройденный путь:

$$h_1 = \frac{gt^2}{2}; h_1 = \frac{10 \cdot 4}{2} = 20 \text{ м}; h = 2h_1; h = 40 \text{ м}.$$

Ответ: 40м



2. Деревянный брусок длиной 1 м, скользящий со скоростью 2 м/с по гладкой поверхности, влетает на шероховатую поверхность с коэффициентом трения 0,2. Какое расстояние пройдёт передняя грань бруска по шероховатой поверхности? (10 минут)

Решение

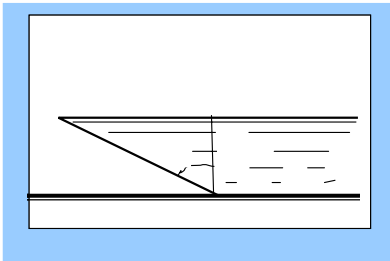
Изменение кинетической энергии бруска равно работе силы трения. Средняя сила трения на начальном участке длиной L:

$$F_{тр.1} = \frac{\mu mg}{2}$$

На остальном пути: μmg

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{\mu mg}{2}L + \mu mg(S - L)$$

Ответ: 1,5 м



3. Аквариум с наклонными боковыми стенками наполнен доверху водой. С какой силой давит вода на боковую стенку аквариума длиной 0,5 м и высотой 0,3 м, составляющую угол 60° с вертикалью? (10 минут)

Решение

Среднее значение давления воды на стенку равно: $p = \frac{\rho gh}{2}$

Площадь стенки: $S=2Lh$

Сила давления воды на стенку: $F=pS$

$$F = \frac{\rho g H \cdot 2HL}{2} = \rho g H^2 L$$

$$F = 1000 \cdot 10 \cdot 0,09 \cdot 0,5 = 450 \text{ Н}$$

Ответ: 450 Н

4. На гладком полу стоит большая тележка. На большой тележке длиной 4 м находится малая тележка длиной 2 м (см. рисунок). По малой тележке справа налево идёт зелёный человечек со скоростью 2 м/с. На какое расстояние переместится каждая из тележек, когда человек дойдёт до левого края малой тележки? Массы человечка и малой тележки одинаковы, а масса большой тележки в 2 раза больше. (5 минут)

Решение

Центр масс человечка и малой тележки находится на линии АВ. Так как массы малой тележки и человечка одинаковы, то после перемещения человечка (нижний рисунок) центр масс останется на той же линии. Следовательно, центр тяжести всей системы, в которую входят человек и обе тележки, тоже не переместится.

Из рисунка видно, что перемещение малой тележки равно 1 м.

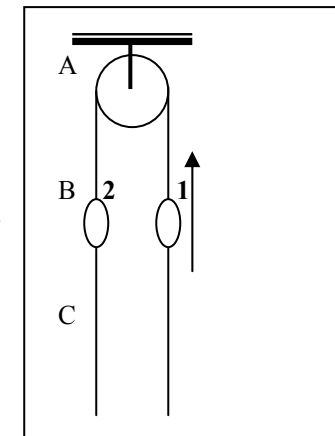
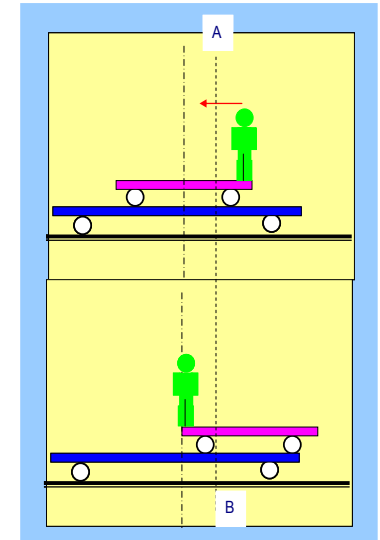
Большая тележка не перемещается

5. Две обезьяны одинаковой массы прицепились к концам верёвки, переброшенной через блок. Вторая обезьяна не предпринимает никаких действий, просто висит. Первая обезьяна карабкается вверх с постоянной скоростью. В какой точке окажется вторая обезьяна, когда первая достигнет блока? (5 минут)

Решение

Если считать систему тел: «обе обезьяны, верёвка, блок» замкнутой, то положение центра тяжести системы при всех взаимодействиях внутри системы не изменяется. Поэтому при равномерном подъёме первой обезьяны вторая должна опускаться. В конце движения она окажется в точке С.

Для равномерного движения обезьян достаточно небольшого начального импульса, далее движение будет происходить по инерции.



6. Перед быстро движущимся автомобилем оказалась каменная стена. Что сделать целесообразнее: затормозить или повернуть на 90° ? (7 минут)

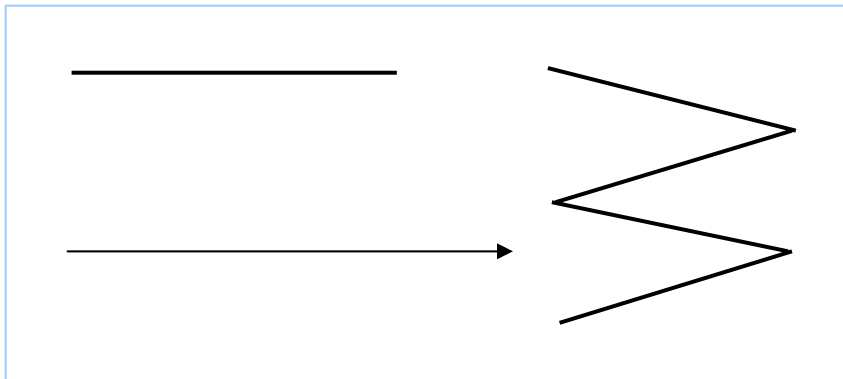
Решение

- 1) Тормозной путь: $\frac{mv^2}{2} = \mu mgs; s = \frac{v^2}{2\mu g}$
- 2) Радиус поворота: $\frac{mv^2}{R} = \mu mg; R = \frac{v^2}{\mu g}$

Как видим, радиус дуги окружности при повороте в 2 раза больше тормозного пути. Ответ: надо тормозить.

7. Вдоль ступеньки движущегося эскалатора туда и обратно бегают жуки. Нарисуйте примерный вид траектории жука. (5 минут)

Решение



8. Почему после размешивания ложечкой чая с заваркой чайники собираются в центре стакана? (7 минут)

Решение

Согласно уравнению Бернулли, чем больше скорость потока жидкости или газа, тем меньше давление внутри этого потока.

Вследствие трения о стенки стакана, скорость потока ближе к центру больше, следовательно, давление меньше.

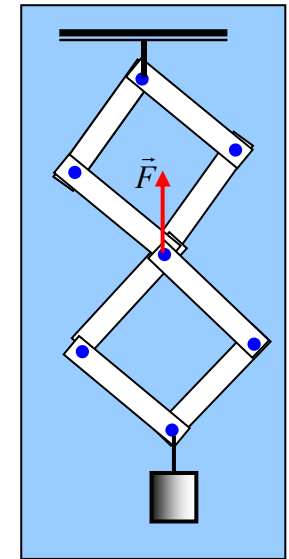
Чайники стремятся в область с более низким давлением.

9. Шарнирно соединённые стержни являются разновидностью простого механизма. Каково соотношение между силой F и весом груза P ? (5 минут)

Решение

Если действовать силой F в точке её приложения и перемещать груз, то когда точка приложения силы переместится на расстояние, равное диаметру квадрата, груз переместится на расстояние, которое в 2 раза больше. Выигрывая в расстоянии в 2 раза, мы в 2 раза проигрываем в силе.

Ответ: $F=2P$



10. Груз поднимают с помощью системы блоков, изображённой на рисунке. КПД каждого блока 90% . Каков КПД системы? (5 минут)

Решение

В указанной системе блоки неподвижны. Они не дают выигрыша в силе. На первом блоке полезная работа составляет $0,9$ от полной. На втором – $0,9$ от полезной на первом. На третьем – $0,9$ от полезной на втором, на четвертом – $0,9$ от полезной на третьем, т.е.:

$$A_{n1} = 0,9A = \eta A$$

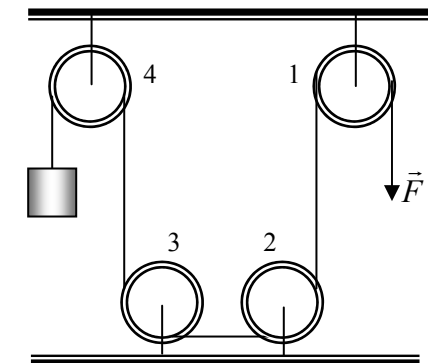
$$A_{n2} = 0,9 A_{n1} = 0,81 A = \eta^2 A$$

$$A_{n3} = 0,9 A_{n2} = 0,729 A = \eta^3 A$$

$$A_{n4} = 0,9 A_{n3} = 0,6561 A = \eta^4 A$$

$$\text{Тогда } \eta_{\text{ос}} = \frac{A_{n4}}{A} = \eta^4 = 0,6561$$

Ответ: $\approx 66\%$



ЭТАП 2

1. Чему была равна средняя сила сопротивления воды движению парохода, если он в течение 3 суток при средней скорости 4 м/с потратил 6 т угля? КПД двигателя 10%, удельная теплота сгорания угля $q = 33,5$ МДж/кг (7 минут)

Решение

$$\eta = \frac{F \cdot v \cdot t}{q \cdot m} \Rightarrow F = \frac{q \cdot m \cdot \eta}{v \cdot t}; F = \frac{33,5 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,1}{4 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 3,6 \cdot 10^3} = 19,4 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

2. Почему горячий чай остывает быстрее, если его налить в блюдце? (7 минут)

Решение

При испарении жидкости её температура понижается.

Чем больше площадь открытой поверхности жидкости, тем больше число молекул, покидающих жидкость.

При использовании блюдца площадь поверхности жидкости значительно больше, чем в стакане.

Температура чая быстро понижается

3. Для измерения температуры воды, имеющей массу 66г, в неё погрузили термометр, который показал $32,4$ °С. Какова действительная температура воды, если теплоёмкость термометра равна $1,8$ Дж/К, а перед погружением в воду он показывал температуру воздуха в помещении, равную $17,8$ °С? Удельная теплоёмкость воды равна 4200 Дж/кг*К (10 минут)

Решение

Теплота переходит от воды к термометру. Найдём начальную температуру воды

$$cm(t_{\text{воды}} - \theta) = C(\theta - t_{\text{терм}}) + cm\theta$$

Ответ: $32,5$ °С

4. Почему языки пламени тянутся вверх? Объясните механизм явления (10 минут)

Решение

Соприкасающийся с пламенем воздух нагревается ► плотность воздуха уменьшается ► на тёплый воздух действует выталкивающая сила ► тёплый воздух поднимается вверх ► на его место поступает снизу холодный воздух (явление конвекции).

5. В воде равномерно падает шарик из свинца. При перемещении шарика вниз на расстояние 4 м выделилось $0,16$ Дж теплоты. Каков объём шарика? Плотность свинца 11300 кг/м³ (7 минут)

Решение

Выделенное количество теплоты равно работе силы сопротивления. Надо найти силу сопротивления и умножить на перемещение.

$$F_c = mg - F_A; \frac{Q}{h} = \rho_c Vg - \rho Vg; \frac{Q}{h} = Vg(\rho_c - \rho);$$
$$V = \frac{Q}{hg(\rho_c - \rho)}; V = \frac{0,16}{4 \cdot 10 \cdot 10300} = 3,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \approx 0,4 \text{ см}^3$$

6. Два одинаковых тела падают с одинаковой высоты H . Одно из них неупруго ударилось о землю и осталось лежать, другое подпрыгнуло на высоту $0,2H$. В каком из тел выделилось больше тепла и во сколько раз? (7 минут)

Решение

При падении первого тела изменение потенциальной энергии тела, равное количеству выделившейся теплоты, равно $\Delta E_1 = mgH$

При ударе о землю второго тела выделилось количество теплоты $\Delta E_2 = 0,8 mgH$

Ответ: в первом случае выделилось количество теплоты в $1,25$ раз больше, чем во втором.

7. Почему ожог паром опаснее ожога кипятком? (5 минут)

Решение

При ожоге, тела кипятком, количество переданной телу теплоты можно определить $Q = cm\Delta T$, где $\Delta T = (100 - 37)$ °С

При ожоге паром добавляется количество теплоты, выделяющееся при конденсации пара $Q = mL$, где $L = 2300000$ Дж/кг

8. Всегда ли энергия переходит от тел с большей внутренней энергией к телам с меньшей внутренней энергией? (5 минут)

Решение

Не всегда. Теплота переходит от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Однако, тело, имеющее более высокую температуру, может обладать меньшей внутренней энергией, например, из-за малой массы.

9. Будет ли вода подниматься по кусочку сахара вверх в кабине искусственного спутника Земли? (5 минут)

Решение

Будет

10. Волк массой M и заяц массой m движутся на коньках по гладкому льду навстречу друг другу с одинаковыми скоростями v . В результате частично упругого соударения волк остановился, а заяц покатился в противоположном направлении с той же скоростью v . Какое количество теплоты выделилось при столкновении? Во сколько раз масса волка больше массы зайца? (10 минут)

Решение

Ответить на второй вопрос можно, используя закон сохранения импульса: $Mv - mv = mv \rightarrow M = 2m$

Количество выделенной теплоты равно разности кинетических энергий волка и зайца до и после взаимодействия.

$$Q = Mu^2/2 + mu^2/2 - mu^2/2 = Mu^2/2$$

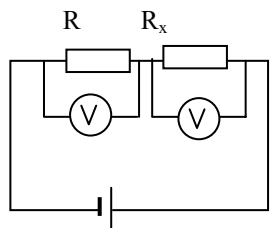
Ответ: $Q=Mu^2/2$; $M = 2m$.

ЭТАП 3

1. На заборе сидит воробей, заряженный отрицательно. Как он будет взаимодействовать с полосовым магнитом, поднесённым к нему северным полюсом? (5 минут)

Решение

Вокруг воробья электрическое поле. Магнит в электрическом поле ведёт себя как обыкновенная железная полоска. На ближнем к воробью конце магнита сосредоточится заряд противоположного с зарядом воробья знаком, т.е. положительный. Воробей и магнит будут **притягиваться** друг к другу.



2. Как можно найти неизвестное сопротивление резистора с помощью батарейки, вольтметра и резистора с известным сопротивлением. Покажите на схеме и объясните. (10 минут)

Решение

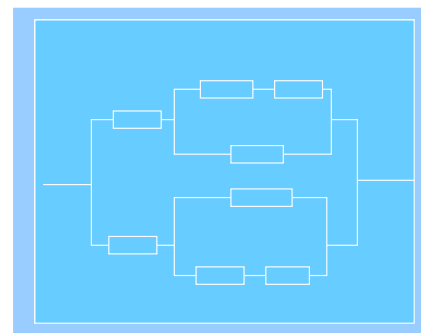
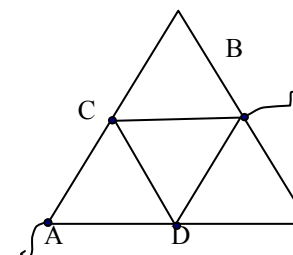
Надо соединить последовательно оба резистора и подключить к батарейке. Затем измерить напряжения на обоих резисторах. Так как сила тока в резисторах одинакова, отношение напряжений будет равно отношению сопротивлений. $U/R=U_x/R_x$. $R_x=U_xR/U$

Уравнение: $U/R=U_x/R_x$. $R_x=U_xR/U$

3. Каково сопротивление цепи АВ, если сопротивление каждого звена равно 12 Ом? (10 минут)

Решение

Вследствие симметрии схемы проводник CD можно убрать. Тогда эквивалентная схема будет выглядеть так: Сопротивление верхнего (нижнего) участка:



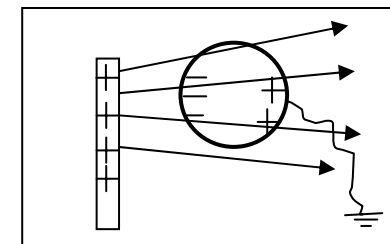
$$R^1 = \frac{24 \cdot 12}{36} + 12 \text{ Ом} = 20 \text{ Ом} . \text{ Сопротивление всей цепи равно } 10 \text{ Ом} .$$

4. Может ли тело при заземлении приобрести электрический заряд? (5 минут)

Решение

Может при следующих условиях:

1. Тело является проводником.
2. Тело находится в электрическом поле. Например (см. рисунок).

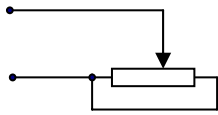


5. Сопротивление медной проволоки $R=1$ Ом, её масса 1 кг. Какова длина проволоки? Плотность меди $D = 8900 \text{ кг/м}^3$, Удельное сопротивление $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (7 минут)

Решение

$$R = \rho \frac{l}{S}; m = D l S \Rightarrow l = \sqrt{\frac{mR}{\rho D}}$$

Ответ: $l = 81 \text{ м}$



6. Сопротивление обмотки реостата 16 Ом, длина реостата 20 см. При каком положении движка реостата сопротивление показанной на рисунке цепи равно 4 Ом? (10 минут)

Решение

Эквивалентная схема:

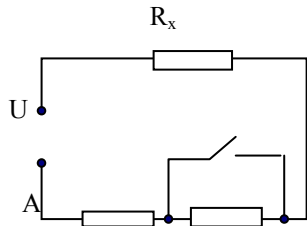
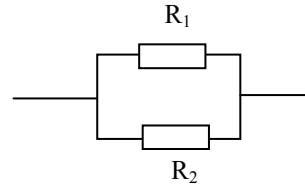
По условию: $R_1 + R_2 = 16$ Ом

$R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 4$ Ом

$$\frac{R_1 R_2}{16} = 4; R_2 = \frac{64}{R_1}; \frac{64}{R_1} + R_1 = 16;$$

$$R_1^2 - 16R_1 + 64 = 0; R_1 = 8 \text{ Ом}$$

Ответ: движок надо поставить посередине

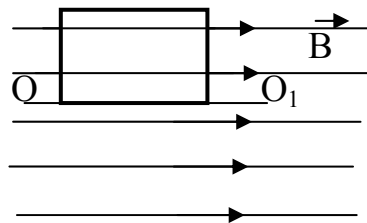


7. На участке цепи АВ выделяется одинаковая мощность независимо от того, замкнут или разомкнут ключ. Каково сопротивление R_x , если $R = 40$ Ом? Напряжение в цепи постоянно. (10 минут)

Решение

Мощность, выделяемая на участке цепи АВ при разомкнутом ключе $P_1 = I_1^2 (R + 3R) = I_1^2 4R$. Мощность,

выделяемая на участке цепи АВ при замкнутом ключе $P_2 = I_2^2 R$. Находим соотношение между токами, т.к. выделяемая мощность в обоих случаях одинакова $I_2 = 2I_1$. Сила тока во всей цепи при разомкнутом ключе $I_1 = U / (4R + R_x)$. Сила тока во всей цепи при замкнутом ключе $I_2 = U / (R + R_x)$. Т.к. Напряжение на всей цепи одно и то же, получим $I_1(4R + R_x) = I_2(R + R_x)$. Зная соотношение между токами, находим неизвестное сопротивление $R_x = 2R = 80$ Ом.



8. Укажите направление индукционного тока в рамке при её вращении по часовой стрелке (глядя слева) в магнитном поле вокруг оси OO_1 . (5 минут)

Решение

Так как при указанном вращении рамки магнитный поток через рамку не меняется, индукционный ток возникать не будет.

9. Расположите учёных в порядке хронологии сделанных ими основных открытий в области электричества и магнетизма: Г.Герц, М.Фарадей, Л.Гальвани, Д.Максвелл, А.Ампер, А.Попов, Х.Эрстед, А.Вольта. (7 минут)

Решение

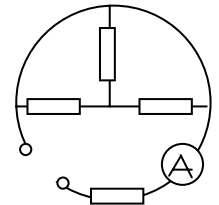
Л.Гальвани ► А.Вольта ► Х.Эрстед ► А.Ампер
► М.Фарадей ► Д.Максвелл ► Г.Герц ► А.Попов

10. Найдите силу тока, которую показывает амперметр. На схеме $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 12$ Ом. Напряжение на участке цепи 144В. (10 минут)

Решение

По схеме видно, что через резисторы 1,2,3 ток не идёт.
 $I = U/R = 12$ А

Ответ: 12 А



8. Электрический чайник имеет две спирали. При включении одной из них чайник закипает через 10 минут, при включении второй спирали – через 5 минут. Сколько времени придётся ждать закипания воды в чайнике, если эти спирали включить последовательно? (10 минут)

Решение 1

На нагревание воды идет количество теплоты $Q = cm\Delta t$. Во всех трех случаях оно одинаково. В первом случае $Q = (U^2 / R_1) \cdot \tau_1$. Во втором случае $Q = (U^2 / R_2) \cdot \tau_2$. Когда спирали включены последовательно, $Q = (U^2 / (R_1 + R_2)) \cdot \tau_3$. Сравниваем количество теплоты в первых двух случаях $(U^2 / R_1) \cdot \tau_1 = (U^2 / R_2) \cdot \tau_2$. Получим $R_2 / R_1 = \tau_2 / \tau_1$. Сравниваем количество теплоты в первом и третьем случае или втором и третьем $\frac{U^2}{R_1} \cdot \tau_1 = \frac{U^2}{R_1 + R_2} \cdot \tau_3$. Получим $\tau_3 = \tau_1 + \tau_2 = 15$ мин.

Решение 2

На нагревание воды идет количество теплоты $Q = cm\Delta t$. Во всех трех случаях оно одинаково. В первом случае $Q = (U^2 / R_1) \cdot \tau_1$ (1). Во втором

случае $Q = (U^2 / R_2) \cdot \tau_2$ (3). Когда спирали включены последовательно:

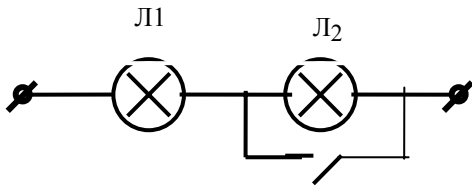
$$Q = \frac{U^2}{R_1 + R_2} \cdot \tau_3 \quad (3). \text{ Из (1) выразим } R_1 = \frac{U^2 \tau_1}{Q}. \text{ Аналогично из (2):}$$

$$R_2 = \frac{U^2 \tau_2}{Q}. \text{ Подставим в (3): } Q = \frac{U^2}{U^2(\tau_1 + \tau_2)/Q} \cdot \tau_3; \tau_3 = \tau_1 + \tau_2 = 15 \text{ мин.}$$

9. В вашем распоряжении ключ и две лампы. На лампе 1 написано: «220 В, 150 Вт», на лампе 2 – «220 В, 25 Вт»

Попробуйте составить такую цепь, чтобы при замыкании ключа включалась одна лампа, а при размыкании – другая. (7 минут)

Решение

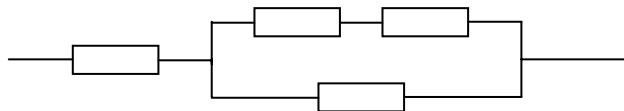


Чтобы одна лампочка включалась, а другая одновременно выключалась при помощи одного ключа, необходимо собрать схему, представленную на рисунке.

Т.к. вторая лампа имеет большее сопротивление, то при последовательном соединении практически все падение напряжения будет приходиться на нее, и она будет гореть полным накалом, а первая лампа гореть не будет. При замыкании ключа ток пойдет через ключ и первую лампу. При этом вторая лампа гореть не будет.

10. Как, используя 4 резистора по 3 Ом, составить цепь сопротивлением 5 Ом? (6 минут)

Решение

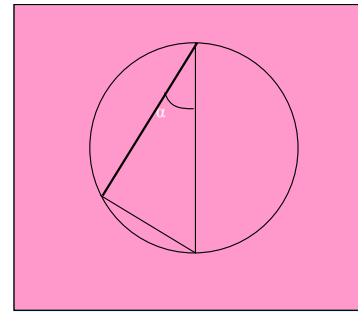


$$R_{\text{об}} = \frac{2R \cdot R}{2R + R} + R = 5 \text{ Ом}$$

Задачи третьего Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2010 г.

ЭТАП 1

1. Из точки, лежащей на верхнем конце вертикального диаметра окружности по жёлобам, установленным вдоль различных хорд этой окружности, одновременно начинают скользить без трения грузы. Какой угол с вертикалью образует жёлоб, по которому двигался груз, достигший границы окружности первым? (10 минут)



Решение

$$a = g \cos \alpha; s = 2R \cos \alpha;$$

$$s = \frac{at^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{4R \cos \alpha}{g \cos \alpha}} = \sqrt{\frac{4R}{g}}$$

Время движения не зависит от угла α . Грузы достигнут окружности одновременно при движении по любой

из хорд.

2. Пуля летит вертикально вверх, достигает верхней точки своего пути и вертикально падает вниз. В каких точках траектории ускорение пули имеет наибольшее и наименьшее значение? (5 минут)

Решение

На пулю действуют сила тяжести и сила сопротивления воздуха.

Сила сопротивления воздуха зависит от скорости пули. Она максимальна в момент начала движения и в конце движения.

В момент начала движения направления силы тяжести и силы сопротивления воздуха совпадают. Равнодействующая этих сил максимальна, потому и ускорение **максимально** по модулю.

В конце движения сила тяжести и сила сопротивления направлены противоположно. Ускорение **минимально**.

3. Тело массой 500г бросили вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с. Что больше, высота подъёма или дальность полёта по горизонтали и во сколько раз, если в горизонтальном направлении на тело действует ветер с постоянной силой 0,25 Н? (10 минут)

Решение

Высота подъёма: $h = v_0^2 / (2g) = 20 \text{ м}$. Время полета: $t = 2v_0 / g = 4 \text{ с}$

Дальность полета: $A = \frac{at^2}{2} = \frac{F}{m} \frac{t^2}{2} = 4 \text{ м}$

Высота подъема больше дальности полета в 5 раз

4. Можно ли в космическом корабле-спутнике измерить массу тела на рычажных весах? Если можно, то как это сделать? (5 минут)

Решение

Измерить массу на рычажных весах можно.

Для этого надо перемещать весы с ускорением перпендикулярно ко-ромыслу.

Тогда груз большей массы будет перевешивать.

5. Кубик массой $m = 1 \text{ кг}$ соскальзывает с клина массой $M = 4 \text{ кг}$, лежащего на горизонтальной плоскости. Высота клина $h = 1 \text{ м}$. Определить скорости клина и кубика после соскальзывания, если трение отсутствует. (8 минут)

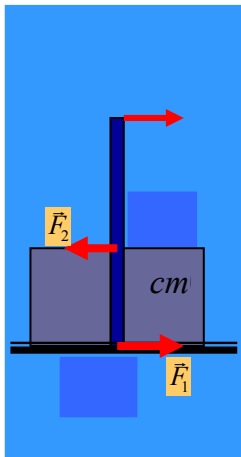
Решение

Закон сохранения механической энергии: $mgh = mv^2 / 2 + MU^2 / 2$

Из закона сохранения импульса: $U = mv / M$

Скорость кубика: $v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + m/M}} = 4 \text{ м/с}$

Скорость клина: $U = 1 \text{ м/с}$.



6. Между двумя одинаковыми кубиками массой m вставлена палочка длиной L . Если к концу палочки приложить горизонтальную силу F , один из кубиков сдвинется с места. Какой из них? Чему равен коэффициент трения кубиков о стол, если ребро кубика равно a ? (7 минут)

Решение

Максимальная сила трения покоя $E_{mp} = \mu mg$

Моменты сил относительно O_1 $F(L - a) = F_2 a$

Моменты сил относительно O_2 $FL = F_1 a$

$F_1 > F_2$

Сдвинется правый кубик.

Коэффициент трения: $\mu = \frac{F_{mp}}{N} = \frac{F_1}{mg} = \frac{FL}{amg}$

7. С какой высоты брошено горизонтально со скоростью 10 м/с тело массой $m = 2 \text{ кг}$, если его кинетическая энергия в момент удара о землю составила $E = 300 \text{ Дж}$. (10 минут)

Решение

Закон сохранения механической энергии: $mgh + mv_0^2 / 2 = E_k$

Высота, с которой брошено тело: $h = \frac{E_k}{mg} - \frac{v_0^2}{2g} = 10 \text{ м}$

8. Как изменится ход маятниковых часов-ходиков и наручных часов, если их перенести с Земли на Луну? (5 минут)

Решение

В маятниковых часах период колебаний зависит от ускорения свободного падения.

В наручных часах маятник пружинный, период которого не зависит от ускорения свободного падения.

На Луне маятниковые часы будут отставать от наручных, т.к. ускорение свободного падения примерно в 6 раз меньше чем на Земле.

9. Прямолинейный кусок проволоки массой **80 г** подвешен за середину (см. рисунок). Левую половину куска согнули, как показано на рисунке. Какой массы грузик надо подвесить в т.А, чтобы восстановить равновесие? (7 минут)

Решение

Правило равновесия относительно точки подвеса

$$m_2 g \frac{l}{2} + \frac{m}{2} g \frac{l}{4} = \frac{m}{2} g \frac{l}{2}$$

Масса груза $m_2 = m / 4 = 20 \text{ г}$

10. Первый мотор поднимает груз массой m_1 со скоростью v_1 . Второй мотор поднимает груз массой m_2 со скоростью v_2 . С какой скоростью v будет поднимать груз массой M мотор, мощность которого равна сумме мощностей первых двух моторов? (7 минут)

Решение

Средняя мощность при равномерном движении: $N = Fv = mgv$

Развиваемая мощность в первом случае: $N_1 = m_1 g v_1$

Развиваемая мощность во втором случае: $N_2 = m_2 g v_2$

Скорость груза при суммарной мощности: $v = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / M$

ЭТАП 2

1. Ведро, доверху наполненное водой, висит на крюке динамометра. Если опустить в ведро кусок железа, подвешенный на нити, то часть воды при этом выльется. Изменятся ли при этом показания динамометра? (7 минут)

Решение

Не изменится, т.к. высота столба жидкости остается прежней. Поэтому давление, а следовательно, и сила давления жидкости на дно останется прежней.

2. В ведре находится смесь воды со снегом, масса смеси равна m . Ведро внесли в комнату и сразу же стали измерять температуру смеси. В течение времени t_1 температура оставалась постоянной, а затем в течение времени t_2 она увеличивалась по линейному закону до величины θ . Определить массу снега в ведре, когда его внесли в комнату. Теплоёмкостью ведра пренебречь. Считать, что в единицу времени система получает одно и то же количество тепла. (10 минут)

Решение

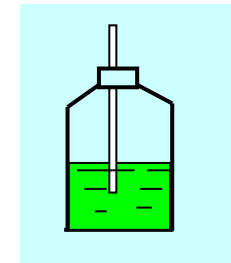
Энергия, поглощаемая смесью в единицу времени, постоянна. Тогда $Q_1/t_1 = Q_2/t_2$ или $\lambda m_C/t_1 = cm(\theta - 0)/t_2$

$$\text{Следовательно } m_C = \frac{t_1 cm \theta}{t_2 \lambda}$$

3. Каким образом можно заставить воду вытекать по трубе из сосуда? (5 минут)

Решение

1. Соединить сосуд через трубку с откачивающим насосом.
2. Нагнетать воздух в сосуд через дополнительную трубку.
3. Нагревать воздух в сосуде.
4. Кипятить воду.



4. Движущийся шар неупруго ударяет покоящийся шар такой же массы. Шары сделаны из материала с удельной теплоёмкостью c . После соударения шары нагрелись на Δt . Определить скорость шара перед ударом. (10 минут)

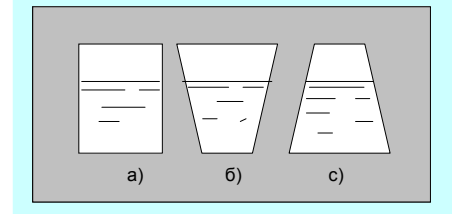
Решение

Закон сохранения импульса: $mv_0 = 2mv$;

$$\text{Закон сохранения энергии: } \frac{mv_0^2}{2} = \frac{2mv^2}{2} + c2m\Delta t;$$

$$\text{Тогда: } v_0 = 2\sqrt{2c\Delta t}.$$

5. Вода в сосудах а, б, с, изображённых на рисунке, охлаждается от 100°C до 10°C . Как при этом изменяется давление на дно сосудов в каждом случае? (5 минут)



Решение

При понижении температуры объём жидкости уменьшается.

Высота столба жидкости уменьшается быстрее всего в сосуде (с), а медленнее всего в сосуде (б). Поэтому в сосуде (с) давление жидкости будет уменьшаться быстрее всего, а медленнее всего давление будет уменьшаться в сосуде (б).

6. Перегретая вода в открытом сосуде при 110°C внезапно закипает. Какая часть воды при этом обратится в пар? Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$. (10 минут)

Решение

$$Lm_{\text{п}} = cm\Delta t$$

$$\frac{m_{\text{п}}}{m} = \frac{c\Delta t}{L} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 10}{2300 \cdot 10^3} = 0,018$$

7. В плотно закрытой бутылке, заполненной водой, имеется пузырёк воздуха. Когда бутылку нагревают, объём пузырька *уменьшается*. Как это согласуется с хорошо известным фактом, что воздух при нагревании расширяется намного сильнее, чем вода? (5 минут)

Решение

Жидкости практически несжимаемы, а газ хорошо сжимается, поэтому объём пузырька воздуха при повышении температуры становится меньше. При этом давление воздуха внутри пузырька становится больше атмосферного.

8. Из водоёма медленно с постоянной скоростью вытаскивают алюминиевый цилиндр, имеющий длину $3,5 \text{ м}$ и поперечное сечение $S = 100 \text{ см}^2$.

Когда над поверхностью оказалась $\frac{1}{4}$ часть длины цилиндра, верёвка оборвалась. Найти максимальную силу T , которую выдерживает верёвка. $\rho_A = 2700 \text{ кг/м}^3$. (10 минут)

Решение

$$F_A + T = mg$$

$$T_m = mg - \rho_B g \frac{3}{4} V_T = ghS \left(\rho_A - \frac{3}{4} \rho_B \right) =$$

$$= 9,8 \cdot 3,5 \cdot 100 \cdot 10^{-4} (2700 - 750) = 682,5 \text{ Н}$$

9. Почему дизельные двигатели на подводных лодках работают только в надводном положении? (5 минут)

Решение

1. В цилиндрах дизельного двигателя сжимается чистый воздух.
2. При погружении лодки исключается возможность забора воздуха из атмосферы.

10. Какой силой можно удержать вертикально стеклянную трубку массой 100 г в опыте Торричелли при нормальном атмосферном давлении? Длина трубки 1 м, внутренний диаметр 1 см, плотность ртути $\rho = 13600 \text{ кг/м}^3$. Ответ округлить до целых. (7 минут)

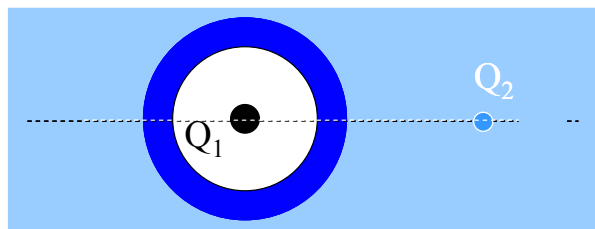
Решение

$$F = mg + \rho ghS = mg + \rho gh \frac{\pi d^2}{4} =$$

$$= 0,1 \cdot 10 + 13600 \cdot 10 \cdot 0,76 \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 9,1 \text{ Н}$$

ЭТАП 3

1. Внутри металлического шара находится положительный заряд Q_1 . Будет ли действовать электрическая сила на точечный заряд Q_2 , находящийся вне шара? (8 минут)



170

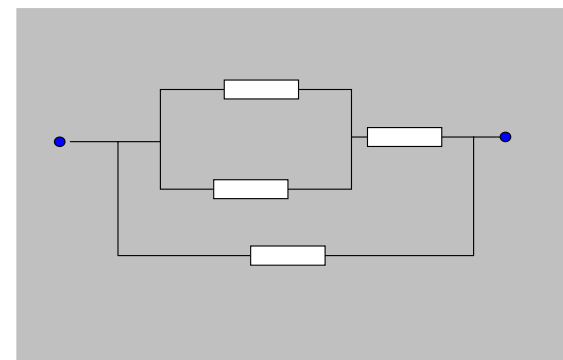
Решение

В электрическом поле заряда Q_1 внутренняя поверхность шара приобретёт по индукции такой же по модулю отрицательный заряд, а наружная поверхность – такой же по модулю положительный заряд. В электрическом поле, созданном всеми зарядами вне шара на заряд Q_2 будет действовать сила, направленная от шара, если заряд Q_2 положительный, и направленная к шару, если этот заряд отрицательный.

2. Из одинаковых резисторов $R = 5 \text{ Ом}$ требуется получить сопротивление 3 Ом. Как их следует соединить, чтобы обойтись наименьшим числом резисторов? (8 минут)

Решение

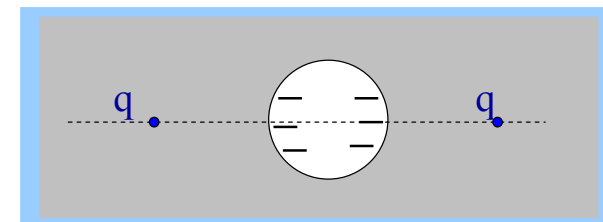
Указано на рисунке



3. Как изменится сила, действующая на одноимённые точечные заряды, если между ними поместить незаряженный металлический шар? (5 минут)

Решение

Свободные электроны в шаре распределятся так, что появится дополнительная сила, действующая на каждый из зарядов – сила притяжения. Результирующая сила, действующая на каждый заряд, станет меньше.

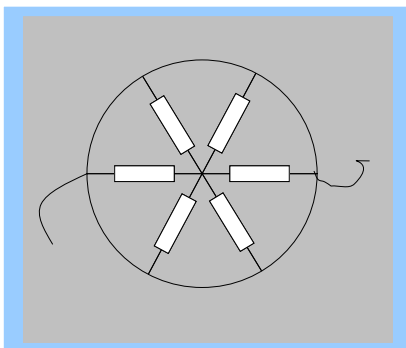


171

4. Чему равно сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке, если сопротивление одного резистора равно 19 Ом? (8 минут)

Решение

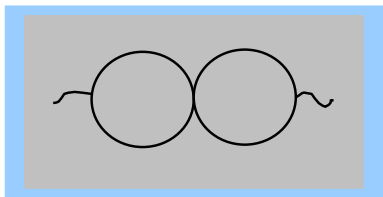
Сопротивление указанного участка равно нулю, потому что соединительные провода, показанные на схеме сплошной линией, не имеют сопротивления.



5. Из куска проволоки, сопротивление которой равно R, сделали два кольца, которые соединили последовательно. Определить сопротивление этого контура. (5 минут)

Решение

Каждое кольцо сделано из проволоки сопротивлением $\frac{1}{2} R$. Каждое кольцо можно рассматривать как параллельное соединение двух проводников, сопротивление каждого из которых равно $\frac{1}{4} R$. Тогда сопротивление каждого кольца равно $\frac{1}{8} R$. Последовательное соединение двух колец даст общее сопротивление $\frac{1}{4} R$.

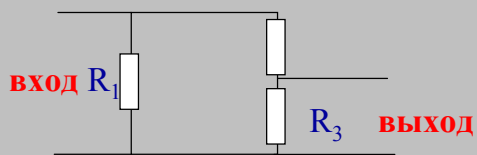
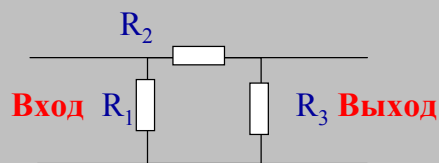


6. На вход электрической цепи подано напряжение $U_1 = 100$ В. Если сопротивление $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 60$ Ом, $R_3 = 40$ Ом, то какое напряжение окажется на выходе? (10 минут)

Решение

Начертим эквивалентную схему.

Сила тока через резисторы 2 и 3 равна $I = U_1 / (R_2 + R_3) = 1$ А
Напряжение на выходе равно $U_2 = I \cdot R_3 = 40$ Ом



7. На сколько нагреется медный стержень за 50 с, если по нему проходит ток плотностью $j = 4$ А/мм²? Потерями тепла в окружающую среду пренебречь. Плотность меди 8900 кг/м³, удельное сопротивление $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, удельная теплоемкость 380 Дж/(кг·°С). (10 минут)

Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания проводника:

$$Q = cm\Delta t = c\rho S l \Delta t$$

Количество теплоты, выделяющейся при прохождении электрического тока через проводник:

$$Q = I^2 R \tau = j^2 S^2 \rho_{эл} \frac{l}{S} \tau$$

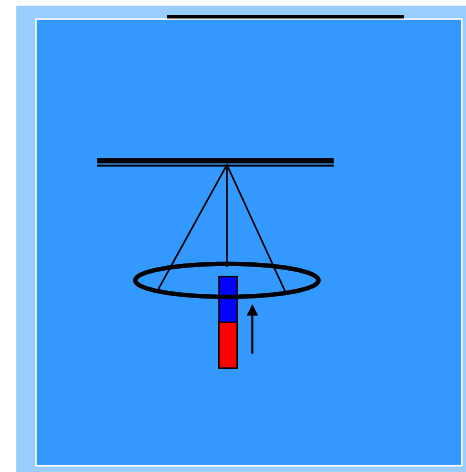
Т.к. тепловыми потерями можно пренебречь, то

$$j^2 S^2 \rho_{эл} \frac{l}{S} \tau = c\rho S l \Delta t; \quad \Delta t = \frac{j^2 \rho_{эл} \tau}{c\rho} = \frac{16 \cdot 10^{12} \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 50}{380 \cdot 8900} = 4^\circ\text{C}$$

8. В равномерно заряженное кольцо из диэлектрика вдвигают магнит. Какое возникает явление? (5 минут)

Решение

При движении магнита магнитный поток, пронизывающий кольцо, увеличивается. Возникает электрическое поле вокруг магнитного поля, которое действует с некоторой силой на заряды, распределенные по кольцу. В результате кольцо начинает вращаться вокруг своей оси.

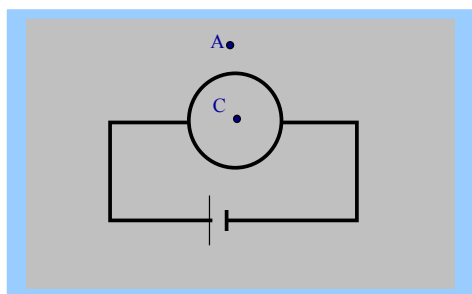


9. В 1822 г. французский физик Доменик Араго заметил, что колеблющаяся около положения равновесия магнитная стрелка быстро останавливается, если она находится в футляре из меди, тогда как без медного футляра её колебания долго не прекращаются. Объясните явление. (5 минут)

Решение

При колебаниях стрелки компаса магнитный поток, пронизывающий медный футляр, изменяется. В результате в меди возникают индукционные токи, которые создают вокруг себя магнитное поле. Магнитное поле ин-

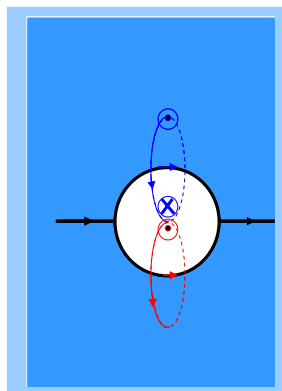
дукционных токов действует на стрелку компаса. Поэтому в медном футляре колебания стрелки затухают быстрее.



10. Укажите направления вектора магнитной индукции в точках А и С при прохождении тока через кольцо так, как показано на рисунке. 5 минут)

Решение

Указано на рисунке.



Ответ: В точке А вектор В направлен от чертежа к нам (перпендикулярно плоскости чертежа). В точке С вектор индукции магнитного поля равен нулю.

Задачи четвертого Кубка г. Уфы для учащихся 8–9 классов 2011 г.

ЭТАП 1

1. Семиклассник Коля разозлил двух восьмиклассниц, которые погнались за ним вдоль школьного коридора, заканчивающего тупиком. Длина коридора 60 м. Коля бежит со скоростью 21,6 км/ч, а восьмиклассницы – со скоростью 18 км/ч. Сколько времени Коля будет прижиматься к стене в конце коридора и ждать возмездия? (7 минут)

Решение

Время движения мальчика по коридору $t_1 = S / v_1$

Время движения девочек по коридору $t_2 = S / v_2$

Время ожидания возмездия

$$\Delta t = t_2 - t_1 = S \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) = 60 \text{ м} \left(\frac{1}{5 \text{ м/с}} - \frac{1}{6 \text{ м/с}} \right) = 2 \text{ с}$$

2. К потолку лифта на пружинке подвешен шарик. Лифт начинает свободно падать. Как будет двигаться шарик относительно лифта? (5 минут)

Решение

На шарик, подвешенный к пружинке, действуют сила тяжести и сила упругости. Как только лифт начинает свободно падать, шарик тоже начинает свободно падать относительно земли, а под действием силы упругости пружины начинает двигаться вертикально вверх относительно лифта. В последующем шарик останавливается и движется относительно лифта вниз, т.е. совершает колебательные движения.

3. Мяч массой 1 кг свободно падает с высоты 5 м. Когда он находился на расстоянии 1 м от земли, на него со скоростью 4 м/с наехал вагон массой 1000 кг. Найдите расстояние между вагоном и точкой приземления мяча в момент его падения. (10 минут)

Решение

Относительно вагона скорость шарика по горизонтали $v_x = v_2$

$$\text{Время падения шарика после удара вагона } t_2 = t - t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} - \sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}}$$

Расстояние, которое шарик пролетел относительно вагона по горизонтали после удара

$$S = v_2 t_2 = v_2 \left(\sqrt{\frac{2h_1}{g}} - \sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}} \right) = 4 \text{ м/с} \left(\sqrt{\frac{2 \cdot 5 \text{ м}}{10 \text{ м/с}^2}} - \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \text{ м}}{10 \text{ м/с}^2}} \right) = 0,42 \text{ м}$$

4. Как легче сдвинуть с места застрявшую в грязи телегу: прилагая силу к телеге или к верхней части обода колеса? (5 минут)

Решение

Сила, прикладываемая в обоих случаях одинаковая. Однако, когда ее прикладываешь к ободу колеса, то вращающий момент действующий на колесо больше, т.к. плечо прикладываемой силы больше в два раза (рис.). Следовательно, телегу легче сдвинуть с места, прикладывая силу к верхней точке обода колеса.

5. Стальной шарик движется по горизонтальной дороге со скоростью 5 м/с и попадает в квадратный стальной колодец. Сторона квадрата равна 1 м. Какова глубина колодца, если шарик, прежде чем упасть на дно, испытал со стенками 10 упругих столкновений? (10 минут)

Решение

Расстояние, которое пролетел шарик по горизонтали $S = Na$

Время движения шарика в колодце $t = \frac{S}{v_0} = \frac{Na}{v_0}$

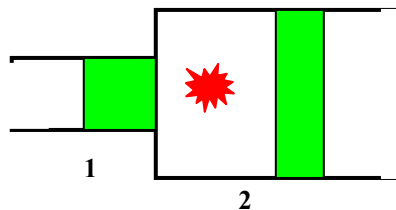
Тогда глубина колодца $h = \frac{gt^2}{2} = \frac{gN^2a^2}{2v_0^2} = \frac{10 \cdot 100 \cdot 1}{2 \cdot 25} = 20(m)$

6. При подъёме санок массой 1 кг в гору высотой 4 м работа силы трения оказалась равной по модулю 40 Дж. Затем мальчик отпустил санки. Какое расстояние пройдут санки, скатившиеся с горы, на горизонтальном участке? (7 минут)

Решение

Работа силы трения при скольжении тела вниз по наклонной плоскости также равна 40 Дж. Следовательно, расстояние, пройденное по горизонтали, равно нулю, т.к. потенциальная энергия, приобретенная телом в результате совершения работы по его подъему, идет на работу против сил трения.

7. Два цилиндра соединены так, как показано на рисунке. В цилиндрах находятся одинаковые по массе поршни. В пространстве между поршнями



произошёл небольшой взрыв, в результате чего поршни стали двигаться в противоположные стороны. Чему равно отношение скоростей, приобретённых поршнями в результате взаимодействия? Диаметр второго поршня в 2 раза больше диаметра первого. (10 минут)

Решение

Дополнительное давление, возникшее в результате взрыва, согласно закону Паскаля, передается на оба поршня одинаково

Опираясь на определение давления, запишем $F_1 / S_1 = F_2 / S_2$

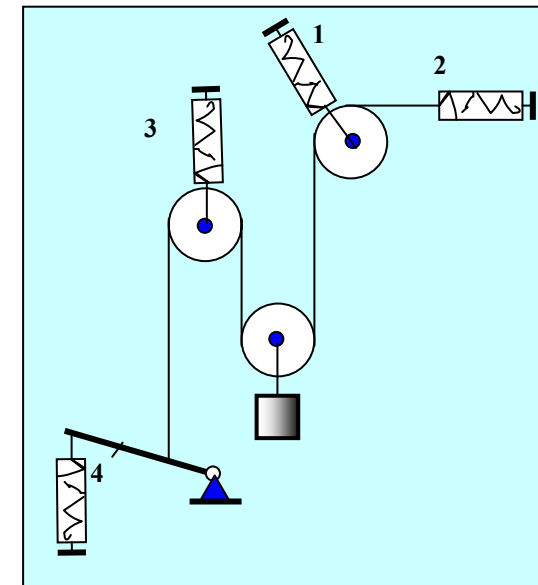
Согласно второму закону Ньютона $F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Тогда $\frac{m_1 \Delta v_1 / \Delta t}{\pi d_1^2 / 4} = \frac{m_2 \Delta v_2 / \Delta t}{\pi d_2^2 / 4}$

Следовательно $\frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2} = 4$

8. Что покажут динамометры 1, 2, 3, 4? Блоки невесомы, масса груза Г равна 0,6 кг. (8 минут)

Решение



Сила натяжения нити в каждой ее точке одинакова и равна 3 Н, т.к. подвижный блок дает выигрыш в силе в два раза. Первый динамометр покажет величину силы 3 Н, второй динамометр – 3 Н, третий – 6 Н, четвертый – 1 Н.

9. В океане на небольшой глубине произошёл взрыв. Звуколокаторы корабля, находящегося на расстоянии 2250 м от места взрыва зафиксировали два сигнала с интервалом времени 1 с. Какова глубина океана в данном месте? Скорость звука в воде принять 1500 м/с. (10 минут)

Решение

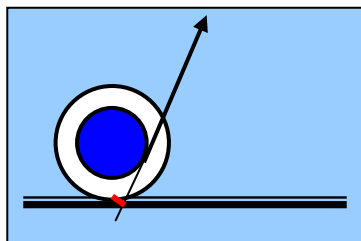
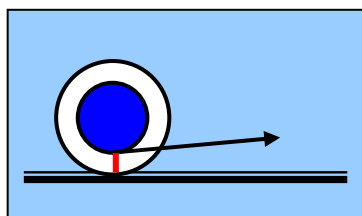
Время движения первого сигнала $t_1 = S / v_{зв} = 2250 / 1500 = 1,5$ с

Время движения второго сигнала $t_2 = \frac{2\sqrt{h^2 + (S/2)^2}}{v_{зв}}$

Тогда $h = \frac{1}{2} \sqrt{v_{зв}^2 (t_1 + \Delta t)^2 - S^2} = 0,5 \sqrt{1500^2 \cdot 2,5^2 - 2250^2} = 1500$ м

10. На катушку намотана нить. Если тянуть за конец нити под малым углом, катушка наматывается на нить. Если тянуть под большим углом, катушка разматывается, т.е. убегает от руки. Почему это происходит? Ответ обязательно поясните рисунком. (7 минут)

Решение



При малом угле момент силы, действующий на катушку, вращает ее по часовой стрелке (рис.). При большом угле момент силы, действующий на катушку вращает ее против часовой стрелки (рис.).

Этап 2

1. Картезианский водолаз. В пластиковую бутылку, заполненную водой, опускается пузырёк доньшком вверх, частично заполненный водой. Бутылка закрывается пробкой. Если надавить на стенки бутылки, пузырёк (водолаз) опускается вниз. Если не оказывать давление на стенки бутылки, пузырёк всплывает. Почему это происходит? (7 минут)

Решение

Дополнительное давление, оказываемое на жидкость, передается по закону Паскаля на воздух в пузырьке. Его объем уменьшается. Сила Архимеда уменьшается и становится меньше силы тяжести. В результате пузырек тонет. Когда добавочное давление исчезает, воздух в пузырьке расширяется. Его объем увеличивается. Сила Архимеда увеличивается и становится больше силы тяжести. В результате пузырек всплывает.

2. Если в калориметр с водой добавить одну ложку горячей воды, температура поднимется на 5 °С. Если добавить ещё одну ложку горячей воды, температура воды в калориметре окажется выше на 3 °С. Сколько ложек воды было первоначально в калориметре? (10 минут)

Решение

$$cNm_0\Delta t_1 = cm_0\Delta t_0, \quad cm_0(N+1)\Delta t_2 = cm_0(\Delta t_0 - \Delta t_2), \quad \Delta t_0 = N\Delta t_1, \\ (N+1)\Delta t_2 = N\Delta t_1 - \Delta t_2, \quad N = 2\Delta t_2 / (\Delta t_1 - \Delta t_2) = 2 \cdot 3 / (5 - 3) = 3$$

3. Мяч массой 0,5 кг, падая вертикально вниз, подлетел к воде со скоростью 10 м/с, погрузился в воду, а затем вылетел из воды со скоростью 2 м/с. На сколько градусов нагрелся мяч, если его теплоёмкость равна 200 Дж/°С? (7 минут)

Решение

По закону сохранения энергии изменение механической энергии мяча

$$\text{идет на его нагревание } C\Delta t = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}.$$

$$\text{Следовательно } \Delta t = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2C} = \frac{0,5(100 - 4)}{2 \cdot 200} = 0,12^\circ\text{C}.$$

4. Из колодца поднимают дырявое ведро с водой. Верёвка обрывается. Вытекает ли вода из отверстий во время падения ведра? (5 минут)

Решение

Во время падения ускорения, с которыми движется вода и ведро, одинаковые. Следовательно, вода не будет действовать на дно ведра, т.е. не будет оказывать давление на дно ведра и на его стенки. Т.о. вода из ведра вытекать не будет.

5. В калориметр, содержащий 200 г льда при температуре -10 °С, наливают 200 г воды. Постройте график зависимости конечной температуры t в калориметре от температуры t_b налитой воды. (10 минут)

Решение

Энергии воды, выделяющейся только при кристаллизации, достаточно, чтобы лед нагрелся до 0 °С.

Температура воды, необходимая для нагревания льда и его плавления

$$c_l m_l (0 - t_l) + \lambda_l m_l + c_e m_e (0 - t_e) = 0 \\ t_e = \frac{m_l (c_l (0 - t_l) + \lambda_l)}{c_e m_e} = \frac{2100 \cdot 10 + 330000}{4200} = 83,57^\circ\text{C}$$

6. Сможет ли человек открыть люк подводной лодки на глубине 100 м, если площадь люка равна 0,2 м²? (7 минут)

Решение

Давление, оказываемое водой на люк: $p = \rho gh$.

Сила давления воды на люк: $F_o = S(\rho gh) = 0,2(10^3 \cdot 10 \cdot 100) = 200 \text{ кН}.$

Человек не сможет открыть люк.

7. Аквариум, имеющий форму куба, полностью заполнен водой. Во сколько раз увеличатся силы давления воды на дно аквариума и на его стенку? (8 минут)

Решение

Сила давления на дно: $F_1 = \rho g a^3$

Сила давления на боковую стенку: $F_1 = \frac{1}{2} \rho g a^3$, $F_2 = \frac{1}{2} F_1$

8. Когда на открытой площадке стало слишком жарко, волейболисты перешли в прохладный зал. Придётся ли им подкачивать мяч или выпускать из него часть воздуха? Почему? (5 минут)

Решение

При понижении температуры скорость движения молекул уменьшается. Следовательно, уменьшается давление воздуха в мяче. Поэтому его придется подкачать

9. Алюминиевый кубик, подвешенный на нити к динамометру, опустили в сосуд с водой. На сколько процентов уменьшились показания динамометра? $\rho_{ал} = 2700 \text{ кг/м}^3$. (10 минут)

Решение

Динамометр показывает вес кубика

Изменение веса кубика $\Delta P = \rho_{ж} g V_m$

Тогда $\frac{\Delta P}{P_1} = \frac{\rho_{ж} g V_m}{mg} = \frac{\rho_{ж}}{\rho_m} = \frac{1}{2,7} = 0,37$

10. Почему температура газа в двигателе внутреннего сгорания во время такта «рабочий ход» понижается? (5 минут)

Решение

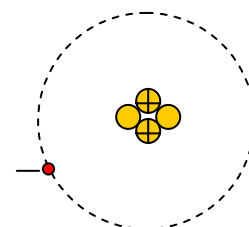
Во время такта «рабочий ход» газ расширяется, совершая работу. Т.к. притока энергии извне нет, то он совершает работу за счет внутренней энергии. Поэтому внутренняя энергия газа уменьшается, т.е. его температура понижается.

Этап 3

1. Какой атом или ион показан на рисунке? (5 минут)

Решение

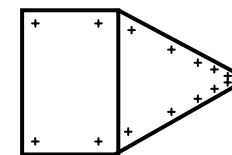
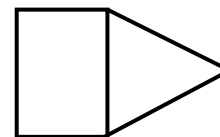
В ядре находится 2 протона и два нейтрона – ядро гелия. Вокруг ядра движется один электрон, т.е. суммарный заряд электронов меньше суммарного заряда протонов – положительный ион гелия.



2. Покажите с помощью схематического рисунка, как распределяется заряд на заряженном положительно конусообразном проводнике. (5 минут)

Решение

На рисунке



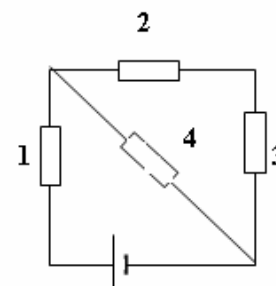
3. Сопротивления всех резисторов в цепи одинаковы и равны 6 Ом. Напряжение источника 3В. Найдите силу тока через каждый из резисторов. (10 минут)

Решение

$$R_{об} = R_1 + \frac{(R_2 + R_3)R_4}{R_1 + R_2 + R_4} = 6 + \frac{12 \cdot 6}{18} = 10(Ом);$$

$$I_1 = I_{об} = \frac{U_{об}}{R_{об}} = 0,3(A).$$

$$U_4 = U_2 + U_3 = I_{об} \frac{(R_2 + R_3)R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = 0,3 \cdot \frac{12 \cdot 6}{18} = 1,2(B).$$



$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = 0,2(A).$$

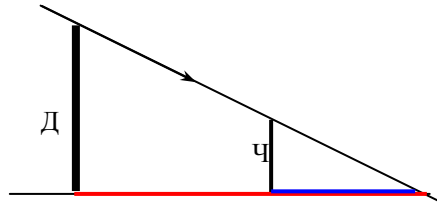
$$I_2 = I_3 = \frac{U_2 + U_3}{R_2 + R_3} = \frac{1,2}{6+6} = 0,1(A).$$

4. Как можно в солнечный день измерить высоту дерева, не влезая на него, если известен ваш рост? Сделайте рисунок, поясняющий ответ. (7 минут)

Решение

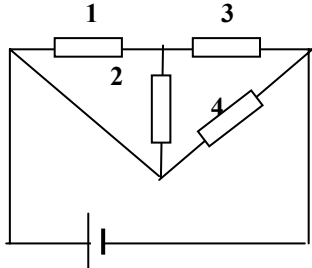
Через подобие треугольников. Зная высоту человека, длину его тени и длину тени дерева, можно определить высоту дерева.

$$\frac{h_{\text{д}}}{l_{m,\text{д}}} = \frac{h_{\text{ч}}}{l_{m,\text{ч}}}. \quad h_{\text{д}} = \frac{h_{\text{ч}} \cdot l_{m,\text{д}}}{l_{m,\text{ч}}}$$



5. Какова потребляемая в цепи мощность, если $U=16$ В, $R_1=30$ Ом, $R_2=60$ Ом, $R_3=40$ Ом, $R_4=120$ Ом? (10 минут)

Решение



$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 60}{90} = 20(Ом).$$

$$R'' = R' + R_3 = 60(Ом).$$

$$R_{\text{об}} = \frac{R'' R_4}{R'' + R_4} = \frac{60 \cdot 120}{60 + 120} = 40(Ом).$$

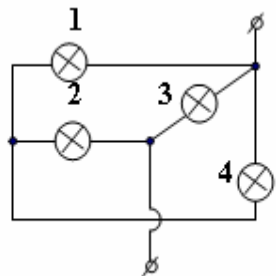
$$P = \frac{U^2}{R_{\text{об}}} = \frac{16^2}{40} = 6,4(Вт).$$

6. Схема, изображённая на рисунке, собрана из одинаковых лампочек и подключена к источнику напряжения. Расположите лампочки в порядке увеличения их яркости. (7 минут)

Решение

Количество выделяющейся энергии $Q = I^2 R t$.

Сила тока в лампочке 3: $I_3 = \frac{U}{R}$.



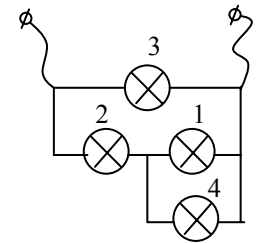
Энергия, выделяющаяся в 3 лампочке: $Q_3 = \frac{U^2}{R} t$.

Сила тока в лампочке 2: $I_2 = \frac{U}{3R/2} = \frac{2U}{3R}$,

выделяющаяся энергия: $Q_2 = \frac{4U^2}{9R} t$.

$U_1 = U_4 = I_2 \frac{R}{2} = \frac{2U}{3} \frac{R}{2} = \frac{1}{3} U$. $Q_1 = Q_4 = \frac{1}{9} \frac{U^2}{R} t$.

$Q_1 = Q_4 < Q_2 < Q_3$.



7. Три постоянных полосовых магнита одновременно начинают свободно падать в воздухе. Первый магнит пролетает через катушку, клеммы которой ни с чем не соединяются. Второй магнит пролетает через такую же катушку, клеммы которой соединены толстым медным проводником. Третий магнит падает в воздухе, не пролетая через катушку. Одновременно ли эти три магнита коснутся пола? (5 минут)

Решение

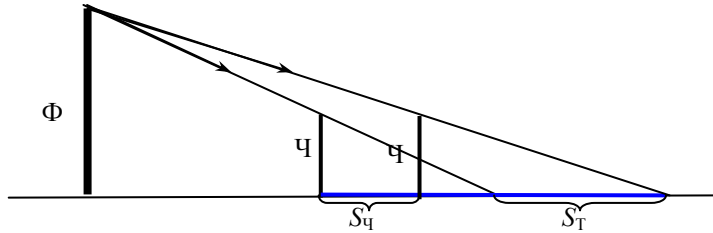
Магнитный поток, пронизывающий катушки, при падении через них магнитов сначала увеличивается, а потом уменьшается. В катушке, замкнутой толстым медным проводником, возникает индукционный ток, который своим магнитным полем препятствует изменению внешнего магнитного поля, т.е. магнитное поле индукционного тока направлено противоположно магнитному полю полосового магнита, когда он входит в нее и направлено в сторону магнитного поля полосового магнита, когда магнит выходит из нее. Следовательно, магнит в таком поле тормозится. Первый и третий магнит упадут одновременно, а второй магнит упадет позже из-за взаимодействия с магнитным полем индукционного тока.

8. Человек идёт вечером по аллее, освещённый подвешенным над аллеей фонарём. Что больше: скорость движения тени от головы человека или скорость ходьбы человека? Сделайте схематические рисунки, поясняющие ваш ответ. (5 минут)

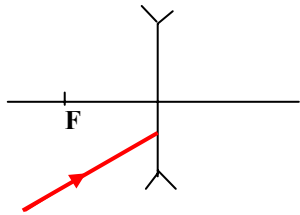
Решение

За одно и то же время расстояние, пройденное тенью от головы человека, больше расстояния, пройденного самим человеком. Следовательно, скорость движения тени от головы человека больше скорости движения самого человека.

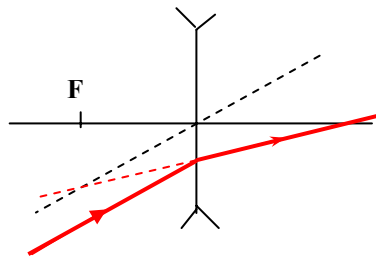
**Задачи пятого Кубка г. Уфы
для учащихся 8–9 классов 2012 г.**



9. Покажите дальнейший ход луча (5 минут)

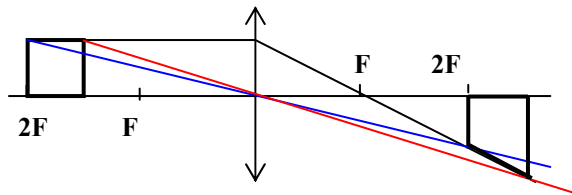
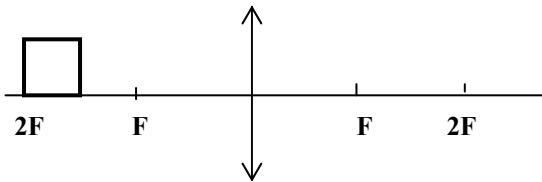


Решение



10. Постройте изображение квадрата в собирающей линзе, одна сторона которого находится на расстоянии $2F$ от линзы. (7 минут)

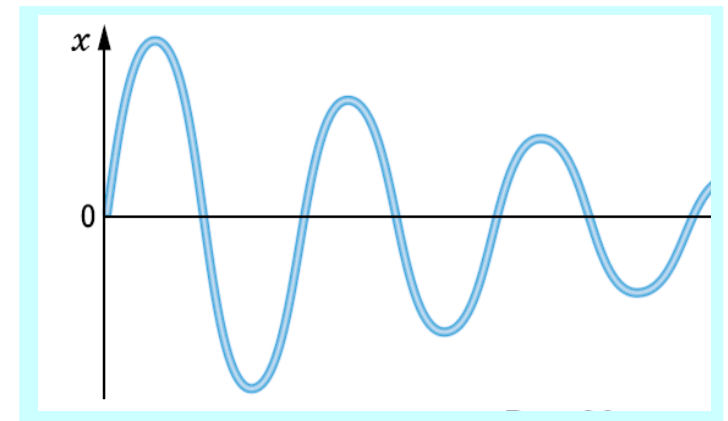
Решение



Этап 1

1. Представим себе Землю в виде сплошного однородного твёрдого шара. Пусть в этом шаре сделана сквозная шахта, которая начинается в России, проходит через центр шара и выходит в Америке. Над шахтой выпускают из рук стальной шарик. Покажите на графике зависимость положения тела относительно центра Земли, проходимо шариком, от времени с учётом сил сопротивления воздуха. (5 минут)

Решение



2. От сосульки оторвались две капли воды одна за другой с интервалом 1 с. Начертите график скорости второй капли в системе отсчёта, связанной с первой каплей. Координату скорости направьте вертикально вниз. (7 минут)

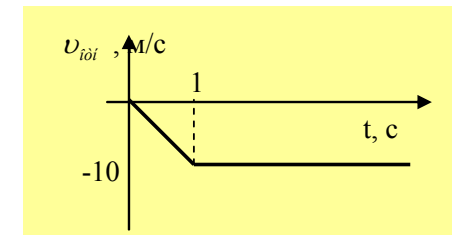
Решение

Скорость движения капель относительно земли $v_1 = gt_1$; $v_2 = gt_2$.

Скорость движения второй капли относительно первой

$$v_{отн} = v_2 - v_1 = -gt = -10 м/с.$$

Знак минус говорит о том, что вторая капля относительно первой движется вверх



3. Какой длины надо взять гаечный ключ, чтобы, прикладывая к нему силу 100 Н, можно было с помощью болта сжать детали с силой 40 кН, если шаг винта 3 мм? (10 минут)

Решение

Работа, совершаемая при повороте гаечного ключа $A_1 = F_1 2\pi \cdot l$.

Работа, совершаемая при сжатии детали $A_2 = F_2 h$.

Тогда $F_1 2\pi \cdot l = F_2 h$. Следовательно $l = \frac{F_2 h}{F_1 2\pi} = \frac{40000 \text{ Н} \cdot 0,003 \text{ м}}{100 \text{ Н} \cdot 2 \cdot 3,14} \approx 0,191 \text{ м}$.

4. Спортсмен преодолел дистанцию 5 км. Первый километр он пробежал за 3 мин, а на каждый последующий километр у него уходило на t с больше, чем на предыдущий. Найдите t , если известно, что средняя скорость на всём пути оказалась такой, как если бы спортсмен пробежал каждый километр за 3 мин 12 с. (7 минут)

Решение

Средняя скорость на всем пути $v_{cp} = \frac{s}{5t_1} = \frac{5000 \text{ м}}{5 \cdot 192 \text{ с}} \approx 5,21 \text{ м/с}$.

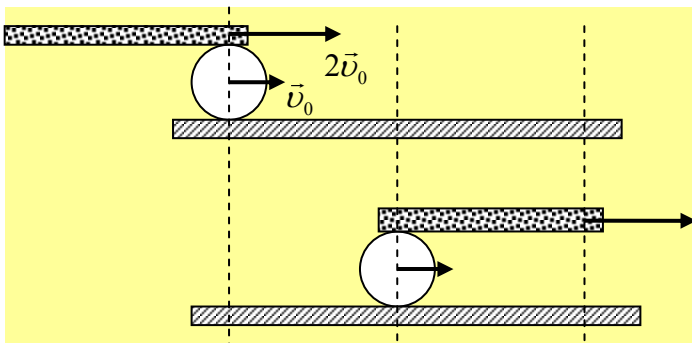
Или $v_{cp} = \frac{s}{t_0 + (t_0 + t) + (t_0 + 2t) + (t_0 + 3t) + (t_0 + 4t)} = \frac{s}{5t_0 + 10t}$.

Тогда $t = \frac{s/(5v_{cp}) - t_0}{2} = \frac{5000 \text{ м}/(5 \cdot 5,21 \text{ м/с}) - 180 \text{ с}}{2} = 5,97 \text{ с}$.

Задача 5 (5 минут)

5. Человек прокатил ладонью круглый карандаш по столу. Какой путь прошёл карандаш относительно стола, если длина ладони 10 см? На сколько переместилась при этом относительно стола ладонь? (5 минут)

Решение



Если относительно стола карандаш движется без проскальзывания, то его верхняя часть относительно стола движется со скоростью, вдвое большей, чем центр. Следовательно, с вдвое большей скоростью относительно стола движется и ладонь. Относительно ладони карандаш проходит такое же расстояние, что и относительно стола.

Следовательно, путь, пройденный карандашом относительно стола 10 см. Тогда ладонь относительно стола проходит путь 20 см.

6. Полный медный куб с длиной ребра $a = 6$ см имеет массу 810 г. Какова толщина стенок куба? Плотность меди $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$. (7 минут)

Решение

Объем, занимаемый медью $V = a^3 - (a - 2d)^3$.

Воспользовавшись определением плотности, запишем $a^3 - (a - 2d)^3 = \frac{m}{\rho}$.

$$\text{Толщина стенок } d = \frac{a - \sqrt[3]{a^3 - \frac{m}{\rho}}}{2} = \frac{6 \text{ см} - \sqrt[3]{6^3 \text{ см}^3 - \frac{810 \text{ г}}{8,9 \text{ г/см}^3}}}{2} \approx 0,5 \text{ см}$$

7. Масса мальчика 45 кг. Какую минимальную работу должен совершить мальчик, чтобы перепрыгнуть канаву шириной 3 м? (7 минут)

Решение

При прыжке работа мускулов ног равна изменению кинетической энергии $A = mv_0^2 / 2$. Чтобы совершенная работа была минимально, скорость также должна быть минимальной.

Для преодоления канавы нужно прыгнуть под углом, при котором дальность полета будет наибольшей при минимальной скорости. Этот угол равен 45° .

Дальность полета $s = v_0^2 / g$. Отсюда $v_0^2 = gs$.

$$\text{Тогда } A_{\min} = \frac{mgs}{2}; A = \frac{45 \cdot 10 \cdot 3}{2} = 675 \text{ Дж}$$

8. В ведро, доверху наполненное водой, насыпали 3 кг свинцовой дроби. На сколько изменился вес ведра с его содержимым? Плотность свинца $\rho = 11300 \text{ кг/м}^3$. (7 минут)

Решение

Вес ведра с водой $P_1 = (m_1 + m_e)g$.

Вес ведра с водой и дробью $P_2 = (m_1 + m_e - \Delta m_e + m_{ce})g$.

Масса вытесненной воды из ведра $\Delta m_в = \rho_в V = \rho_в \frac{m_{св}}{\rho_{св}}$.

Изменение веса ведра

$$\Delta P = (m_{св} - \Delta m_в)g = gm_{св} \left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{св}}\right) = 10 \text{ м/с}^2 \cdot 3 \text{ кг} \left(1 - \frac{1000 \text{ кг/м}^3}{11300 \text{ кг/м}^3}\right) = 27,345 \text{ Н}.$$

9. Два козла с разбегу столкнулись рогами и покатались клубком по земле со скоростью 3 м/с. Скорость первого козла перед столкновением была равна 12 м/с. Какой была скорость второго козла перед столкновением, если массы козлов равны? (7 минут)

Решение

Опираясь на закон сохранения импульса, запишем его для двух случаев.

1) Скорость второго козла до столкновения больше $m v_2 - m v_1 = 2 m v$. Тогда $v_2 = 2v + v_1 = 2 \cdot 3 \text{ м/с} + 12 \text{ м/с} = 18 \text{ м/с}$.

2) Скорость второго козла до столкновения меньше $m v_1 - m v_2 = 2 m v$. Тогда $v_2 = v_1 - 2v = 12 \text{ м/с} - 2 \cdot 3 \text{ м/с} = 6 \text{ м/с}$.

10. Отец и сын должны как можно скорее добраться от одного посёлка до другого, находящегося на расстоянии 45 км от первого. За какое время они могут это сделать, если в их распоряжении один велосипед, на котором может ехать только один человек? Отец едет на велосипеде со скоростью 25 км/ч, бежит со скоростью 10 км/ч. Соответствующие скорости для сына 12,5 км/ч и 5 км/ч. (10 минут)

Решение

Сначала сын проезжает на велосипеде расстояние s_1 , оставляет велосипед и идёт пешком расстояние $(s - s_1)$. Отец идёт пешком расстояние s_1 , потом едет расстояние $(s - s_1)$. Прибывают в посёлок одновременно:

$$\frac{s_1}{v_3} + \frac{s - s_1}{v_4} = \frac{s_1}{v_2} + \frac{s - s_1}{v_1}.$$

Отсюда находим $s_1 = 40 \text{ км}$

Тогда $t = \frac{40}{10} + \frac{45 - 40}{25} = 4,2 \text{ часа}$.

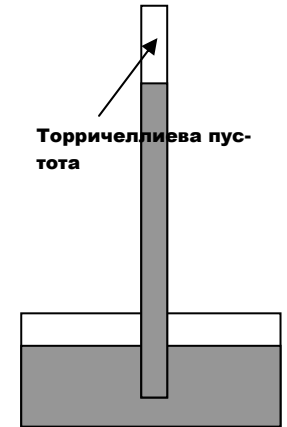
Ответ: 4ч 12

Этап 2

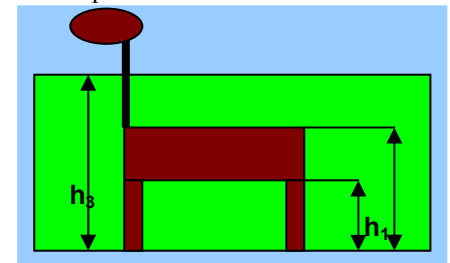
1. Что такое «торричеллиева пустота» и что в ней находится? (5 минут)

Решение

Когда в своем опыте Торричелли закрыл наполненную ртутью трубку, перевернул ее, опустил открытый конец в ртуть и убрал палец, часть ртути вылилась из трубки. Пространство, которое осталось над ртутью, называется **торричеллиевой пустотой**. В этом пространстве находятся **насыщенный пар ртути**.

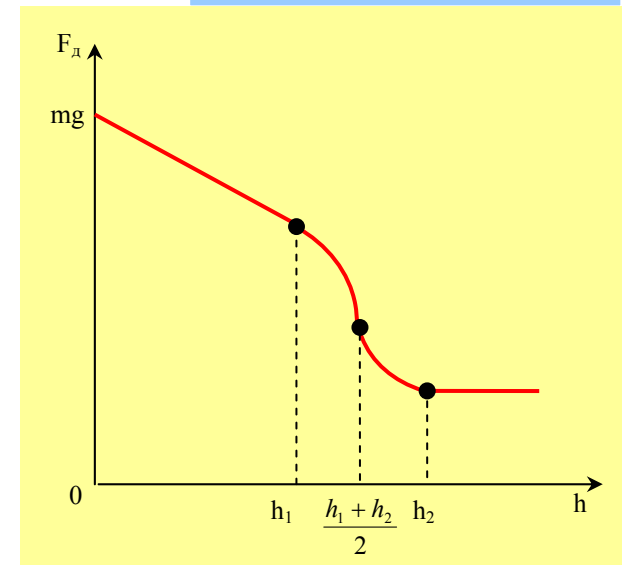


2. В одном из заливов экваториальной Африки на песке стоит жираф. Вода медленно прибывает, постепенно затопляя жирафа. Покажите на графике зависимость силы давления жирафа на песок от уровня воды. Ноги жирафа считать цилиндрами, расположенными вертикально. Туловище считать цилиндром, расположенным горизонтально. Толщиной шеи и объёмом



хвоста пренебречь. (7 минут)

Решение



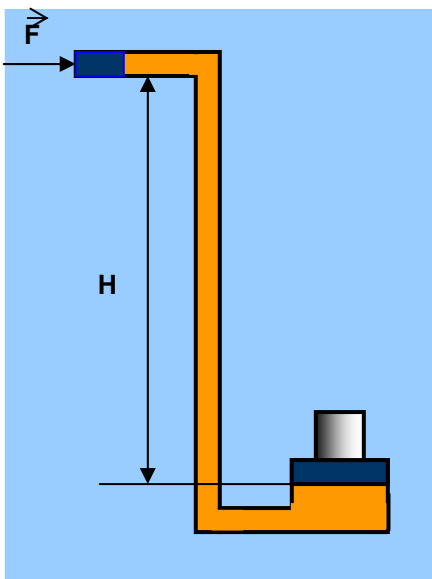
3. Объём оболочки воздушного шара 200 м^3 . Шар натягивает трос, которым от прикреплён к причальной мачте, с силой 400 Н . После освобождения шара он поднимается и парит на некоторой высоте. Какова плотность воздуха на этой высоте? (7 минут)

Решение

Сила натяжения каната $F = \rho_1 gV - mg$.

На некоторой высоте $\rho_2 gV = mg$;

$$\text{Тогда } \rho_2 = \rho_1 - \frac{F}{gV} = 1,29 - \frac{400}{9,8 \cdot 200} \approx 1,09 \text{ кг/м}^3.$$



4. Какой массы груз можно поднять с помощью гидравлической машины, изображённой на рисунке, прикладывая силу F , равную 500 Н ? Площадь большого поршня больше площади малого в 20 раз. Высота $H = 10 \text{ м}$, плотность масла, заключённого между поршнями, равна 800 кг/м^3 . (8 минут)

Решение

На одном уровне давление одинаковое. На уровне нижнего поршня:

$$\frac{F}{S_1} + \rho gH = \frac{mg}{S_2}.$$

Тогда

$$m = \frac{FS_2}{S_1g} + \rho HS_2.$$

$$m = \frac{500 \cdot 20}{10} + 800 \cdot 10 \cdot 0,002 = 1016 \text{ кг}.$$

5. В калориметре находится лёд при температуре -5°C . Какой была масса льда, если после добавления в калориметр 15 г воды, имеющей температуру 20°C , и установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной -2°C ? Теплоёмкостью калориметра пренебречь. (10 минут)

Решение

Из закона сохранения энергии в тепловых процессах

$$c_{л}m_{л}(t - t_{л}) + c_{в}m_{в}(t_{пл} - t_{в}) - \lambda m_{в} + c_{л}m_{в}(t - t_{пл}) = 0.$$

$$\text{Отсюда } m_{л} = \frac{-m_{в}[c_{в}(t_{пл} - t_{в}) - \lambda + c_{л}(t - t_{пл})]}{c_{л}(t - t_{л})}.$$

$$m_{л} = \frac{-0,015[4,2 \cdot 10^3(0 - 20) - 333 \cdot 10^3 + 2,1 \cdot 10^3(-2 - 0)]}{2,1 \cdot 10^3(-2 + 5)} \approx 1 \text{ кг}.$$

6. Радиоактивный препарат, испускающий за каждую секунду $1,7 \cdot 10^{11}$ альфа-частиц, помещён в медный контейнер массой $0,5 \text{ кг}$. За 30 минут температура контейнера повысилась на $1,3^\circ\text{C}$. Найдите энергию одной альфа-частицы, считая, что энергия всех частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Теплоёмкостью препарата пренебречь. Удельная теплоёмкость меди составляет $380 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$. (7 минут)

Решение

Энергия, полученная контейнером $Q = cm\Delta t$. Энергия альфа частиц

$$W = NE_{\alpha}. \text{ Количество альфа частиц за } 30 \text{ минут } N = \frac{N_0\tau}{\tau_0}.$$

$$\text{Тогда } \frac{N_0\tau}{\tau_0} E_{\alpha} = cm\Delta t. \quad E_{\alpha} = \frac{cm\Delta t\tau_0}{N_0\tau} = \frac{380 \cdot 0,5 \cdot 1,3 \cdot 1}{1,7 \cdot 10^{11} \cdot 1800} \approx 8,07 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Задача 7 (7 минут)

7. Перегретая вода в открытом сосуде при 110°C внезапно закипает. Какая часть воды при этом обратится в пар? $c = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$; $L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. (7 минут)

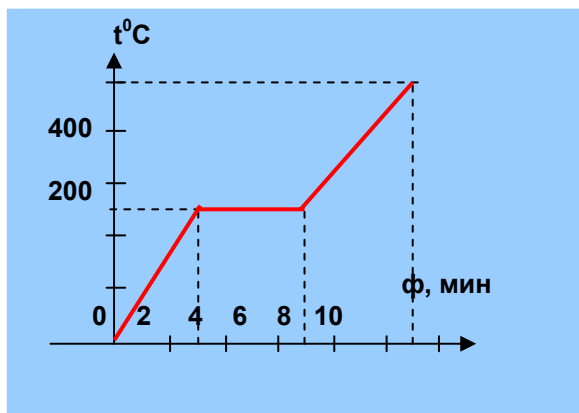
Решение

Количество теплоты, отдаваемое водой при остывании до температуры кипения при нормальном давлении $Q_1 = cm\Delta t$.

Выделившаяся энергия идет на кипение воды $Q_2 = Lm_n$.

$$\text{Тогда } \frac{m_n}{m} = \frac{c\Delta t}{L} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 10}{2300 \cdot 10^3} \approx 0,018.$$

8. На рисунке приведён график зависимости от времени ϕ температуры t одного из сплавов А, В, С, D, характеристики которых приведены в таблице. Известно, что за каждую секунду сплав получал одно и то же количество теплоты. Какой это может быть сплав? (10 минут)



	A	B	C	D
c , кДж/кг·град	0,12	0,2	0,24	0,16
$t_{\text{плавления}}$, °C	250	300	250	250
λ , кДж/кг	22,5	55	80	40

Решение

По температуре плавления это могут быть сплавы А, С или D. Энергия, поглощаемая сплавом в единицу времени одна и та же

$$\frac{Q_1}{\tau_1} = \frac{Q_2}{\tau_2} = \frac{Q_3}{\tau_3} \text{ или } \frac{c_m m \Delta t_m}{\tau_1} = \frac{\lambda m}{\tau_2} = \frac{c_{ж} m \Delta t_{ж}}{\tau_3}$$

Подставим численные значения $\frac{c_m m \cdot 250}{3} = \frac{\lambda m}{4} = \frac{c_{ж} m \cdot 350}{4}$

Из сравнения удельной теплоемкости сплава в твердом состоянии и удельной теплоты плавления $c_m = \frac{3}{4} \frac{\lambda}{250}$ получим сплав С.

9. Для чего «сбивают» показания медицинского термометра? Нужно ли это делать с лабораторным термометром? (5 минут)

Решение

В лабораторном термометре жидкость свободно может расширяться и сжиматься при изменении температуры среды, в которой находится термометр. В медицинском же термометре ртуть может только расширяться, т.к. между резервуаром со ртутью и трубкой находится узкий канал. Поэтому медицинский термометр перед измерением температуры встряхивают, чтобы его начальные показания были ниже измеряемой температуры.

10. При кипении чайника клубы тумана появляются не у самого носика, а несколько дальше. Чем заполнен промежуток? (6 минут)

Решение

Туман представляет собой мельчайшие капельки воды, сконденсированной на микроскопических пылинках, ионах газов и т.п. Промежуток между носиком чайника и клубами тумана заполнен паром, который ещё не успел сконденсироваться. Пары жидкости невидимы.

Ответ: Водяным паром.

Этап 3

1. Для чего металлический шар на стержне электрометра делают полым, с отверстием у поверхности? (5 минут)

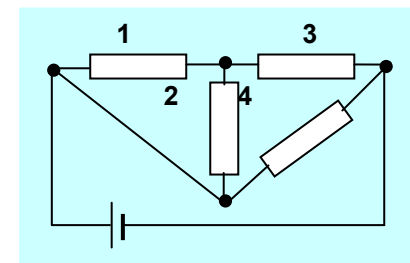
Решение

Чтобы иметь возможность полностью передать шару заряд от небольшого заряженного тела. Если прикоснуться к внутренней стороне шара электрометра, то весь заряд с небольшого тела переходит на шар, т.к. заряды будут распределяться по поверхности проводника.

2. Какая мощность выделяется в резисторе 4, если $U=16\text{В}$, $R_1=30\text{ Ом}$, $R_2=60\text{ Ом}$, $R_3=40\text{ Ом}$, $R_4=160\text{ Ом}$? (10 минут)

Решение

$$P_4 = \frac{U^2}{R_4} = \frac{16^2}{160} = 1,6\text{Вт}$$



3. Какие действия тока можно наблюдать, пропуская ток через морскую воду? (5 минут)

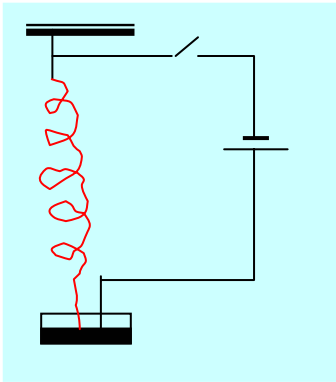
Решение

Тепловое, химическое, магнитное.

4. Электрическая лампочка мощностью 60 Вт горит 10 часов в день. Какова масса воды, которая должна пройти через плотину ГЭС для получения такого количества электроэнергии? Высота плотины 20м. Потери энергии составляют 40%. (10 минут)

Решение

$$\eta mgh = Pt, \quad m = \frac{Pt}{\eta gh} = \frac{60 \cdot 10 \cdot 3600}{0,6 \cdot 10 \cdot 20} = 18\text{т}$$



5. Мягкая металлическая пружина висит, погрузившись нижним концом в чашечку со ртутью на небольшую глубину. Что произойдет после замыкания ключа? (6 минут)

Решение

Металлическая пружина будет совершать колебания. После замыкания ключа по пружине пойдет электрический ток, в витках токи имеют одинаковое направление, поэтому витки под действием силы Ампера будут притягиваться друг к другу. Пружина будет сжиматься, пока не

оторвется от поверхности ртути. Цепь разрывается. Под действием силы тяжести пружина пойдет вниз и опять коснется поверхности ртути. Цепь замыкается и т.д.

6. Гирлянда, включённая в сеть 220 В, состоит из одинакового числа ламп, на которых написано «9В, 5Вт». Одна из ламп перегорела. В вашем распоряжении следующие три лампы: «9В, 2Вт», «4В, 3 Вт», «12В, 4 Вт». Какую из них вы используете для замены? (8 минут)

Решение

Сила тока, на которую рассчитана каждая лампочка $I = P / U = 5 / 9 \approx 0,56 A$. Для замены подойдет лампочка, которая рассчитана минимум на данную силу тока.

По первой максимально возможный ток – 0,22 А.

По второй максимально возможный ток – 0,75 А.

По третьей максимально возможный ток – 0,33 А.

Указанному критерию удовлетворяет только вторая лампа. Накал этой лампы будет неполным.



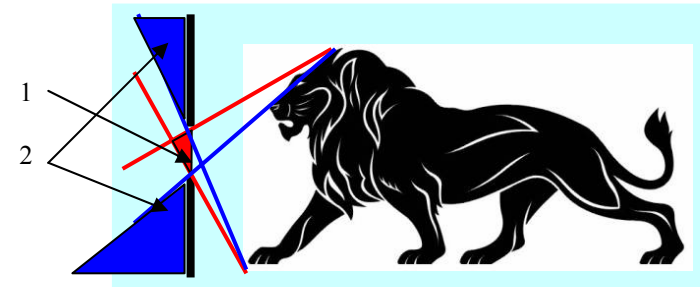
7. В заборе имеется длинная горизонтальная щель, а за забором находится лев. Повторите рисунок в тетради и отметьте различными цветами или различной штриховкой области, из которых через щель: а) виден весь лев; б) видна часть льва; в) совсем не видно льва. (8 минут)

Решение

Красная область – полная видимость льва (1).

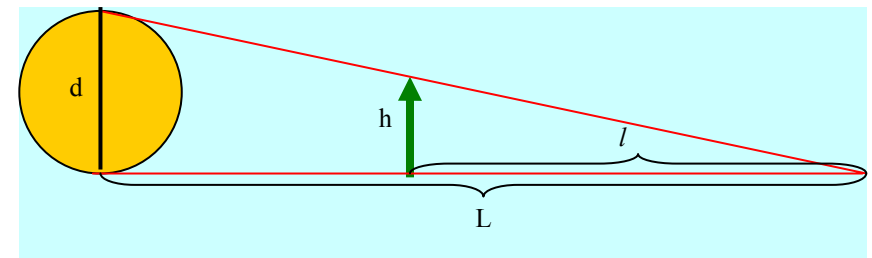
Синяя область – слепая зона (2).

Остальная область – частичная видимость.



8. Солнце заходит за холм, на вершине которого стоит одинокая сосна высотой 30 м. На каком расстоянии от сосны находится человек, если ему кажется, что высота сосны равна диаметру солнечного диска? Расстояние от Земли до Солнца: 150 млн км, радиус Солнца: 700 000 км. (8 минут)

Решение



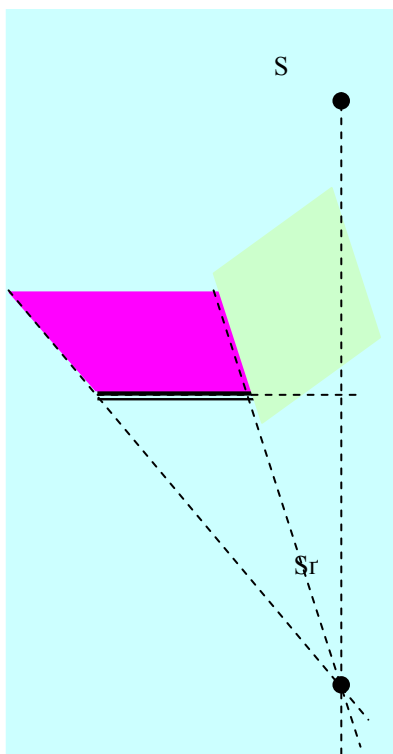
$$\frac{l}{L} = \frac{h}{d}; l = L \frac{h}{d}$$

$$l = 150 \cdot 10^9 \frac{30}{2 \cdot 7 \cdot 10^8} \approx 3214 м$$

9. На рисунке показано зеркало и выделена область видения некоторой точки в этом зеркале. Найдите графически положение этой точки. (7 минут)

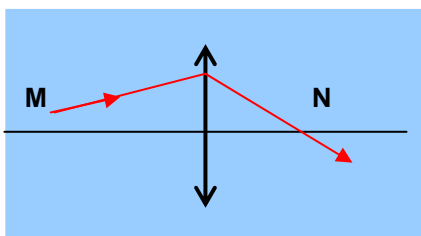
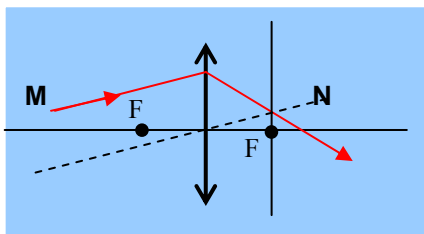
Решение

Искомая точка S. Ее изображение S_г.



10. На рисунке показана главная оптическая ось MN линзы и ход одного из лучей. Найдите построением положение фокусов линзы. (6 минут)

Решение



Результаты турнира и методические возможности

Победители Кубка города Уфы среди учащихся 8-9 классов с 2007-2012 года:

II Кубок 2008-2009 учебный год - команда гимназия №93,

III Кубок 2009-2010 учебный год – команда гимназии №93,

IV Кубок 2010-2011 учебный год – команда гимназии №93

V Кубок 2010-2011 учебный год – команда гимназии №93.

В течение пяти лет лидерами Кубка города Уфы по физике среди учащихся 8-9 классов общеобразовательных учреждений были команды учащихся 8-9 классов с гимназии №93 Октябрьского района. В следующей таблице показаны команды-победители и команды-призеры с общеобразовательных учреждений пяти Кубков по физике.

Этап/ года	место	2007-2008 уч.г.	2008-2009 уч.г.	2009-2010 уч.г.	2010-2011 уч.г.	2011-2012 уч.г.
I	1	гимназия №93	Бакалы 2	гимназия №93	гимназия №93	Биктырыш
	1		Лицей №83			
	2	ОУ №114	ОУ №103	Биктырыш	лицей №153	гимназия №3
	3	лицей №62	гимназия №3	Бакалы 2	лицей №83	гимназия №93
	3			лицей №155	Бакалы 2	
II	1	лицей №62	гимназия №93	лицей №62	гимназия №93	гимназия №93
	2	гимназия №93	гимназия №91	гимназия №82	лицей №62	лицей №153
	3	гимназия №3	гимназия №16	гимназия №93	гимназия №3	гимназия №3
III	1	лицей №83	гимназия №82	гимназия №93	лицей №153	гимназия №93
	1			Бикты-		

				рыш		
	2	ОУ №141	гимназия №115	гимназия №82	гимназия №3	лицей №153
	3	лицей №62	гимназия №93	лицей №155	лицей №83	гимназия №3
Ито г	1	гимназия №93	гимназия №93	гимназия №93	гимназия №93	гимназия №93
	2	лицей №62	лицей №83	Биктырыш	лицей №153	лицей №153
	3	ОУ №141	Бакалы 2	гимназия №82	гимназия №3	гимназия №3
	3		ОУ №103			
Количество команд на I этапе		55	70	61	53	53

По этапам командами-призерами являлись учащиеся с:

- гимназии №93 - 10 раз,
- гимназии №3 – 7 раз,
- лицей №62 – 4 раза,
- лицей №83 – 4 раза гимназии №82 – 3 раза,
- лицей №153 -3 раза,
- Бакалы №2 – 3 раза.

В течение пяти лет составителями заданий на Кубок были:

Изергин Эдуард Тимофеевич – кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей физики БГПУ им. М.Акмуллы; Косарев Николай Федорович – кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей физики БГПУ им. М.Акмуллы. В состав жюри входили: Изергин Эдуард Тимофеевич, Косарев Николай Федорович, Идрисова Фания Гайзуллаевна, методист ЦДТТ «Биктырыш». В состав членов жюри на отборочный первый этап олимпиады, когда участвовали от 53 до 70 команд, входили Даутова Кинзибану Ваисовна, Сайтов Рафаэль Кадымович.

Анализируя решение задач ребят можно сделать вывод, что учащиеся плохо справлялись с заданиями:

- на составление уравнения теплового баланса,
- построение графиков на зависимости количества теплоты от времени или от температуры, зависимости скорости от времени в системах отсчета движущегося тела,
- определение давления в плотных средах,

- построение изображения фигуры в рассеивающей и собирающей линзе,
- сложная задача оказалась на определение механической работы в механических устройствах,
- не смогли ответить на вопрос о различии устройства медицинского градусника и термометра.

С участниками заключительного этапа проводилось анкетирование, направленное на рефлексию по итогам олимпиад и получение обратной связи. В анкетировании принимало участие 60 человек (учеников и учителей). По результатам опросника учителей физики показаны выборочные ответы: **На первый вопрос:** «Какие качества формируются у учащихся в процессе подготовки и проведения Кубка города Уфы по физике?»

- умение членов команд работать в коллективе, ее сплоченность;
- командный дух;
- умение слушать и прислушиваться к мнению других;
- умение отстаивать свой ход решения;
- умение добывать дополнительные знания самостоятельно;
- умение ребят концентрироваться и за малый интервал времени найти ответ на поставленный вопрос;
- вырабатывается четкость в ответах, логика в цепочках умозаключений;
- проверяется степень усвоения материала по школьной программе учащимися;
- проявление ответственности, решительности, воли к победе, стремления побеждать;
- возможность самореализации своих способностей, саморазвития;
- получения навыка и умения в решении задач повышенной сложности;
- отличная подготовка к ЕГЭ;
- привитие уважения и любви к предмету;
- не бояться задач – «они (задачи) не кусаются».

Второй вопрос «Изменились ли Ваши отношения с учениками в процессе подготовки к олимпиаде, каким образом?»

- изменились;
- стали более доверительные;
- ближе, дружнее;
- повысился интерес к предмету.

Третий вопрос: «Что Вам как педагогу дает участие в Кубке города Уфы по физике?»

- возможность оценить свои силы как учителя,

- определить направления обучения для одаренных детей;
- быть всегда в тонусе;
- уверенность в своих силах;
- новые знания, впечатления.
- при подготовке приходится много разбирать дополнительный материал;
- опыт решения нестандартных задач;
- опыт подготовки детей к подобным олимпиадам;
- мне дает показать и сравнить уровень знания моих учащихся на городском уровне;
- общение с коллегами;
- новый взгляд и новые акценты на, казалось бы, хорошо знакомые темы;
- участие в Кубке не дает мозгам застаиваться, побуждает к деятельности.

Ниже приводится таблица с вопросами анкетирования и в основном похожими ответами учеников, подсчитанных в процентах.

Вопрос	Ответы	%
Что Вам дает участие в Кубке города Уфы по физике: 1) в интеллектуальном плане 2) в плане общения	- обогащение интеллекта, умений, творческой деятельности;	43,18
	- опыт решения олимпиадных задач;	34,08
	- развивается эрудиция;	27,0
	получил богатый опыт в решении задач и работы в команде;	20,45
	- появляются новые друзья, общение с умными людьми со схожими интересами;	56,46
Определились ли Вы с выбором будущей профессии? Связана ли она каким-то образом с физикой?	- сблизилась, сплотилась команда, умение работать в команде;	29,73
	- коммуникативность не изменилась;	5,41
	- связана с физикой;	68,89
Как изменилась самооценка Ваших способ-	- определился с выбором профессии;	46,67
	- с выбором профессии не определился;	46,67
Как изменилась самооценка Ваших способ-	- выросла самооценка;	53,49
	- изменилась;	23,26

ностей в процессе участия в Кубке города Уфы по физике	- заставили задуматься об уровне знаний	20,93
Ваши впечатления о Кубке города по физике?	- это уникальное, интересное мероприятие. Таких, к сожалению, мало, поэтому огромное спасибо за то, что оно проводится; - хорошо, что ЦДТТ "Биктырыш" совместно с БГПУ организовал такой замечательный конкурс. Я благодарна им; - очень интересное, захватывающее соревнование; - Кубок оставил в моей памяти приятные воспоминания, мне было очень интересно испытать свои силы, узнать сильные и слабые стороны своей и остальных команд; - мне очень понравилось, с удовольствием приехал и поучаствовал бы еще много раз;	

В следующей таблице показана оценка учителей физики в процентном соотношении о ярком проявлении личностных качеств членов команды в процессе подготовки и участия в Кубке города Уфы по физике для учащихся 8-9 классов.

№	Вопрос	%
1	Стремление реализовать свои интеллектуальные способности	85,67
2	Саморазвитие	83,33
3	Организованность на занятиях	80
4	Инициативность в творческом труде	69
5	Самостоятельность в труде.	74,33
6	Бережливое отношение к результатам труда	79
7	Осознание значимости труда.	82,33
8	Уважительное отношение к старшим.	95,67
9	Дружелюбное отношение к сверстникам.	93,33
10	Милосердие.	84,33
11	Волевая саморегуляция	72,33
12	Самоуважение, соблюдение правил культуры поведения	92,33

13	Организованность и пунктуальность	87,67
14	Требовательность к себе	75,67
	<i>среднее значение</i>	83,33
	изменение в характере у командира и членов команды	командир – 84,67 первый член - 82,33 второй член - 83,33

Кубок в лицах



Директор Физико-технического института БашГУ Р. Якшибаев и представитель МО РБ Р. Кусябаева приветствуют участников турнира.



Кубок ждет победителя.



Председатель жюри Кубка Е. Екомасов начинает работу.



Задания получены командами. Началось решение.



Задания получены командами. Началось решение. (БГПУ)



Ведущий С. Ниязгулов: «Время пошло».



Команды заняли всю большую физическую аудиторию.



**После сбора возможных решений начинается разбор задач.
(БГПУ)**



После сбора возможных решений начинается разбор задач.



В это время жюри проверяет полученные решения.



После проверки идет выставление баллов.



Начинается подсчет итоговых результатов.



Проводится анализ ошибок (БГПУ)



Начинается подсчет итоговых результатов. (БГПУ)



Участники команд и руководители ждут с нетерпением.



Изергин Э.Т. награждает победителей. (БГПУ)



Настал долгожданный момент награждения.



Кубок нашел своих победителей.

Литература

1. Е.Г. Екомасов, С.А. Ниязгулов, И.Р. Кызыргулов, В.Н. Назаров. Кубок г. Уфы по физике среди школьников. Уфа, РИО БашГУ, 2006, 78 с.
2. Е.Г. Екомасов, С.А. Ниязгулов, В.Н. Назаров. Кубок Башкортостана по физике среди школьников. Уфа, Диалог, 2008, 144 с.
3. Е.Г. Екомасов, С.А. Ниязгулов, В.Н. Назаров. Региональный этап всероссийской олимпиады школьников по физике в Республике Башкортостан. Уфа, Диалог, 2008, 144 с.
4. Валеев В.Г., Екомасов Е.Г., Ниязгулов С.А., Харрасов М.Х. Городские олимпиады школьников г. Уфы по физике (1995-2007). - Уфа, РИЦ БашГУ, 2008..84 с.
5. Е.Г.Екомасов, Р. Р. Муртазин Сборник заданий ЕГЭ по физике. – Уфа, ИМЦ «Эдвис», 2008, 149 с.
6. А.И. Буздин, А.Р. Зильберман, С.С. Кротов. Раз задача, два задача... М., Наука, 1990.
7. Б.Ю. Коган. Сто задач по физике. М., Наука, 1986.
8. С.М. Козел, Э.И. Рашба, С.А. Славатинский. Сборник задач по физике. М., Наука, 1987.
9. Н.Е. Савченко. Решение задач по физике. М., Высшая школа, 1988.
10. Г.В. Меледин. Физика в задачах. М., Наука, 1989.
11. Дж. Уокер. Физический фейерверк. М., Мир, 1989.
12. А.П. Рымкевич. Сборник задач по физике. М., Просвещение, 1992.
13. О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, А.Р. Зильберман, Физика 9–11. М., Издательский дом “Дрофа”, 1999.
14. А.Г.Н. Степанова. Сборник задач по физике. М., просвещение, 2002.
15. М.И. Бакунов, С.Б. Бирагов. Олимпиадные задачи по физике. М.–Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2003, 154 с.
16. И.Ш. Слободецкий, В.А. Орлов. Всесоюзные олимпиады по физике. М., Просвещение, 1982, 256 с.
17. Г.А. Бендриков, Б.Б. Буховцев, В.В. Керженцев, Г.Я. Мякишев. Физика. Задачи для поступающих в ВУЗы: учебн. пособие. М., физматлит, 2000, 400 с.
18. В.Г. Валеев, Е.Г. Екомасов, С.А. Ниязгулов. М.Х. Харрасов, Физические олимпиады школьников Уфа, Из-во БашГУ, 2000. 82 с.
19. Е.Г. Екомасов. Физические олимпиады школьников, как элемент подготовки к ЕГЭ. Уфа, РИО БашГУ, 2003. 118 с.
20. И.Р. Кызыргулов, Е.Г. Екомасов. Задачи ЕГЭ по физике с решениями. Уфа, РИО БашГУ, 2006.
21. Э.Т. Изергин Физика учебник для 9 класса. М. Просвещение.2001. 192 с.