

Варианты
Открытой олимпиады по физике
ВЕСНА 2005
Новосибирский государственный
университет

ответственный за выпуск Е.М. Балдин

25 сентября 2005 г.

Содержание

Введение	1
Советы абитуриентам	1
Открытая олимпиада	3
Вариант ФФ-051в	4
Вариант ФФ-052	5
Вариант ФФ-053	6
Вариант ФЕН-051в	7
Вариант ФЕН-052	8
Вариант ГГФ-051в	9
Вариант ГГФ-052	10
Разбор задач	11
Вариант ФФ-051в	11
Вариант ФФ-052	13
Вариант ФФ-053	14
Вариант ФЕН-051в	16
Вариант ФЕН-052	18
Вариант ГГФ-051в	19
Вариант ГГФ-052	20

Введение

Все вопросы, связанные с поступлением в НГУ можно выяснить в приёмной комиссии НГУ по телефонам (3832) 34–35–90, (3832) 39–73–77 и электронной почте poly@admin.nsu.ru.

Дополнительную информацию можно получить в разделе «Абитуриент 2005» на сайте НГУ: www.nsu.ru.

Пособие распространяется под лицензией GNU FDL¹ версии 1.1. Основные положения: вы можете распространять этот документ в любом виде при условии предоставления исходных текстов; вы можете распечатывать этот документ для себя; вы можете его модифицировать (или копировать часть информации) при условии *сохранения на результат текущей лицензии*; При печати больших тиражей (> 100 экземпляров), а также для изменения текущей лицензии вам следует получить разрешение авторов. Для получения более подробной информации о лицензии следует обратиться к первоисточнику по адресу <http://www.gnu.org>.

Замечания, связанные с содержанием и оформлением данного пособия, просьба присылать Балдину Евгению Михайловичу по электронной почте E.M.Baldin@inp.nsk.su. Поэтому же адресу следует связаться для получения исходников. Этот текст, а так же аутентичные копии вариантов, которые давались абитуриентам на экзамене, можно скачать с домашней странички ответственного за выпуск: <http://www.inp.nsk.su/~baldin> из раздела «Варианты вступительных экзаменов».

Советы абитуриентам

Открытая олимпиада по физике длится четыре астрономических часа для Факультета Естественных Наук (ФЕН) и Геолого-Геофизического Факультета (ГГФ) и пять часов для Физического Факультета (ФФ). Для поддержания сил на олимпиаду лучше всего взять большую плитку шоколада — этим *сухим* пайком и ограничиться. Если вы не важно себя чувствуете, то попытайтесь решить эту проблему *до* начала испытаний. Если есть необходимость, то сходите к врачу — *со здоровьем не шутят*. Курить во время олимпиады *не* разрешается.

Обязательно возьмите на экзамен одну или две запасные ручки. Нет более жалкого зрелища, чем испытуемый, который пытается расписать ручку. У вас должна *быть* линейка, и вы должны *уметь* ей пользоваться. Так как ваше решение будут проверять, то сделанные вами черте-

¹GNU Free Documentation License.

жи должны быть *понятны*. А вот калькулятор только отвлекает. Единственный тип задания, где потребуется получение численного ответа — это «задача-оценка»². Вычисление на калькуляторе не уберезёт вас от ошибок, зато даёт ошибочную уверенность в правильности ваших действий — «машина не может ошибаться».

Перед олимпиадой прорешайте с десятков вариантов³ за предыдущие годы для оттачивания ваших навыков. Это *лучший* способ подготовки.

Помните, что *всё* что от вас требуется, это знание физики в объёме школьного курса. Поэтому, если вы чего-то не понимаете, то переберите в уме *все*⁴ основные законы физики, которые изучали в школе.

Если не понимаете как решать задачу, то нарисуйте рисунок к ней, опираясь только на условие — возможно, станет понятнее.

Если что-то не понятно в условии, то после того как несколько раз перечитаете условие, задайте вопрос экзаменаторам. Объяснять условия задач — это часть их работы.

Не пользуйтесь шпаргалками — они не помогут.

Помните, что задача не считается решённой, если приводится лишь ответ без объяснений. Поэтому оформляйте решение максимально подробно, но меру знайте⁵. Объясняйте откуда у вас взялась та или иная буква.

За полтора часа до конца экзамена буквально *бросьте всё* и оформите те задачи, которые вы уже решили.

Обязательно проверьте все свои ответы. Полезно обвести их рамкой, чтобы выделить. Учтите, что черновики тоже проверяются.

ВНИМАНИЕ:

Задача не считается решённой, если приводится лишь ответ без объяснений.

ЖЕЛАЕМ УСПЕХА !

²Четвёртая задача в вариантах для ФФ.

³Потратьте на каждый вариант по 2–3 часа каждое воскресенье, начиная за 3 месяца до начала экзаменов.

⁴Законы Ньютона, Законы сохранения энергии и импульса, Уравнение Клапейрона-Менделеева, Закон Кулона, Закон Ома, Закон Ампера, Закон Фарадея — то есть, все *десять* основных законов (дайте мне знать, если вспомните больше).

⁵Для объяснения выведенных уравнений достаточно ссылок на основные законы.

Открытая олимпиада

Начиная с 1994 года во время весенних каникул в НГУ, а также в городах, которые заключили договор, проводится Открытая олимпиада. По результатам Открытой олимпиады выставляются оценки, с которыми абитуриент может участвовать в летних приёмных экзаменах в порядке общего конкурса. К поступлению рекомендуются только выпускники школ текущего года.

Открытая олимпиада позволяет оценить свои силы и получить бесценный опыт участия в экзаменах.

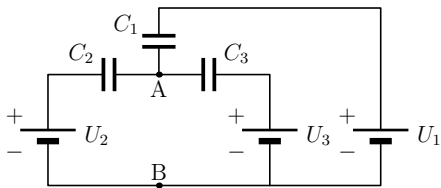
В 2005 году кроме НГУ Открытая олимпиада проводилась в следующих городах: Абакан, Алматы, Ангарск, Барнаул, Братск, Железногорск, Кызыл, Новокузнецк, Улан-Удэ, Усть-Каменногорск, Ханты-Мансийск, Якутск.

Выездные варианты помечены литерой «в»: ФФ-О51в, ФЕН-О51в, ГГФ-О51в. Остальные варианты относятся к Новосибирскому туру Открытой олимпиады.

Обращение к учителям-физикам: Уважаемые коллеги если у вас есть желание организовать в вашем городе проведение Открытой олимпиады, то свяжитесь с приёмной комиссии НГУ по телефонам (383) 334-35-90, (383) 339-73-77 для выяснения условий проведения.

Вариант ФФ-О51в

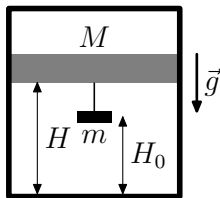
Задача №1 Капля, падающая вертикально, пролетает мимо окна высоты h за время t . Найдите её скорости при пролёте мимо нижнего и верхнего края окна. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения \vec{g} .



три другие обкладки соединены проводниками в точке А. Каково напряжение между точками А и В?

Задача №2 Батареи с напряжениями U_1 , U_2 и U_3 соединили так, что они имеют общий минус. Плюсы этих батарей подсоединили к трём обкладкам исходно незаряженных конденсаторов с ёмкостями C_1 , C_2 и C_3 , а

Задача №3 В вертикальном теплоизолированном цилиндре находится гелий, давление которого удерживает поршень массы M с подвешенным к нему грузом массы m . Выше поршня вакуум. Поршень находится на высоте H , а груз на высоте H_0 над дном цилиндра. Груз отрывается, падает на дно и прилипает. Насколько поднимется поршень, когда снова установится равновесие? Считать, что вся выделенная энергия пошла на нагрев газа. Объём груза мал по сравнению с объёмом гелия. Ускорение свободного падения \vec{g} .

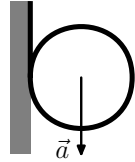


Задача №4 Оцените насколько масса стакана с тяжёлой водой D_2O больше массы стакана с обычной водой?

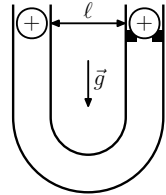
Задача №5 Из бумаги склеены два одинаковых конуса (комментарии и «выкройку» см. на стр. 22). Один обрезают по краю, и вкладывают в него обрезки. Если конусы одновременно отпустить с одной и той же высоты, один при падении заметно отстаёт от другого. Если из меньшего конуса убрать обрезки, то отпущенные одновременно конусы одновременно же достигают пола. Объясните, почему так происходит.

Вариант ФФ-052

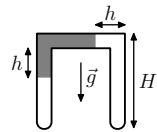
Задача №1 Свёрнутую в рулон радиуса R ленту подвесили за её конец и отпустили. Рулон стал разматываться, опускаясь вдоль вертикальной стены с постоянным ускорением \vec{a} . Через какое время его радиус уменьшится до r ? Толщина ленты d мала по сравнению с радиусом рулона.



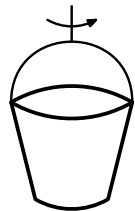
Задача №2 В U-образной трубке с расстоянием ℓ между вертикальными коленами на выступе в правом колене лежит шарик массы m с зарядом q . В левом колене на той же высоте, что и первый, находится второй такой же заряженный шарик. Его отпускают и он падает вниз, а затем поднимается по правому колену. При сближении шариков в какой-то момент верхний отрывается от выступа. Найдите скорость нижнего шарика в момент отрыва верхнего. Трения нет. Ускорение свободного падения \vec{g} .



Задача №3 В П-образной закрытой с концов трубке постоянного сечения с длиной вертикальных колен H заключён газ, разделённый жидкостью плотности ρ . Жидкость заполняет участок длины h левого колена и горизонтальный участок трубки, не доходя на h до правого колена. При нагревании жидкость поднимается и, начиная с температуры T , оказывается полностью в горизонтальном участке трубки. Найдите начальную температуру и давление газа в левом и правом коленях. Ускорение свободного падения \vec{g} . Давлением паров жидкости пренебречь.



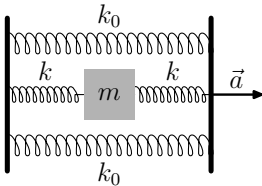
Задача №4 Ведро в вертикальном положении раскручивают вокруг его оси. Оцените, при каком числе оборотов в секунду вся вода из него выльется.



Задача №5 Сосуд с плоским дном установлен с небольшим наклоном, в нём холодная вода. Ставят вверх дном чашку до соприкосновения её с дном сосуда. Она остаётся на месте. Заменяют холодную воду нагретой. Поставленная таким же образом чашка начинает через некоторое время соскальзывать. Объясните явление.

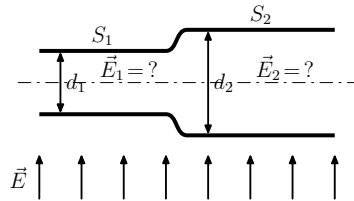
Вариант ФФ-053

Задача №1 К источнику постоянного напряжения подсоединена нагрузка, имеющая постоянное сопротивление. На подводящих проводах выделяется энергия, составляющая долю $\beta_1 = 0.1$ от общей энергии получаемой от источника. Во сколько раз нужно увеличить сечение подводящих проводов, чтобы уменьшить долю потерь в проводах до $\beta_2 = 0.01$?



Задача №2 Невесомые стержни связаны невесомыми пружинами жёсткости k_0 у верхней и нижней, и жёсткости k у средних пружин, присоединённых к телу массы m . Исходно пружины не деформированы. Под действием силы, приложенной к правому стержню, система начинает двигаться с постоянным ускорением \vec{a} , направленным вдоль пружин. Найдите, насколько при этом возрастёт расстояние между стержнями.

Задача №3 Незаряженные проводящие пластины имеют по два обширных плоских параллельных участка площади S_1 и S_2 с малыми зазорами d_1 и d_2 между ними. Протяжённость области изгиба мала в сравнении с размерами пластин. Перпендикулярно плоскости симметрии пластин включают внешнее однородное электрическое поле E . Найдите поля E_1 и E_2 внутри зазоров между плоскими участками.

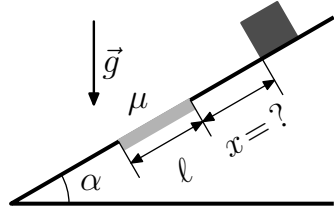


Задача №4 Стальную пластинку погружают плашмя в воду в глубоком озере и отпускают. Оцените, во сколько раз возрастёт разница давлений на нижнюю и верхнюю стороны пластинки на большой глубине по сравнению с начальным моментом движения.

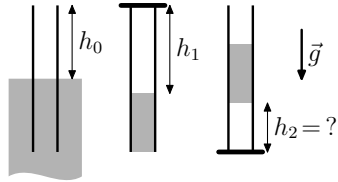
Задача №5 Сосуд с плоским дном установлен с небольшим наклоном, в нём холодная вода. Ставят вверх дном чашку до соприкосновения её с дном сосуда. Она остаётся на месте. Заменяют холодную воду нагретой. Поставленная таким же образом чашка начинает через некоторое время соскальзывать. Объясните явление.

Вариант ФЕН-О51в

Задача №1 На плоскости с углом наклона α имеется шероховатый участок протяжённостью ℓ с коэффициентом трения μ . На остальной части плоскости трение отсутствует. На каком расстоянии x от ближайшего края этого участка надо отпустить тело, чтобы оно съехало с наклонной плоскости? Ускорение свободного падения \vec{g} .

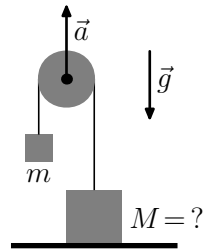


Задача №2 Трубка погружена в воду так, что над поверхностью воды остаётся часть длины h_0 . Трубку герметично закрывают сверху и полностью вытаскивают из воды в вертикальном положении.

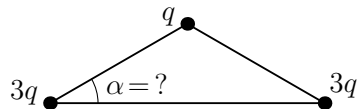


Высота столба воздуха в трубке становится равной h_1 . Какой станет высота столба воздуха в трубке, если её перевернуть открытым концом вверх? Температуру воздуха считать постоянной.

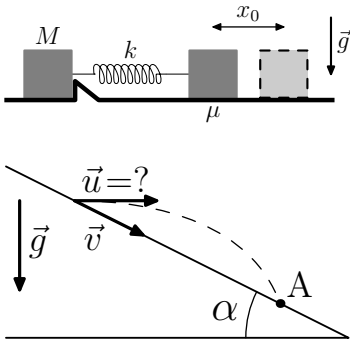
Задача №3 На нерастяжимой нити висит груз массы m , нить перекинута через невесомый блок, а другой конец нити привязан к противовесу, лежащему на столе. Блок начинают поднимать по вертикали с постоянным ускорением \vec{a} . При какой массе противовеса он не оторвётся от стола? Ускорение свободного падения \vec{g} .



Задача №4 На нить одели три бусинки и замкнули её в петлю. Одна бусинка имеет заряд q , а остальные по $3q$. Бусинки могут скользить по нити без трения. В состоянии равновесия нить образует треугольник. Найдите угол α при основании треугольника.

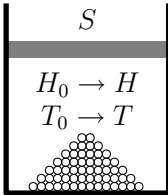


Вариант ФЕН-О52



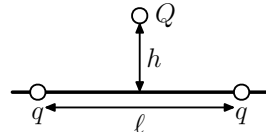
Задача №1 Два тела на горизонтальной плоскости связаны пружиной жёсткости k , коэффициент трения между телами и плоскостью μ . Первое тело с известной массой M упирается в выступ, не позволяющий ему смещаться вправо. Если второе тело сдвинуть на x_0 или большую величину вправо и отпустить, то после начала его движения в некоторый момент времени сдвинется и первое тело. Найдите массу второго тела. Ускорение свободного падения \vec{g} .

Задача №2 Два камня бросили одновременно из одной точки. Первому сообщили скорость \vec{v} вдоль наклонной плоскости с углом α , а второму — скорость направленную по горизонтали. Найдите эту скорость \vec{u} , если камни столкнулись на наклонной плоскости в некоторой точке A ? Трение отсутствует. Ускорение свободного падения равно \vec{g} .



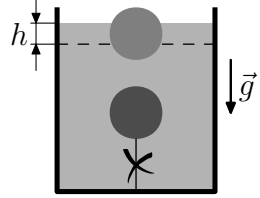
Задача №3 Под поршнем в цилиндре сечения S находится воздух при температуре T_0 и кучка песка. При нагревании воздуха до температуры T поршень поднимается над дном от начальной высоты H_0 до конечной H . Найдите суммарный объём песчинок в кучке, если давление воздуха остаётся постоянным.

Задача №4 По спице могут без трения двигаться бусинки с зарядом q каждая. На расстоянии h от спицы закреплён заряд такой, что бусинки остаются в равновесии при расстоянии ℓ между ними. Найдите величину этого заряда.

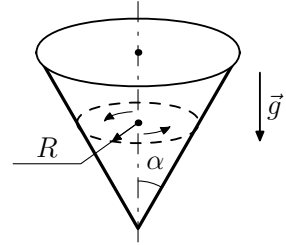


Вариант ГГФ-О51в

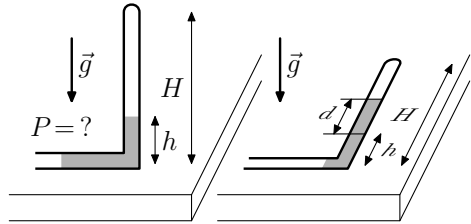
Задача №1 Деревянный шар объёма V привязан нитью к дну сосуда цилиндрической формы с сечением S и полностью погружён в воду. Когда нить перерезают, шар всплывает, а уровень воды в сосуде опускается на h . Какова масса шара? Плотность воды ρ .



Задача №2 По внутренней поверхности конуса движется шарик, описывая горизонтальную окружность радиуса R . Найдите его скорость, если трения нет, а угол между образующей и вертикальной осью конуса равен α . Ускорение свободного падения \vec{g} .



Задача №3 В L-образной трубке в закрытом сверху вертикальном колене высоты H над столбиком воды находится воздух. Высота уровня воды в этом колене h . Горизонтальное колено открыто в атмосферу. Вертикальное колено



медленно привели в горизонтальное положение, вращая вокруг горизонтальной части трубки. При этом длина столбика воздуха уменьшилась на d . Найдите атмосферное давление P , если плотность воды ρ , ускорение свободного падения \vec{g} , а температура не изменилась.

Задача №4 а) Каков заряд сферы радиуса R , если потенциал на её поверхности равен φ , а на большом расстоянии от её центра нулевой?

б) Нарисуйте силовые линии электрического поля этой сферы.

в) Какая работа совершается при зарядке конденсатора ёмкостью C до разности потенциалов U на его обкладках?

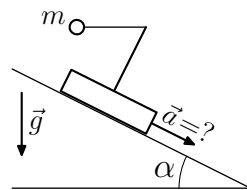
Вариант ГГФ-052



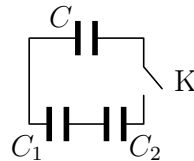
Задача №1 Толстостенный цилиндр с внутренним радиусом r и внешним R плавает вертикально, при этом уровень воды в нём на h выше уровня воды снаружи. В тонком дне цилиндра образуется отверстие и цилиндр медленно всплывает не меняя ориентации. Найдите на сколько цилиндр сместится по вертикали? Ускорение свободного падения \vec{g} .

Найдите на сколько цилиндр сместится по вертикали? Ускорение свободного падения \vec{g} .

Задача №2 К тележке, которую тянут вниз по наклонной плоскости, образующей угол α с горизонталью, на нити привязан груз массы m . Найдите ускорение тележки и натяжение нити, если при движении нить остаётся горизонтальной. Ускорение свободного падения \vec{g} .



Задача №3 К заряженному конденсатору ёмкостью C подсоединили два незаряженных конденсатора с ёмкостями C_1 и C_2 , замкнув ключ K . После чего на верхнем конденсаторе установилось напряжение U . Найдите начальный заряд верхнего конденсатора.



Задача №4 а) При температуре T давление идеального газа P . Сколько молей газа содержится в объёме V ?

б) Нарисуйте на PV диаграмме (с осями давление — объём) график процесса, при котором объём растёт прямо пропорционально температуре.

в) Какая работа совершается при расширении газа от объёма V до объёма $4V$ при постоянном давлении газа P ?

Разбор задач

В этом разделе произведён разбор задач. Прежде чем обратиться к этому разделу потратьте на решение варианта *как минимум* 2 часа. Чтобы научиться решать задачи необходимо эти задачи *решать*.

Если у вас есть интересующиеся друзья, то устройте совместное решение. Соревновательная компонента очень важна. Вступительные варианты не являются олимпиадными. Цель вступительных экзаменов отобрать тех, кто в освоил школьную программу в достаточном для обучения в НГУ объёме.

В этом разделе представлены решения задач в том виде, в каком это представляется наиболее понятным для преподавателя. Большинство формул пронумеровано, чтобы на них можно было сослаться при разборе. Все дополнительные величины описаны. Решения достаточно подробны и понятны. Обязательно в конце решения, если это возможно, приведены ответы.

Вариант ФФ-051в

Решение задачи №1 Пусть v_0 — скорость капли при пересечении верхней границы окна, тогда уравнение движения капли в поле тяжести:

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2} \Rightarrow v_0 = \frac{h}{t} - \frac{gt}{2}. \quad (1)$$

Пусть v_1 — скорость капли при пересечении нижней границы окна, тогда:

$$v_1 = v_0 + gt \Rightarrow v_1 = \frac{h}{t} + \frac{gt}{2}. \quad (2)$$

Ответ: $v_0 = h/t - gt/2$, $v_1 = h/t + gt/2$.

Решение задачи №2 Пусть U_{AB} — напряжение между точками А и В, а q_1 , q_2 и q_3 — заряды на конденсаторах C_1 , C_2 и C_3 соответственно. Запишем закон сохранения заряда в точке А:

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0, \quad (3)$$

где

$$\begin{cases} q_1 = C_1(U_1 - U_{AB}) \\ q_2 = C_2(U_2 - U_{AB}) \\ q_3 = C_3(U_3 - U_{AB}) \end{cases} \Rightarrow U_{AB} = \frac{C_1 U_1 + C_2 U_2 + C_3 U_3}{C_1 + C_2 + C_3}. \quad (4)$$

Ответ: $U_{AB} = (C_1U_1 + C_2U_2 + C_3U_3)/(C_1 + C_2 + C_3)$.

Решение задачи №3 Давление в сосуде определяется массой поршня и равно: $P = (M + m)g/S$ до отрыва груза и $P' = Mg/S$ после отрыва груза, где S — площадь поршня. Пусть nu — число молей газа в сосуде, а h — высота на которую поднимется поршень после отрыва груза, тогда из уравнения состояния идеального газа:

$$\begin{cases} \nu RT_0 = (M + m)gH \\ \nu RT = Mg(H + h) \end{cases} \quad (5)$$

Тепло $Q = mgH_0$, выделившееся при неупругом ударе, идёт на работу по подъёму поршня $A = gh$ и приращение внутренней энергии гелия:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}(Mg(H + h) - (M + m)gH) = \frac{3}{2}(Mgh - mgH), \quad (6)$$

следовательно, из закона сохранения энергии (первое начало термодинамики):

$$mgH_0 = gh + \frac{3}{2}(Mgh - mgH) \Rightarrow h = \frac{(2H_0 + 3H)m}{5M}. \quad (7)$$

Ответ: $h = m(2H_0 + 3H)/5M$.

Решение задачи №4 Отношение плотностей равно отношению молярных масс. В данном случае:

$$\mu_{H_2O}/\mu_{D_2O} = (1 \times 2 + 18)/(2 \times 2 + 18) = 1.1, \quad (8)$$

следовательно, так как в стандартном стакане помещается 200 г обычной воды, то масса тяжёлой воды будет на 20 г больше.

Ответ: на 20 г.

Решение задачи №5 В первом случае сила тяжести ($m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$, соответственно), действующая на конусы равной массы, одинакова, а сила сопротивления (\vec{F}_1 и \vec{F}_2 , соответственно) со стороны воздуха больше при той же скорости для большего конуса. Поэтому больший конус медленнее разгоняется и отстаёт от меньшего. Во втором случае ускорения практически равны, что указывает на пропорциональность силы сопротивления площади основания конуса.

$$\begin{cases} m_1\vec{a} = m_1\vec{g} + \vec{F}_1 \\ m_2\vec{a} = m_2\vec{g} + \vec{F}_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{S_1}{S_2}. \quad (9)$$

Вариант ФФ-052

Решение задачи №1 В этой задаче сохраняется площадь торцевой части разматывающегося рулона, поэтому:

$$S_{\text{торца}} = \pi(R^2 - r^2) = \frac{at^2}{2} \times d \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2\pi(R^2 - r^2)}{ad}}, \quad (10)$$

где t — искомое время.

$$\text{Ответ: } t = \sqrt{2\pi(R^2 - r^2)/ad}.$$

Решение задачи №2 Пусть x — расстояние от нижнего (свободного) шарика до выступа с верхним шариком, тогда в момент отрыва выполняется равенство сил:

$$\frac{kq^2}{x^2} = mg, \quad (11)$$

следовательно, по закону сохранения энергии:

$$\frac{kq^2}{\ell} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kq^2}{x} - mgx \Rightarrow v = q\sqrt{\frac{2k}{m\ell}}, \quad (12)$$

где v — искомая скорость.

$$\text{Ответ: } v = q\sqrt{2k/m\ell}.$$

Решение задачи №3 Так как при нагреве газа жидкость вытесняется в горизонтальный участок, то в обоих коленах устанавливается одинаковое давление, следовательно, слева и справа одинаковое число молей. Пусть P_1 и P_2 начальные давления в правом и левом коленах соответственно, тогда:

$$\begin{cases} P_1(H+h) = P_2(H-h) \\ P_2 - P_1 = \rho gh \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_1 = \frac{\rho g(H-h)}{2} \\ P_2 = \frac{\rho g(H+h)}{2} \end{cases} \quad (13)$$

В ходе уменьшения h при нагреве те же формулы применимы при $h \rightarrow +0$, отсюда давление при температуре T , когда столбик жидкости вытесняется в горизонтальный участок трубки, равно:

$$P = \lim_{h \rightarrow +0} P_1 = \lim_{h \rightarrow +0} P_2 = \frac{\rho gH}{2}, \quad (14)$$

следовательно:

$$\frac{P_2(H-h)}{T_0} = \frac{PH}{T} \Rightarrow T_0 = T \frac{H^2 - h^2}{H^2}, \quad (15)$$

где T_0 — начальная температура.

Ответ: $P_1 = \rho g(H-h)/2$, $P_2 = \rho g(H+h)/2$, $T_0 = T(H^2 - h^2)/H^2$.

Решение задачи №4 Пусть вся вода вылилась и осталась только капля на самом дне, тогда в случае, если капля на дно уже не опирается, записываем закон Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g} \Rightarrow mg \cos \alpha = m\omega^2 r \sin \alpha, \quad (16)$$

где m — масса капли, \vec{a} — центростремительное ускорение капли, \vec{N} — реакция опоры со стороны стенки, r — радиус дна, ω — угловая частота, а α — угол между вертикалью и стенкой ведра.

При $\omega > \sqrt{g \operatorname{ctg} \alpha / r}$ появится вертикальное ускорение.

Модель явления готова, теперь оценим ω : $\operatorname{ctg} \alpha = H/(R-r) \simeq 4 \div 9$, $r \simeq 0.1$ м, следовательно, $\omega = (2 \div 3) \cdot 10^1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, то есть, число оборотов в секунду равно: $n = \frac{\omega}{2\pi} = 3 \div 5 \frac{\text{об}}{\text{с}}$.

Решение задачи №5 Когда чашку ставят в горячую воду, то давление нагревающегося воздуха (и паров) возрастает, заметно уменьшая прижимающую силу, а значит, и силу трения, что приводит к сползанию чашки. Слой же воды вне чашки не позволяет выйти воздуху из неё, пока избыточное давление не сравняется с давлением слоя.

Попробуйте провести этот эксперимент самостоятельно.

Вариант ФФ-053

Решение задачи №1 Энергия выделяющаяся в проводах равна $Q = U \times I$, поэтому:

$$\frac{U^2 R_{1,2}}{(R + R_{1,2})^2} = \beta_{1,2} \frac{U^2}{R + R_{1,2}} \Rightarrow R_{1,2} = R \frac{\beta_{1,2}}{1 - \beta_{1,2}}. \quad (17)$$

Сопротивление однородного провода в случае постоянного тока обратно пропорционально его сечению, следовательно:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\beta_1(1 - \beta_2)}{\beta_2(1 - \beta_1)} = 11. \quad (18)$$

Ответ: в 11 раз.

Решение задачи №2 Пусть x — растяжение верхней и нижней пружи, а y — растяжение «передней» средней пружины, тогда «задняя» средняя пружина сожмётся на $y - x$. По 2-му закону Ньютона получим, что:

$$m\vec{a} = ky + k(y - x). \quad (19)$$

Сумма сил приложенных к заднему невесомому стержню равна нулю, следовательно:

$$2k_0x = k(y - x) \Rightarrow y = x \frac{2k_0 + k}{k}. \quad (20)$$

После подстановки в (19) находим, что:

$$x = \frac{ma}{4k_0 + k}. \quad (21)$$

Ответ: $x = ma/(4k_0 + k)$.

Решение задачи №3 Перепады напряжения между пластинами на разных участках горизонтали равны, поэтому можно записать, что:

$$E_1d_1 = E_2d_2. \quad (22)$$

Заряды плоских участков верхней пластины противоположны по знаку (q и $-q$), как и у участков нижней (Q и $-Q$)⁶. Поля, создаваемые этими зарядами в зазорах, можно найти как сумму полей плоскостей, тогда:

$$\begin{cases} E_1 = E + k\frac{Q-q}{2S_1} \\ E_2 = E - k\frac{Q-q}{2S_2} \end{cases} \Rightarrow E_1S_1 + E_2S_2 = E(S_1 + S_2). \quad (23)$$

Воспользуемся равенством (22) и получим:

$$E_{1,2} = Ed_{2,1} \frac{S_1 + S_2}{S_1d_2 + S_2d_1}. \quad (24)$$

Ответ: $E_{1,2} = Ed_{2,1}(S_1 + S_2)/(S_1d_2 + S_2d_1)$.

Решение задачи №4 Когда пластину только отпустили, то разница давлений на верхнюю и нижнюю поверхности равна

$$\Delta P_0 = \rho_0gd, \quad (25)$$

⁶При зеркальной симметрии системы $Q = -q$.

ρ_0 — плотность воды, g — ускорение свободного падения, а d — толщина пластины.

Под воздействием силы трения со стороны воды в конце концов скорость пластины тонущей станет постоянной, следовательно, из второго закона Ньютона получаем, что:

$$\Delta P_{\text{макс}} = \rho g d, \quad (26)$$

где ρ — плотность пластины. Следовательно, отношение давлений равно:

$$\frac{\Delta P_0}{\Delta P_{\text{макс}}} = \frac{\rho_0}{\rho} \simeq \frac{1}{8}. \quad (27)$$

Ответ: примерно в 8 раз.

Решение задачи №5 Когда чашку ставят в горячую воду, то давление нагревающегося воздуха (и паров) возрастает, заметно уменьшая прижимающую силу, а значит, и силу трения, что приводит к сползанию чашки. Слой же воды вне чашки не позволяет выйти воздуху из неё, пока избыточное давление не сравняется с давлением слоя.

Попробуйте провести этот эксперимент самостоятельно.

Вариант ФЕН-О51в

Решение задачи №1 Запишем работу силы тяжести:

$$A_{\text{тяж}} = mg(\ell + x) \sin \alpha \quad (28)$$

и работу силы трения:

$$A_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha. \quad (29)$$

Из закона сохранения энергии условие на преодоление шероховатой полоски:

$$A_{\text{тяж}} \geq A_{\text{тр}}, \quad (30)$$

следовательно $x = \ell(\mu \operatorname{ctg} \alpha - 1)$, если $\mu > \operatorname{tg} \alpha$, и $x = 0$, если $\mu \leq \operatorname{tg} \alpha$.

Ответ: $x = \ell(\mu \operatorname{ctg} \alpha - 1)$, если $\mu > \operatorname{tg} \alpha$, и $x = 0$, если $\mu \leq \operatorname{tg} \alpha$.

Решение задачи №2 Пусть P_0 — давление атмосферы, тогда в случае изотермического процесса получается:

$$\begin{cases} P_0 h_0 = P_1 h_1 \\ P_0 h_0 = P_2 h_2 \end{cases} \quad (31)$$

где P_1 и P_2 — давление воздуха внутри не перевёрнутой и перевёрнутой трубки, соответственно. Пусть m — массу вынутого столба жидкости, тогда условие его равновесия можно записать как:

$$\begin{cases} P_1 S + mg = P_0 S \\ P_0 S + mg = P_2 S \end{cases} \Rightarrow P_2 - P_0 = P_0 - P_1. \quad (32)$$

Подставляем в это уравнение значения P_1 и P_2 из (31) и (32) и получаем:

$$\frac{P_0 h_0}{h_1} - P_0 = P_0 - \frac{P_0 h_0}{h_2} \Rightarrow h_2 = \frac{h_0 h_1}{2h_1 - h_0}. \quad (33)$$

Ответ: $h_2 = h_0 h_1 / (2h_1 - h_0)$.

Решение задачи №3 Запишем условие отрыва груза массы M :

$$T = Mg, \quad (34)$$

где T — натяжение нити.

Из сохранения длины нити ускорение груза массы m равно:

$$A = 2a \quad (35)$$

Из 2-го закона Ньютона:

$$mA = T - mg \Rightarrow M \geq m \left(1 + 2\frac{a}{g} \right). \quad (36)$$

Ответ: $M \geq m(1 + 2\frac{a}{g})$.

Решение задачи №4 Из соображения «симметрии» треугольник должен быть равнобедренный. Пусть R длина стороны, соединяющей q и $3q$ заряды. При отсутствии трения натяжение всех участков петли одинаково. Тогда из равновесия заряда q получим:

$$T = 3 \frac{kq^2}{R^2}, \quad (37)$$

а из равновесия заряда $3q$, получаем:

$$T = 9 \frac{kq^2}{4R^2 \cos^2 \alpha} \quad (38)$$

Следовательно, приравняв T из (37) и (38), получим:

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \alpha = 30^\circ. \quad (39)$$

Ответ: $\alpha = 30^\circ$.

Вариант ФЕН-О52

Решение задачи №1

Пусть тело с массой M придёт в движение при сжатии пружины на x , тогда:

$$kx = \mu Mg. \quad (40)$$

«Граничный случай» отвечает остановке тела с искомой массой m , следовательно, уменьшение потенциальной энергии пружины равно работе силы трения на пути $x_0 + x$:

$$\frac{kx_0^2}{2} - \frac{kx^2}{2} = \mu mg(x_0 + x) \Rightarrow \frac{k(x_0 - x)}{2} = \mu mg. \quad (41)$$

Подставив (40) в (41) получим⁷, что:

$$m = \frac{kx_0}{2\mu g} - \frac{M}{2}.$$

Ответ: $m = kx_0/2\mu g - M/2$.

Решение задачи №2 Приравниваем перемещения тел по вертикали и горизонтали:

$$\begin{cases} \left(vt + \frac{at^2}{2} \right) \sin \alpha = \frac{gt^2}{2} \\ \left(vt + \frac{at^2}{2} \right) \cos \alpha = ut \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{gt^2}{2ut} \Rightarrow t = \frac{2u \operatorname{tg} \alpha}{g}. \quad (42)$$

После сокращения первого (или второго) уравнения на t и подстановки t и $a = g \sin \alpha$ находим, что:

$$u = \frac{v}{\cos \alpha}. \quad (43)$$

Можно рассмотреть проекции скорости и ускорения 2-го тела на оси по склону и по нормали к склону.

Ответ: $u = v/\cos \alpha$.

Решение задачи №3 Пусть суммарный объём песчинок равен V , тогда из уравнения состояния газа получим, что:

$$\begin{cases} P(SH_0 - V) = \nu RT_0 \\ P(SH - V) = \nu RT \end{cases} \quad (44)$$

⁷Описанное в условии происходит при $kx_0 > \mu Mg$.

где P — давление газа в сосуде, а ν — число молей. Разделив одно уравнение на другое, найдём V и затем, подставив $\rho = m/V$, получим, что:

$$\rho = \frac{m(T - T_0)}{S(H_0T - HT_0)}. \quad (45)$$

Ответ: $\rho = m(T - T_0)/S(H_0T - HT_0)$.

Решение задачи №4 Силу отталкивания бусинок с зарядом q $F_{qq} = kq^2/r^2$ уравновешивает составляющая вдоль спицы силы притяжения закреплённого заряда Q ($Qq < 0!$), следовательно:

$$\begin{aligned} \frac{kq^2}{r^2} &= -\frac{kqQr}{2\left(h^2 + \frac{r^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \Rightarrow \\ Q &= -2q\left(\frac{h^2}{r^2} + \frac{1}{4}\right)^{\frac{3}{2}} \end{aligned} \quad (46)$$

Ответ: $Q = -2q(h^2/r^2 + 1/4)^{3/2}$.

Вариант ГГФ-О51в

Решение задачи №1 Пусть V_0 — объём воды в сосуде, H — уровень жидкости в начала (до отрыва шарика), а S — сечение сосуда, тогда:

$$V_0 + V = HS. \quad (47)$$

При всплытии по закону Архимеда шар вытесняет объём воды равный его массе, следовательно:

$$V_0 + \frac{m}{\rho} = (H - h)S \Rightarrow m = \rho(V - hS). \quad (48)$$

Ответ: $m = \rho(V - hS)$.

Решение задачи №2 По второму закону Ньютона:

$$\begin{cases} \frac{mv^2}{R} = N \cos \alpha \\ mg = N \sin \alpha \end{cases} \Rightarrow v = \sqrt{Rg \operatorname{ctg} \alpha}, \quad (49)$$

где v — скорость шара, а N — реакция опоры.

Ответ: $v = \sqrt{Rg \operatorname{ctg} \alpha}$.

Решение задачи №3 так температура не изменилась, то из уравнения состояния идеального газа получим:

$$(P - \rho gh)(H - h) = P(H - h - d) \Rightarrow P = \frac{\rho gh(H - h)}{d}. \quad (50)$$

Ответ: $P = \rho gh(H - h)/d$.

Вариант ГГФ-О52

Решение задачи №1 Уровень воды в цилиндре после образования отверстия сравняется с уровнем воды снаружи. Запишем условие равновесия до образования отверстия и после:

$$\begin{cases} \rho SH = m + \rho s(H + h) \\ \rho S(H - y) = m + \rho s(H - y) \end{cases} \quad (51)$$

где $S = \pi R^2$, $s = \pi r^2$, H — глубина погружения цилиндра до образования отверстия, ρ — плотность воды, а y — искомое смещение цилиндра после образования отверстия. Вычитая эти уравнения друг из друга получаем:

$$\rho Sy = \rho s(h + y) \Rightarrow y = \frac{hs}{S - s} = \frac{hr^2}{R^2 - r^2}. \quad (52)$$

Ответ: $y = hr^2/(R^2 - r^2)$.

Решение задачи №2 Запишем второй закон Ньютона в векторной форме:

$$m\vec{a} = \vec{T} + m\vec{g} \Rightarrow \begin{cases} a = \frac{g}{\sin \alpha} \\ T = mg \operatorname{ctg} \alpha \end{cases} \quad (53)$$

Ответ: $a = \frac{g}{\sin \alpha}$, $T = mg \operatorname{ctg} \alpha$.

Решение задачи №3 Пусть U_1 , U_2 и q_1 , q_2 — падение напряжения и заряды на конденсаторах C_1 и C_2 соответственно, тогда:

$$U_1 + U_2 = U = \frac{q}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2}, \quad (54)$$

где q — заряд на конденсаторе C . Так как в начале конденсаторы C_1 и C_2 были не заряжены, то

$$q_1 = q_2 = \frac{C_1 C_2 U}{C_1 + C_2} \quad (55)$$

Подставив (55) в (54) получим:

$$q = CU + \frac{C_1 C_2 U}{C_1 + C_2}. \quad (56)$$

Ответ: $q = CU + C_1 C_2 U / (C_1 + C_2)$.

Материалы для задачи «объяснить явление» выездно-го варианта ФФ-051в.

Ниже приведена «выкройка», которая использовалась для создания конусов. Для скрепления следует использовать клей.

