

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 13 ноября 2016 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

Рекомендации для жюри

Каждая задача оценивается из 10 баллов. Участники олимпиады могут предложить полные и верные решения, отличные от приведённых ниже. За это они должны получить полный балл. Частичное решение или решение с ошибками оценивается, ориентируясь на этапы решения, приведённые в разбалловке. При этом верные выводы из ошибочных допущений не добавляют баллов. Если какой-то этап решения не полный, или частично правильный, то он оценивается частью баллов за этап. Если в решении участника олимпиады предложенные этапы объединены как один, то оценка проводится из суммарного балла. Наличие ответа без решения не оценивается. В решении в скобках могут быть указаны баллы, они повторяются в таблице разбалловки. Чтобы обеспечить сопоставимость результатов проверки, важно придерживаться этих рекомендаций и буквы и духа предложенных критериев оценки. В комментариях могут быть указания на иные варианты решения или другие замечания, полезные при проверке.

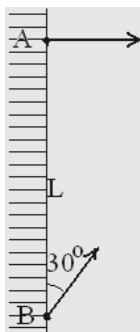
Для удобства работы жюри, каждая задача представлена на отдельной странице.

Задача не считается решенной, если приводится только ответ!

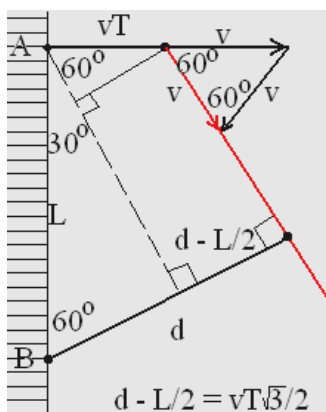
I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 13 ноября 2016 г.

Решения и критерии оценки 11 класс



1. Два катера с одинаковой скоростью v отплыли от морского берега: первый из точки А перпендикулярно берегу, второй – из точки В под углом 30° к берегу. Расстояние между А и В равно L . Насколько позже отплыл второй катер из пункта В, если наименьшее расстояние, на которое катера сблизились, $d = 1,5L$?



Возможное решение

1. Пусть искомое время запаздывание T . К моменту отплытия второго катера первый сместится на расстояние vT из А по перпендикуляру к берегу, а второй в этот момент ещё в точке В <1 балл>.
2. Рассмотрим происходящее в системе отсчёта второго катера <2 балла>.
3. Скорость первого катера в этой системе отсчёта (из векторного сложения скоростей), равна по величине v и направлена под углом 30° к берегу (красная стрелка на рис.) <2 балла>.
4. Траектория первого катера в системе отсчёта второго – прямая, направленная по этой скорости, а наименьшее расстояние d это длина перпендикуляра, опущенного из В на эту траекторию <2 балла>.
5. Спроектируем точку А на отрезок d . Так как $\sin 30^\circ = 1/2$, $\sin 60^\circ = \sqrt{3}/2$, то $d - L/2 = vT \sin 60^\circ = vT \sqrt{3}/2$ <2 балла>.
6. Откуда искомое $T = (2d - L)/\sqrt{3}v = 2L/\sqrt{3}v$ <1 балл>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Положение катеров в момент отплытия 2-го		1
2	Идея перехода в систему отсчёта одного из катеров		2
3	Нахождение относительной скорости		2
4	Условие минимальности расстояния		2
5	Вывод геометрических соотношений	$d - L/2 = vT \sqrt{3}/2$	2
6	Нахождение времени запаздывания	$T = 2L/\sqrt{3}v$	1

Комментарий Приведённое общее решение верно при $L/2 \leq d \leq 2L$. Если нарушена нижняя граница, то T отрицательно; если верхняя, то перпендикуляр пересечёт траекторию до момента отправления второго катера. По условию $d = 1,5L$ и с этими тонкостями ни участникам, ни жюри можно не разбираться. Замечание однако позволяет понять, где участник ошибся, проводя построения с d вне указанного интервала.

Задача не считается решенной, если приводится только ответ!

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 13 ноября 2016 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

2. В сосуде объёма V при давлении P и температуре T находится смесь двух газов с молярными массами μ_1 и μ_2 . Найдите отношение числа молей второго газа к числу молей первого, если известна суммарная масса газов m .

Возможное решение

1. Из уравнения состояния идеального газа $PV = (v_1 + v_2)RT$ <2балла>.
2. Выразим общую массу m через число молей v_1 и v_2 первого и второго газа $m = \mu_1 v_1 + \mu_2 v_2$ <2балла>.
3. Тогда получим $(\mu_1 v_1 + \mu_2 v_2)/(v_1 + v_2) = mRT/PV$ <2балла>.
4. Для искомого $x = v_2/v_1$ имеем $(\mu_1 + \mu_2 x)/(1 + x) = mRT/PV$ <1балл>.
5. Откуда $x = v_2/v_1 = (\mu_1 PV - mRT)/(mRT - \mu_2 PV)$ <3балла>.

Разбалловка по этапам

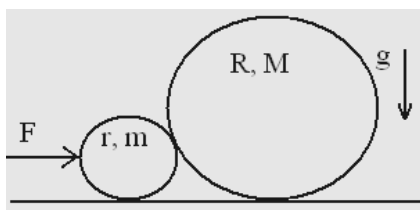
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Уравнение состояния газа	$PV = (v_1 + v_2)RT$	2
2	Выражение общей массы через число молей	$m = \mu_1 v_1 + \mu_2 v_2$	2
3	Соотношение для «среднего» μ	$(\mu_1 v_1 + \mu_2 v_2)/(v_1 + v_2) = mRT/PV$ аналог	2
4	Получение уравнения для $x = v_2/v_1$	$(\mu_1 + \mu_2 x)/(1 + x) = mRT/PV$	1
5	Нахождение искомого отношения	$x = (\mu_1 PV - mRT)/(mRT - \mu_2 PV)$	3

Задача не считается решенной, если приводится только ответ!

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 13 ноября 2016 г.

Решения и критерии оценки 11 класс



3. Соприкасающиеся цилиндры радиусом r и R и массой m и M скользят по горизонтальной плоскости. На меньший цилиндр давят вправо с горизонтальной силой F . Найдите силу давления со стороны одного цилиндра на другой. Трения нет.

Возможное решение

1. Ускорения одинаковы и направлены по горизонтали <1 балл>.
2. Сила нормального давления N (искомая!) направлена по отрезку соединяющему центры <1 балл>.
3. 2-й закон Ньютона для движения по горизонтали в применении к каждому из цилиндров: $mA = F - N\cos\alpha$; $MA = N\cos\alpha$ <2 + 2 балла>.
4. Из теоремы Пифагора находим $\cos\alpha = 2\sqrt{Rr}/(R + r)$ <2 балла>.
5. Окончательно $N = MF/(M + m)\cos\alpha = MF(R + r)/2\sqrt{Rr}(M + m)$ <2 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Связь ускорений		1
2	Направление искомой силы N		1
3	2-й закон Ньютона в применении 1 и 2 цилиндру	$mA = F - N\cos\alpha$; $MA = N\cos\alpha$	2+2
4	Нахождение $\cos\alpha$	$\cos\alpha = 2\sqrt{Rr}/(R + r)$	2
5	Нахождение искомой силы	$N = MF/(M + m)\cos\alpha = MF(R + r)/2\sqrt{Rr}(M + m)$	2

Комментарий Приведённое решение предполагает, что оба цилиндра соприкасаются с полом, что по существу указано в первом предложении условия. Вывода критерия движения без отрыва от пола $N\sin\alpha \leq Mg$ или его аналога для F не требуется, поэтому и не оценивается баллами.

Задача не считается решенной, если приводится только ответ!

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 13 ноября 2016 г.

Решения и критерии оценки 11 класс

4. Протон со скоростью v налетает издалека на первоначально неподвижный незакреплённый протон. Найдите наибольшее возможное ускорение протонов. Рассчитайте величину ускорения при значении $v = 10^6$ м/с. Заряд и масса протона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, постоянная, входящая в закон Кулона $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ единиц СИ. Достаточно точности в 10%.

Возможное решение

1. Наибольшее ускорение $a = ke^2/mr^2$ <1 балл>
2. Достигается при минимальном расстоянии r <1балл>.
3. Наибольшим сближение будет при движении по прямой <1>
4. При наибольшем сближения скорости протонов u одинаковы <1балл>.
5. Из сохранения импульса $2mu = mv$ <1балл>.
6. Из сохранения энергии $mv^2/2 = 2mu^2/2 + ke^2/r$ <1балл>.
7. Откуда $a = mv^4/16ke^2$ <2 балла>
8. Результат численного расчёта $a \approx 0,45 \cdot 10^{24}$ м/с² <2 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Выражение для ускорения	$a = ke^2/mr^2$	1
2	Максимальность a при минимуме r		1
3	и движении по прямой		1
4	Равенство скоростей при наибольшем сближении		1
5	Сохранение импульса	$2mu = mv$	1
6	Сохранение энергии	$mv^2/2 = 2mu^2/2 + ke^2/r$	1
7	Общее выражение ускорения	$a = mv^4/16ke^2$	2
8	Числовое значение	$a \approx 0,45 \cdot 10^{24}$ м/с ²	2

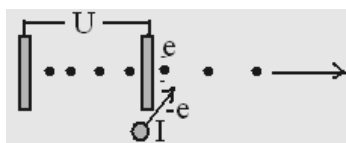
Комментарий За восьмой этап 2 балла при правильной степени 10 и множителе в интервале от 0,4 до 0,5. Иначе 0 баллов. Вес оценки за число отвечает физической значимости того факта, что при столкновениях частиц возникают колоссальные по величине ускорения.

Задача не считается решенной, если приводится только ответ!

I (очный) этап Всесибирской открытой олимпиады школьников

Физика 13 ноября 2016 г.

Решения и критерии оценки 11 класс



5. В ионном ракетном двигателе однократно заряженные положительные ионы массой $M = 6,5 \cdot 10^{-26}$ кг разгоняются на ускоряющем промежутке от почти нулевой скорости напряжением $U = 5 \cdot 10^6$ В. При вылете ионы нейтрализуются током $I = 50$ А от вспомогательного источника электронов и летят далее свободно. Какова сила тяги двигателя, если импульс электронов много меньше импульса ионов? Элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Возможное решение

1. Кинетическая энергия получаемая ионами $Mv^2/2 = eU$ <1 балл>.
2. Тогда их импульс на выходе $p = Mv = (2MeU)^{1/2}$ <1 балл>.
3. Если за единицу времени вылетает v ионов, то сила тяги равна передаче импульса за единицу времени, то есть $F = vMv$ <2 балла>.
4. При нейтрализации на каждый ион приходится один электрон, поэтому ток нейтрализации $I = ev$, а $v = I/e$ <2 балла>.
5. Отсюда получаем окончательное выражение $F = I(2UM/e)^{1/2}$ <2 балла>.
6. При числовых данных условия $F \cong 100$ Н <2 балла>.

Разбалловка по этапам

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Связь кинетической энергии и напряжения	$Mv^2/2 = eU$	1
2	Нахождения импульса иона на выходе	$p = Mv = (2MeU)^{1/2}$	1
3	Нахождение силы через v	$F = vMv$	2
4	Нахождение v по току нейтрализации	$I = ev$; $v = I/e$	2
5	Нахождение F в общем виде	$F = I(2UM/e)^{1/2}$	2
6	Числовое значение для силы тяги	$F \cong 100$ Н	2

Комментарий Замечания полезные для разбора решения с учащимися. Числа относительно условны. Если рассчитать мощность, то $N = UI = 250$ МВт! Но вот то, что сила тяги относительно мала это верно и для реальных двигателей. Достоинство ионных двигателей в том, что при наличии источника энергии они могут работать весьма долго. Принудительная нейтрализация необходима при работе в космосе. Без неё космический аппарат быстро приобрёл бы отрицательный заряд и ионы перестали бы улетать.

Задача не считается решенной, если приводится только ответ!