

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Национальный исследовательский университет «МИЭТ» на протяжении многих лет проводит для старшеклассников олимпиады по математике, физике и информатике, которые пользуются большой популярностью среди школьников страны. С 2015 года в заочной (дистанционной) форме проводится олимпиада школьников «РИТМ МИЭТ». Ежегодно в 9 секциях олимпиады принимают участие более 2000 человек. В 2018 году университет организовал очную Физико-математическую олимпиаду МИЭТ, которая проходит в нескольких десятках городов России и стран СНГ. С 2019 года также проводится олимпиада школьников «Электронный наномир».

Ниже приводятся задачи по физике заключительного этапа олимпиады «РИТМ МИЭТ», варианты Физико-математической олимпиады МИЭТ и избранные задачи олимпиады «Электронный наномир».

Интернет-олимпиада «РИТМ МИЭТ»

Заключительный этап

1. В момент отправления поезда с ускорением $a = 1 \text{ м/с}^2$ пассажир находился на расстоянии $r = 15 \text{ м}$ от открытой двери своего вагона и на 10 м позади нее (рис. 1). С какой

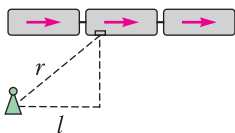


Рис. 1

минимальной скоростью и в каком направлении должен бежать пассажир, чтобы заскочить в свой вагон?

2. Ось полого цилиндра горизонтальна. Небольшая шайба находится внутри цилиндра в нижней точке. Цилиндр начинают вращать вокруг его оси так, что скорость шайбы до начала ее проскальзывания увели-

чивается со временем по линейному закону $v = at$, где $a = 1 \text{ м/с}^2$. Проскальзывание шайбы начинается в момент, когда цилиндр повернулся на угол $\varphi = \pi/6$ относительно первоначального положения. Определите коэффициент трения между цилиндром и шайбой. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

3. В теплоизолированном цилиндрическом сосуде объемом $V_0 = 1 \text{ л}$ под поршнем находятся небольшой электронагреватель и одноатомный идеальный газ при давлении $p_0 = 100 \text{ кПа}$. Поршень начинают перемещать с постоянной скоростью, включив при этом электронагреватель и регулируя его мощность так, что давление в сосуде изменяется пропорционально объему газа. Определите минимальную и максимальную мощности нагревателя при увеличении объема газа в 2 раза за время $t_0 = 400 \text{ с}$.

4. Состояние двухатомного идеального газа изменяется по циклу Карно. Минимальный объем газа в цикле $V = 1 \text{ л}$, максимальное давление $p = 200 \text{ кПа}$. При адиабатическом расширении газ совершает за цикл работу $A = 150 \text{ Дж}$. Определите КПД цикла.

5. Три одинаковых шарика соединены двумя легкими нерастяжимыми нитями одинаковой длины (рис. 2). Крайние шарики поло-

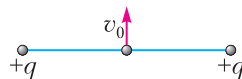


Рис. 2

жительно заряжены. В начальный момент шарики находятся на одной прямой, скорости крайних равны нулю, а средний шарик движется в направлении, перпендикулярном нитям, с кинетической энергией, равной потенциальной энергии электрического взаимодействия крайних шариков. Определите: а) минимальный угол между нитями при движении шариков; б) угол β между нитями в момент времени, когда скорость среднего шарика равна нулю. Силой тяжести пренебречь.

6. К двум медным стержням прижали П-образный медный проводник (рис. 3). Сопротивления четырех контактов П-образного проводника со стержнями равны $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ Ом}$ и $R_4 = 3 \text{ Ом}$. Эти сопротивления значительно превышают сопротивления самих стержней и П-проводника.

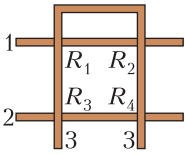


Рис. 3

Определите сопротивление между стержнями 1 и 2.

7. Неподвижный П-образный проводник и подвижная перемычка, находящаяся в электрическом контакте с ним, расположены в постоянном однородном магнитном поле. В контур включен источник ЭДС и резистор (рис. 4). Чтобы перемещать перемычку по П-образному проводнику с постоянной скоростью v , к ней следует приложить силу \vec{F} , а чтобы перемещать перемычку в том же направлении с постоянной скоростью $2v$, необходимо приложить силу $-3\vec{F}$. Определите силу F_0 , необходимую для удерживания перемычки в неподвижном состоянии. Все прикладываемые силы лежат в плоскости П-образного проводника и перпендикулярны перемычке. Силами трения и тяжести пренебречь. Сопротивление проводящего контура считать постоянным.

Физико-математическая олимпиада МИЭТ

10 класс

Вариант 1

1. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью v_0 с некоторой высоты. Путь, пройденный телом вверх, оказался в $n = 4$ раза меньше пути, пройденного вниз. а) Во сколько раз максимальная скорость тела больше его начальной скорости? б) Чему равна начальная скорость тела v_0 , если тело находилось в полете время $t = 3$ с? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивлением воздуха пренебречь.

2. Бусинка надета на шероховатую горизонтальную спицу на расстоянии $r = 1$ м от левого конца (рис. 5). Спицу начинают вра-

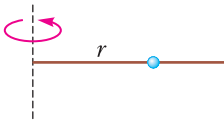


Рис. 5

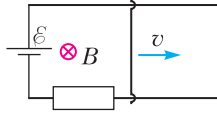


Рис. 4

щать вокруг вертикальной оси, проходящей через ее левый конец. При этом модуль скорости бусинки растет пропорционально времени: $v = at$. Коэффициент трения между бусинкой и спицей равен $\mu = 0,2$, сила тяжести пренебрежимо мала. Найдите: а) угловое ускорение спицы β , если $a = 2$ м/с²; б) длину дуги s , которую бусинка опишет при повороте спицы, прежде чем начнется скольжение бусинки по спице.

3. Тело массой $m = 0,5$ кг бросили с балкона под некоторым углом к горизонту. Когда потенциальная энергия тела уменьшилась на $\Delta E_{\text{п}} = 16$ Дж, его кинетическая энергия стала равной $E_{\text{к}} = 25$ Дж. С какой начальной скоростью v_0 брошено тело? Сопротивлением воздуха пренебречь.

4. Средняя квадратичная скорость молекул азота, который содержится в воздухе комнаты объемом $V = 75$ м³, равна $v_{\text{кв}} = 500$ м/с. Считайте, что воздух состоит из азота и кислорода. Концентрация молекул азота в $\beta = 4$ раза больше концентрации молекул кислорода. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, молярная масса азота $M = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(К · моль). а) Какова температура T воздуха в комнате? б) Чему равна масса m азота в комнате?

5. Четыре одинаковых медных шарика прижаты друг к другу (рис. 6). Считая, что

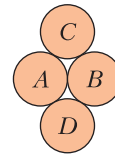


Рис. 6

сопротивления всех контактов между шариками одинаковые, определите, во сколько раз увеличится электрическое сопротивление между шариками A и B, если шарик D убрать.

Вариант 2

1. Тело брошено с некоторой высоты горизонтально. Высоту увеличивают в 9 раз. Во сколько раз надо увеличить начальную скорость тела, чтобы отношение высоты к горизонтальной дальности полета осталось прежним? Сопротивлением воздуха пренебречь.

2. На горизонтальном полу стоит тележка, на тележке покоится ящик (рис. 7). Если

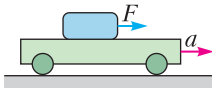


Рис. 7

тележку разгонять, действуя на ящик с горизонтальной силой \vec{F} , то тележка движется относительно пола с ускорением $a_1 = 1,2 \text{ м/с}^2$, если эту силу увеличить в 3 раза, то ускорение тележки становится равным $a_2 = 2,5 \text{ м/с}^2$. Определите: а) коэффициент трения между ящиком и тележкой; б) ускорение тележки, если на ящик действует сила $2\vec{F}$. Трением качения пренебrecь. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Масса тележки в 2 раза больше массы ящика

3. Шар массой M падает без начальной скорости с некоторой высоты. Когда высота шара над землей уменьшилась в 2 раза, в шар попала горизонтально летящая пуля массой m и застряла в нем. За время удара скорость шара увеличилась от $v_1 = 4 \text{ м/с}$ до $v_2 = 1,5v_1$, а вектор скорости шара повернулся на угол $\varphi = 60^\circ$. Высота шара над землей за это время практически не изменилась. Пренебрегая сопротивлением воздуха и вращением шара, определите: а) скорость v_3 шара перед ударом о землю; б) отношение масс M/m .

4. В баллон объемом $V = 100 \text{ л}$, содержащий $m = 0,35 \text{ кг}$ газообразного пропана, закачали метан, в результате чего концентрация молекул газа в баллоне увеличилась в 3 раза и установилось давление $p = 600 \text{ кПа}$. Определите: а) парциальное давление пропана $p_{\text{п}}$; б) среднюю квадратичную скорость $v_{\text{кв}}$ молекул пропана. Газы считайте идеальными, температуру постоянной.

5. Четыре медных стержня прижаты друг к другу (рис.8). Определите электрическое

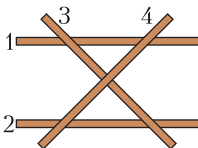


Рис. 8

сопротивление: а) R_{34} между стержнями 3 и 4; б) R_{13} между стержнями 1 и 3. Сопротивление каждого контакта между двумя стержнями равно $R = 0,8 \text{ Ом}$ и значительно превышает сопротивление самого стержня.

11 класс

Вариант 1

1. Шарик брошен вертикально вверх. Через промежуток времени, равный $1/3$ времени подъема на максимальную высоту, шарик оказался на высоте $h = 5 \text{ м}$ над точкой бросания. На какую максимальную высоту H поднялся шарик? Сопротивлением воздуха пренебrecь.

2. На горизонтальной поверхности стола стоит тележка, на тележке покоится шайба (рис.9). Если тележку разгонять, действуя

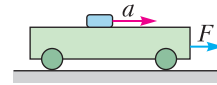


Рис. 9

на нее с горизонтальной силой \vec{F} , то шайба движется относительно стола с ускорением $a_1 = 1 \text{ м/с}^2$; если эту силу увеличить в 4 раза, то ускорение шайбы становится равным $a_2 = 2 \text{ м/с}^2$. Определите: а) коэффициент трения между шайбой и тележкой; б) ускорение шайбы при действующей на тележку силе $3\vec{F}$. Трением качения пренебrecь. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

3. В баллон объемом $V = 300 \text{ л}$, содержащий $m = 0,35 \text{ кг}$ газообразного метана, закачали пропан, в результате чего концентрация молекул газа в баллоне увеличилась в 3 раза и установилось давление $p = 600 \text{ кПа}$. Определите: а) парциальное давление метана $p_{\text{м}}$ в баллоне; б) среднюю квадратичную скорость $v_{\text{кв}}$ молекул метана. Газы считайте идеальными, температуру постоянной.

4. Заряд q однородно распределен по одной из сторон правильного треугольника, при этом напряженность электрического поля в центре треугольника равна E . Определите напряженность электрического поля в центре того же треугольника в случае, когда стороны треугольника имеют заряды q , q и $3q$ (рис.10), каждый из которых однородно распределен по соответствующей стороне.

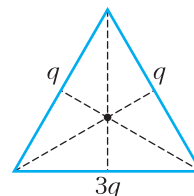


Рис. 10

5. Вольтметр, подключенный к клеммам батареи с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В, показывает напряжение $U_1 = 9$ В. К клеммам батареи подключают второй такой же вольтметр. Найдите показание U_2 вольтметров.

Вариант 2

1. Тело брошено с некоторой высоты горизонтально. Высоту увеличивают в 4 раза. Во сколько раз надо увеличить начальную скорость тела, чтобы отношение высоты к горизонтальной дальности полета осталось прежним? Сопротивлением воздуха пренебречь.

2. На горизонтальном полу стоит тележка, на тележке покоится ящик (см. рис.7). Если тележку разгонять, действуя на ящик с горизонтальной силой \vec{F} , то тележка движется относительно пола с ускорением $a_1 = 1$ м/с²; если эту силу увеличить в 4 раза, то ускорение тележки становится равным $a_2 = 1,5$ м/с². Определите: а) коэффициент трения между ящиком и тележкой; б) ускорение тележки, если на ящик действует сила $3\vec{F}$. Трением качения пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Масса тележки в 3 раза больше массы ящика.

3. В баллон объемом $V = 150$ л, содержащий $m = 0,35$ кг газообразного пропана, закачали метан, в результате чего масса газа в баллоне увеличилась в 3 раза и установилось давление $p = 780$ кПа. Определите: а) парциальное давление пропана $p_{\text{п}}$ в баллоне; б) среднюю квадратичную скорость $v_{\text{кв}}$ молекул пропана. Газы считайте идеальными, температуру постоянной, молярные массы пропана и метана относятся как 11:4.

4. Заряд q однородно распределен по одной из сторон квадрата, при этом напряженность электрического поля в его центре равна E . Определите напряженность электрического поля в центре того же квадрата в случае, когда три его стороны имеют заряды q , $2q$ и $3q$ (рис.11), каждый из которых однородно распределен по соответствующей стороне, а заряд четвертой стороны квадрата равен нулю.

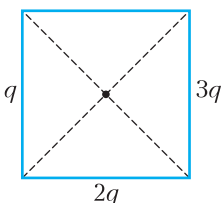


Рис. 11

5. Вольтметр, подключенный к клеммам батареи, показывает напряжение $U_1 = 5$ В. Когда к клеммам батареи подключили второй такой же вольтметр, вольтметры показали $U_2 = 3$ В. Определите ЭДС \mathcal{E} батареи.

Олимпиада «Электронный наномир» Избранные задачи

10 класс

1. С гладкой крыши, имеющей внизу горизонтальный участок, соскальзывает камушек. а) Определите горизонтальную дальность полета l камушка, если точка A , из которой он начал скольжение, расположена на высоте $H = 8$ м, а нижний край крыши находится на высоте $h = 6$ м над поверхностью земли (рис.12). б) Под каким углом α

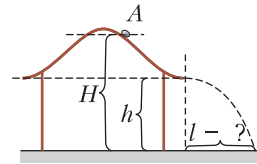


Рис. 12

к горизонту нужно бросить с земли камушек с минимально возможной начальной скоростью, чтобы он достиг точки A ?

2. Шайба после толчка скользит по неподвижной горизонтальной платформе с ускорением $a_1 = 5$ м/с² и останавливается. После этого платформу начинают поворачивать вокруг вертикальной оси так, что скорость шайбы увеличивается со временем по закону $v = a_2 t$, где $a_2 = 4$ м/с². Определите: а) ускорение a_3 шайбы в момент времени, когда она начнет скользить по платформе; б) угол, на который повернется платформа к этому моменту времени.

3. В результате абсолютно упругого столкновения частицы массой m с покоившейся частицей массой $m/2$ они разлетелись симметрично относительно первоначального направления движения налетающей частицы. Определите угол между направлениями разлета частиц.

4. В теплоизолированном цилиндрическом сосуде объемом $V_0 = 1$ л под поршнем находятся небольшой электронагреватель и одноатомный идеальный газ при давлении $p_0 = 100$ кПа. Поршень начинают перемещать с постоянной скоростью, включив при этом электронагреватель и регулируя его

мощность так, что температура в сосуде остается постоянной. За время $t_0 = 500$ с объем газа в сосуде увеличился в 2 раза. Определите минимальную и максимальную мощности нагревателя в этом процессе.

5. Три одинаковых шарика соединены двумя легкими нерастяжимыми нитями одинаковой длины (рис.13). Крайние шарики за-

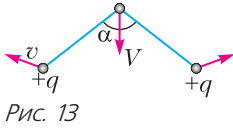


Рис. 13

ряжены положительно. Сначала шарики удерживают в вершинах равнобедренного треугольника при натянутых нитях, а затем одновременно отпускают. В системе возникают колебания с максимальной кинетической энергией $E_{\max} = 0,1$ Дж и максимальной потенциальной энергией электрического взаимодействия $U_{\max} = 2E_{\max}$. Определите: а) максимальную кинетическую энергию E_1 среднего шарика; б) минимальный угол α_{\min} между нитями. Силой тяжести пренебречь.

11 класс

1. На горизонтальной поверхности земли находится гладкая полусфера радиусом R . Из ее верхней точки A начинает скользить небольшой камушек. а) С какой скоростью v он упадет на землю? б) Под каким углом α к горизонту будет направлена эта скорость? в) Под каким углом β к горизонту нужно бросить камушек с поверхности земли с минимально возможной начальной скоростью, чтобы он достиг точки A ?

2. Цилиндрический сосуд с водой находится в помещении, в котором поддерживается влажность воздуха $\phi_1 = 70\%$ при неизменной температуре. Уровень воды в сосуде понижается со скоростью $v_1 = 0,2$ см/сутки. Определите, с какой скоростью v_2 будет понижаться уровень воды в сосуде, если влажность воздуха в комнате станет $\phi_2 = 50\%$ при той же температуре.

3. Заряженная бусинка массой m и зарядом q скользит без трения по нити, натянутой вдоль оси симметрии однородно заряженной неподвижной диэлектрической полусферы, приближаясь к ее внутренней поверхности (рис.14). Воображаемую границу сферы бусинка пересекла в точке 1 со скоростью v , а в точке 2, совпадающей с центром

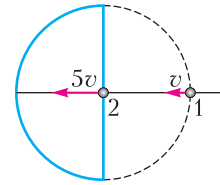


Рис. 14

полусферы, имела скорость $5v$. а) Определите разность потенциалов $\phi_1 - \phi_2$ электростатического поля полусферы в точках 1 и 2. б) С какой скоростью бусинка ударилась о внутреннюю поверхность полусферы?

4. Наночастицей принято называть изолированный твердофазный объект, имеющий отчетливо выраженную границу с окружающей средой, максимальный размер которого в любом направлении составляет от 1 до 100 нм. Какое количество электронов можно удержать на сферической проводящей наночастице радиусом $R = 50$ нм, если предельная напряженность электрического поля окружающей среды $E_{\max} = 2 \cdot 10^6$ В/м, а диэлектрическая проницаемость окружающей частицу среды $\epsilon = 11,7$? Коэффициент пропорциональности в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл².

5. На диэлектрической подложке сформирована двухуровневая металлизация, фрагмент которой показан на рисунке 15. Алю-

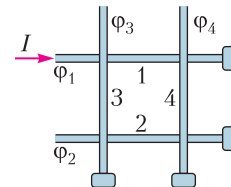


Рис. 15

миниевые проводники 1 и 2 лежат в нижнем слое металлизации, а проводники 3 и 4 – в верхнем, отделенном от нижнего слоя диэлектриком. Каждый проводник подсоединен к изолированной от других проводников контактной площадке. Потенциалы проводников равны $\phi_1 = 4$ В, $\phi_2 = 3$ В, $\phi_3 = 2$ В, $\phi_4 = 1$ В соответственно. Сопротивление между проводниками в местах их перекрытия $R = 100$ МОм значительно больше сопротивления самих проводников. Определите ток I , втекающий в рассматриваемый фрагмент по проводнику 1.

Публикацию подготовили Г.Гайдуков, И.Горбатый, А.Спиридонов, И.Федоренко