

сем не так отлична от истинной, как величина $\frac{v_0^2}{g}$ (дальность без учета сопротивления воздуха).

В заключение виртуально «поразим» цель, находящуюся в пределах досягаемости орудия. Пусть, например, цель

расположена на расстоянии 3 км от 107-миллиметровой пушки.

Вычисляем:

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,8679, \text{ откуда } \alpha_1 = 40^\circ 57';$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,1722, \text{ откуда } \alpha_2 = 9^\circ 46'.$$

Время полета снаряда по навесной траектории $T_1 = 42,76$ с, а по настильной — $T_2 = 11,07$ с.

Таблица 1

Образец пушки	Калибр d , мм	Масса снаряда, m , кг	Начальная скорость снаряда v_0 , м/с	Макс. дальность стрельбы L_{\max} , м	Коэф. k	Вычисл. величина L_{\max} , м	$\frac{v_0^2}{g}$, м	Время полета снаряда T , с	Угол α
Австрия 4-фунтовая	78,5	3,5	323	3390	1,422	3366	10635	19,86	$17^\circ 33'$
Англия 9-фунтовая 12-фунтовая	67 73	3,6 4,6	314 365	2700 3090	0,952 1,195	4309 4933	10051 13581	25,22 25,41	$23^\circ 12'$ $19^\circ 58'$
Пруссия 4-фунтовая 6-фунтовая	77 90	4,2 6,8	341 323	3800 3800	1,273 0,962	4107 4526	11874 10635	22,75 25,78	$19^\circ 5'$ $25^\circ 3'$
Россия 3-фунтовая 4-фунтовая 9-фунтовая	75 87 107	4,0 5,7 11,1	213 305 320	1490 3400 4480	0,494 0,956 0,818	2874 4053 4948	4625 9483 10438	22,92 24,43 27,95	$31^\circ 51'$ $23^\circ 8'$ $25^\circ 22'$
Франция 8-фунтовая 12-фунтовая	104,5 120	7,2 10,4	330 301	4060 4500	1,279 0,969	3826 3902	11101 9211	21,92 23,9	$19^\circ 1'$ $22^\circ 57'$

Пуля и снаряд

Известно, что артиллерийский снаряд летит значительно дальше пули. Из таблицы видно, что при приблизительно равных начальных скоростях отношение дальностей полета пули и снаряда шестикратное. Интересно дать этому физическое объяснение.

Расчет показывает, что средняя сила сопротивления воздуха превосходит силу тяжести, действующую на пулю в 10, на снаряд — примерно в 100 раз. Поэтому в первом приближении можно пренебречь силой тяжести mg по сравнению с силой сопротивления воздуха F_c . Чтобы упростить вычисления, будем считать F_c горизонтальной и постоянной по модулю. Принимаем пулю и снаряд геометричес-

ки подобными, а траектории их полета — одинаковыми. Известно, что сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости и площади сечения движущегося тела. Для оценочного расчета эти упрощения вполне допустимы.

По теореме о кинетической энергии имеем: $mv_0^2/2 \approx F_c \cdot L$, где $F_c \sim \rho_v v_0^2 S$, ρ_v — плотность воздуха, $S = \pi d^2/4$ — площадь поперечного сечения тела.

Отсюда дальность полета: $L \sim m/2\rho_v S$

Результат нашей достаточно «грубой» физической модели: дальность стрельбы не зависит от начальной скорости тела при достаточно большом ее значении.

Пусть индексы «с» и «п» относятся к снаряду и пуле соответственно. Тогда

Задачи и вопросы

$$L_c/L_n \sim m_c/m_n \cdot (d_c/d_n)^2. \quad (1)$$

Поскольку $m_c/m_n \approx (d_c/d_n)^3$,

$$\text{то } L_c/L_n \sim d_c/d_n, \quad (2)$$

т.е. дальность стрельбы пропорциональна калибру. (Последнее верно при допущении о геометрическом подобии пули и снаряда. А это не совсем так.) При

подстановке реальных величин получаем по формуле (1) $L_c/L_n \sim 11$, а по формуле (2) $L_c/L_n \sim 14$, то есть разница невелика. Видно, что первая формула ближе к действительности. Но формула (2) проще и показывает, что более крупное тело летит дальше. А двукратное отличие от эксперимента для оценочного расчета совсем не плохо.

Таблица II

Характеристики	Калибр d , мм	Масса m , кг	Начальная скорость v_0 , м/с	Дальность стрельбы L , км
Оружие				
Автомат Калашникова (пуля)	7,6	0,008	715	3
Пушка М-60 (СССР) (снаряд)	107	17,2	737	18,1

В.Б.ДРОЗДОВ
(г. Рязань)

Странички абитуриента

Физический факультет МГУ

В марте 2005 г. на физическом факультете проводилась устная олимпиада по физике «Абитуриент 2005». В мае того же года прошла олимпиада «Ломоносов 2005». Задания, предлагавшиеся участникам олимпиад и абитуриентам, сдававшим вступительные испытания в июле 2005 г., содержали две задачи и два теоретических вопроса из программы вступительных испытаний, опубликованной в справочнике для поступающих в МГУ. Ниже приведены примеры билетов, предлагавшихся на олимпиадах и вступительном испытании. При оценке ответов поступающих на физический факультет особое внимание уделялось обоснованию возможности использования тех или иных законов при решении задач и умению сформулировать предположения, при которых полученное решение является верным. Поэтому этим во-

просам в предлагаемых решениях задач уделено особое внимание.

Билет № 1

1. Самоиндукция. Индуктивность. ЭДС самоиндукции. Энергия магнитного поля.

2. Волновые свойства света. Интерференция света. Условия образования максимумов и минимумов в интерференционной картине.

3. На плоскости, образующей с горизонтом угол α , лежат одна на другой две пластины. Если к верхней пластине приложить силу, направленную вдоль наклонной плоскости вверх, то при модуле этой силы больше F_0 пластина начнет скользить по остающейся неподвижной нижней пластине. Найти модуль силы F , направленной вдоль наклонной плоскости вниз, которую нужно приложить к

нижней пластине, чтобы с нее соскользнула верхняя пластина. Масса каждой пластины равна m . Коэффициент трения нижней пластины о плоскость равен μ .

4. Найти плотность ρ_n пара в газопаровой смеси при абсолютной температуре T , если отношение масс газа и пара равно n , молярная масса газа равна μ_r , а его давление при этой температуре равно p_r .

Решение задач

3. Из рис. 1 видно, что на верхнюю пластину действуют сила реакции

$$|\vec{N}_B| = mg \cos \alpha,$$

сила трения $|\vec{F}_{\text{трв}}| \leq \mu_1 mg \cos \alpha$,

где μ_1 — коэффициент трения между пластинами. По условию задачи, при $|\vec{F}_B| \leq F_0$ пластины остаются неподвижными. Следовательно, коэффициент трения μ_1 должен удовлетворять уравнению:

$$F_0 = (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) mg. \quad (1)$$

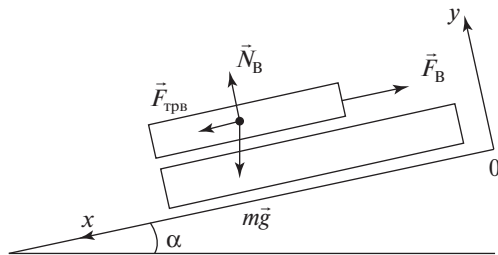


Рис. 1

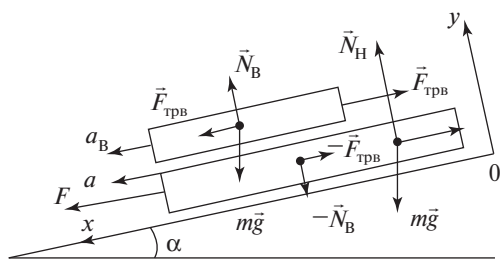


Рис. 2

На рис. 2 показаны ускорения пластин и действующие на них силы, когда на нижнюю пластину действует сила F достаточно большой величины. Поскольку между пластинами должно появиться проскальзывание, а до начала

действия силы F они покоились, то по модулю ускорение a нижней пластины должно быть больше ускорения a_B верхней пластины. При этом модуль силы реакции плоскости будет равен

$$N_H = 2 mg \cos \alpha,$$

а сила трения $-F_{\text{трн}} = 2\mu mg \cos \alpha$.

Уравнения движения пластин в проекции на ось X :

$$ma_B = (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) mg,$$

$$ma = F + [\sin \alpha - (2\mu + \mu_1) \cos \alpha] mg. \quad (2)$$

Отсюда находим искомую величину силы:

$$F > 2 [F_0 + mg(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)].$$

4. Будем считать, что газ и пар находятся в состоянии термодинамического равновесия и подчиняются уравнению Клапейрона–Менделеева. Парциальные давления газа и пара: $p_r = RT\rho_r/\mu_r$ и $p_n = RT\rho_n/\mu_n$, где R — универсальная газовая постоянная, а μ_n — молярная масса пара.

По условию задачи, отношение масс газа и пара равно n . Поскольку газ и пар находятся в одном и том же объеме, то тому же числу n равно и отношение их плотностей, а потому $\rho_r\mu_r/(\rho_n\mu_n) = n$. Отсюда находим искомую плотность пара:

$$\rho_n = \frac{p_r\mu_r}{nRT}.$$

Билет № 2

1. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа. Температура и ее физический смысл.

2. Законы преломления света. Ход лучей в призме. Явление полного (внутреннего) отражения.

3. Космический корабль движется по круговой орбите вокруг Земли так, что все время находится на прямой, соединяющей Землю и Луну, на таком расстоянии, что действие их гравитационных сил на корабль уравновешено. С какой силой сидящий в кресле космонавт дей-

ствуется на кресло? Масса космонавта равна m . Отношение масс Земли и Луны равно k . Радиус орбиты Луны в n раз больше радиуса Земли. Модуль ускорения свободного падения у поверхности Земли на полюсе равен g .

4. В схеме, показанной на рис. 3, оба конденсатора предварительно разряжены, а ключи разомкнуты. После замыкания ключа K_1 через достаточно большой промежуток времени замыкают ключ K_2 . Найти количество теплоты, которое дополнительно могло выделиться в схеме после замыкания ключа K_2 . Параметры элементов указаны на схеме.

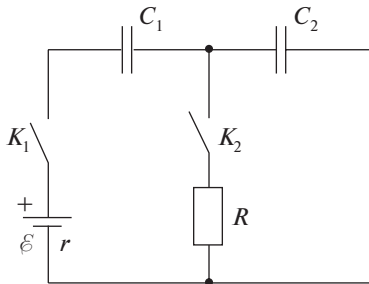


Рис. 3

Решение задач

3. Ускорение Луны направлено к центру Земли и равно $a_n = \omega^2 R_L$, где ω — угловая скорость движения Луны, а R_L — радиус ее орбиты. Тогда на основании закона всемирного тяготения и второго закона Ньютона получим $m_L a_n = m_L \omega^2 R_L = G m_L m_3 / R_L^2$, где G — гравитационная постоянная, а m_L и m_3 — массы Луны и Земли соответственно. Учитывая, что модуль ускорения свободного падения вблизи поверхности Земли $g = G m_3 / R_3^2$, где R_3 — радиус Земли, из написанных ранее соотношений получим, что угловая скорость движения Луны равна $\omega = \sqrt{g / R_L} / n$, так как по условию задачи $R_L / R_3 = n$.

Равенство гравитационных сил, действующих на корабль, приводит к соотношению $[r / (R_L - r)]^2 = m_3 / m_L$. С учетом

отношения масс радиус орбиты корабля $r = \sqrt{k} R_L / (1 + \sqrt{k})$. Центробежное ускорение корабля $a = \omega^2 r$. Поскольку действие Земли и Луны на корабль взаимно компенсируется, найденное ускорение может быть обеспечено только за счет работы двигателей самого корабля. Такое же ускорение имеет и космонавт. Из второго и третьего законов Ньютона получаем, что на кресло корабля со стороны космонавта должна действовать сила, направленная по прямой от Земли к Луне и равная по модулю

$$F = \frac{mg\sqrt{k}}{n^2(1+\sqrt{k})}.$$

4. При разомкнутом ключе K_2 конденсаторы C_1 и C_2 соединены последовательно — общей емкостью $C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$. После замыкания ключа K_1 в цепи будет протекать ток до тех пор, пока разность потенциалов между обкладками конденсаторов, соединенными с клеммами, не сравняется с ЭДС батареи. Соответственно по цепи протечет заряд $q = \mathcal{E}C$. Таким образом, к моменту замыкания ключа K_2 заряд на каждой из обкладок конденсаторов C_1 и C_2 по модулю станет равным q .

После замыкания ключа K_2 конденсаторы C_1 и C_2 начнут перезаряжаться. Конденсатор C_2 полностью разрядится через резистор R , а заряд конденсатора C_1 станет равным $q_1 = \mathcal{E}C_1$, т.е. возрастет на величину $\Delta q = q_1 - q$. Следовательно, после замыкания ключа K_2 батарея совершит работу $A = \mathcal{E}\Delta q$.

Перед замыканием ключа K_2 энергия заряженных конденсаторов $W_0 = 0,5\mathcal{E}^2 C$. После замыкания ключа K_2 и прекращения тока через резистор заряженным останется только конденсатор C_1 , и его энергия будет равна $W_1 = 0,5\mathcal{E}^2 C_1$. Если пренебречь потерями энергии на излучение при перезарядке конденсаторов, по закону сохранения энергии в схеме на внутреннем сопротивлении батареи и резисторе должно выделиться количест-

во теплоты $Q_{\max} = A + W_0 - W_1$. Подставляя ранее полученные значения A , W_0 и W_1 , найдем, что искомое количество теплоты Q , выделившееся после замыкания ключа K_2 , в общем случае должно удовлетворять неравенству:

$$0 < Q \leq Q_{\max} = \frac{\varepsilon^2 C_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Билет № 3

1. Свободные колебания. Колебания груза на пружине. Математический маятник. Периоды их колебаний. Затухающие колебания.

2. Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытное обоснование. Масса и размер молекул. Характер движения молекул в газах, жидкостях и твердых телах.

3. К гальваническому элементу параллельно подключены два резистора. Сопротивление первого резистора в k раз превышает внутреннее сопротивление элемента, а сопротивление второго таково, что выделяющаяся на нем тепловая мощность максимальна. Во сколько раз n изменится скорость растворения цинкового электрода элемента, если от него отключить второй резистор?

4. Плоскую поверхность плосковогнутой рассеивающей линзы L с фокусным расстоянием F покрыли отражающим слоем. На расстоянии F от линзы со стороны вогнутой поверхности перпендикулярно ее главной оптической оси расположен тонкий предмет высотой H . Найдите размер h изображения этого предмета.

Решение задач

3. Из закона Фарадея для электролиза вытекает, что скорость растворения электрода прямо пропорциональна силе текущего через элемент тока. Следовательно, для ответа на поставленный вопрос необходимо найти отношение сил токов при указанных в задаче схемах подключения резисторов.

Решение можно получить, заменив данный в условии элемент с подключенным к нему параллельно первым резистором источником, ЭДС которого равно ЭДС элемента, а внутреннее сопротивление равно сопротивлению параллельно соединенных резисторов r и $R_1 = kr$. Источник отдает во внешнюю цепь максимальную мощность в режиме согласования, т.е. когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника.

Используя найденное таким способом сопротивление второго резистора, по закону Ома найдем, что до отключения этого резистора через гальванический элемент протекал ток

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{r + R_1 R_2 / (R_1 + R_2)} = \frac{\varepsilon(k+2)}{2r(k+1)},$$

а после отключения резистора R_2 через элемент будет течь ток

$$I_k = \frac{\varepsilon}{(1+k)r}.$$

Следовательно, скорость растворения цинкового электрода после отключения второго

резистора изменится в $n = \frac{I_k}{I_0} = \frac{2}{2+k}$ раз.

4. При отсутствии зеркального слоя, согласно формуле тонкой рассеивающей линзы и условию задачи, изображение предмета должно находиться на расстоянии f , удовлетворяющем условию $F^{-1} + f^{-1} = -F^{-1}$, т.е. $f = -0,5F$. Таким образом, мнимое изображение предмета будет располагаться между предметом и линзой, как показано на рис. 4. Размер этого изображения будет равен $0,5H$.

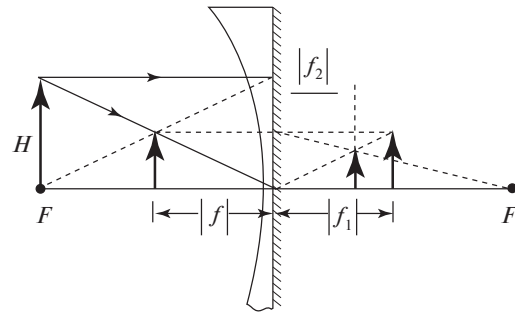


Рис. 4

В результате отражения от плоской зеркальной задней поверхности линзы получилось бы изображение предмета на расстоянии $f_1 = |f|$ за линзой. Поскольку отраженные от зеркальной плоскости лучи вновь должны пройти через линзу, то искомое изображение будет находиться от линзы на таком расстоянии f_2 , что $f_1^{-1} + f_2^{-1} = -F^{-1}$. Следовательно, изображение предмета будет мнимым и будет располагаться за линзой на расстоянии $|f_2| = F/3$. Из подобия треугольников, у одного из которых катеты равны $|f_1|$ и $0,5H$, а у другого $|f_2|$ и h , находим искомую высоту изображения предмета:

$$h = H/3.$$

От редакции: Если учесть, что при сложении тонких линз их оптические силы складываются, получим, что в данной задаче лучи проходят через составную линзу с фокусным расстоянием $F_2 = F/2$. Предмет находится на расстоянии $d = -|F|$. Тогда

формула тонкой линзы: $\frac{1}{-|F|} + \frac{1}{f_2} = \frac{2}{F}$.

Увеличение линзы: $\frac{h}{H} = \Gamma = \frac{f_2}{d} = -\frac{1}{3}$.

В.А.ПОГОЖЕВ

Предложения и советы

Определение давления твердого тела

П.И.ГНИЛОМЕДОВ

(г. Екатеринбург, средняя школа № 168)

Межпредметные связи имеют большое значение для систематического обобщения и закрепления знаний и практических навыков. Автором наблюдались статистические эксперименты биологов, в которые входило точное измерение площади листьев растений. Это натолкнуло на мысль предложить учащимся на уроках физики в VII классе следующую практическую работу на определение давления.

Учащиеся получают два листа однородной бумаги. На одном листе ученик отмечает, а затем вырезает отпечаток своей подошвы, а из другого листа он вырезает квадрат площадью 1 дм^2 .

Далее учащиеся поочередно взвешивают вырезанные фигуры и по полученным значениям масс (m_1 и m_2), используя площадь квадратного листа S_1 , следующим образом определяют площадь подошвы S_2 :

$$S_1/S_2 = m_1/m_2, \text{ или } S_2 = S_1 m_1/m_2.$$

Затем, согласно условию задания, вычисляется давление, производимое учащимся на землю (считается, что собственная масса ученику известна).

Ценность приведенного варианта практической работы заключается прежде всего в нестандартности самого метода определения площади плоской фигуры неправильной формы, что приводит к устойчивой заинтересованности практически всех учащихся на всем протяжении выполнения работы.

Хочется подчеркнуть, что данный вариант работы не сложен даже для тех учеников, которые испытывают затруднения при изучении дисциплин естественного цикла. Об этом свидетельствует выполнение работы детьми, обучающимися в классах коррекции или индивидуально. Достаточно лишь сразу правильно поставить перед ними соответствующие «наводящие» вопросы. (В частности, наибольшие затруднения у этих детей возникают в самом начале, когда они видят перед собой весы и вырезанные из бумаги фигуры. Практически сразу снимает проблему такой вопрос: «Если масса листа с отпечатком подошвы в два раза больше, чем масса листа площадью 1 дм^2 , то чему равна неизвестная площадь?».)