

## Разбор заданий пригласительного этапа ВсОШ по физике для 10 класса

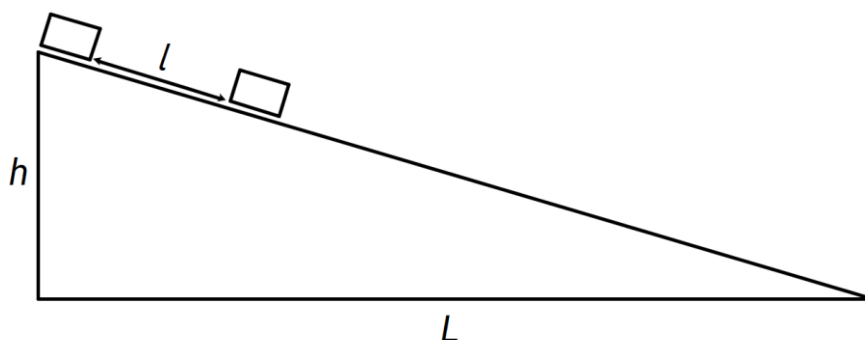
2021/22 учебный год

Максимальное количество баллов — 30

### Задание № 1.1

#### Общее условие:

На закреплённом клине удерживают два кубика, одинаковых по массе и размерам, на расстоянии  $l = 30$  см друг от друга (расстояние отсчитывается вдоль склона, см. рисунок). Размеры клина  $h = 5$  см,  $L = 50$  см. Коэффициент трения нижнего кубика о поверхность клина  $\mu = 0.4$ ; верхний кубик гладкий, его коэффициент трения равен нулю. Кубики одновременно отпускают. Все столкновения кубиков друг с другом абсолютно упругие. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



#### Условие:

Как будут двигаться кубики непосредственно после первого столкновения?

#### Варианты ответов:

- Верхний отскочит вверх; нижний начнёт двигаться вниз
- Верхний остановится; нижний начнёт двигаться вниз
- Оба будут двигаться вниз
- Оба остановятся

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Чему будет равна скорость верхнего кубика непосредственно перед первым соударением?

Ответ выразите в м/с, округлите до сотых.

Ответ: принимается в интервале от 0.75 до 0.79

Точное совпадение ответа — 3 балла

**Условие:**

На каком расстоянии от своего исходного положения остановится нижний кубик после окончательного прекращения движения обоих кубиков? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до десятых.

**Ответ:** принимается в интервале от 14.9 до 15.1

**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение.*

**Вопрос 1.** При абсолютно упругом центральном соударении двух тел одинаковой массы, в случае, если одно из них первоначально покоилось, двигавшееся перед соударением тело останавливается, а тело, покоившееся до соударения, начинает двигаться со скоростью налетающего на него тела. Поэтому непосредственно после соударения верхний кубик остановится, а нижний придет в движение.

**Вопрос 2.** Закона сохранения энергии для верхнего кубика от начала его движения до момента столкновения выглядит следующим образом

$$mg\Delta h = \frac{mv^2}{2}$$

Здесь  $\Delta h = l \frac{h}{\sqrt{h^2+L^2}}$  – изменение высоты верхнего кубика за время от начала движения до столкновения. Отсюда

$$v = \sqrt{\frac{2ghl}{\sqrt{h^2+L^2}}}$$

**Вопрос 3.** В процессе движения на нижний кубик действует сила трения  $F_{\text{тр}} = \mu mg \cdot \cos\alpha$ , где  $\alpha$  угол наклона плоскости к горизонту. Закон сохранения энергии для системы двух кубиков выглядит следующим образом

$$mg\Delta l \cdot \sin\alpha + mg(l + \Delta l)\sin\alpha - \mu mg \cdot \cos\alpha \cdot \Delta l = 0$$

Здесь слагаемое  $-\mu mg \cdot \cos\alpha \cdot \Delta l$  соответствует отрицательной работе силы трения.

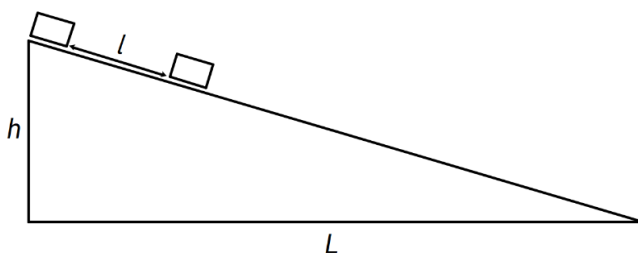
Из геометрии  $\sin\alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2+L^2}}$ ,  $\cos\alpha = \frac{L}{\sqrt{h^2+L^2}}$ . Подставив эти выражения в закон сохранения энергии, получим

$$\Delta l = \frac{lh}{\mu L - 2h}$$

## Задание № 1.2

### Общее условие:

На закреплённом клине удерживают два кубика, одинаковых по массе и размерам, на расстоянии  $l = 40$  см друг от друга (расстояние отсчитывается вдоль склона, см. рисунок). Размеры клина  $h = 10$  см,  $L = 100$  см. Коэффициент трения нижнего кубика о поверхность клина  $\mu = 0.3$ ; верхний кубик гладкий, его коэффициент трения равен нулю. Кубики одновременно отпускают. Все столкновения кубиков друг с другом абсолютно упругие. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



### Условие:

Как будут двигаться кубики непосредственно после первого столкновения?

### Варианты ответов:

- Верхний отскочит вверх; нижний начнёт двигаться вниз
- Верхний остановится; нижний начнёт двигаться вниз
- Оба будут двигаться вниз
- Оба остановятся

**Точное совпадение ответа — 2 балла**

### Условие:

Чему будет равна скорость верхнего кубика непосредственно перед первым соударением?

Ответ выразите в м/с, округлите до сотых.

**Ответ:** принимается в интервале от 0.87 до 0.91

**Точное совпадение ответа — 3 балла**

### Условие:

На каком расстоянии от своего исходного положения остановится нижний кубик после окончательного прекращения движения обоих кубиков? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до десятых.

**Ответ:** принимается в интервале от 39.9 до 40.1

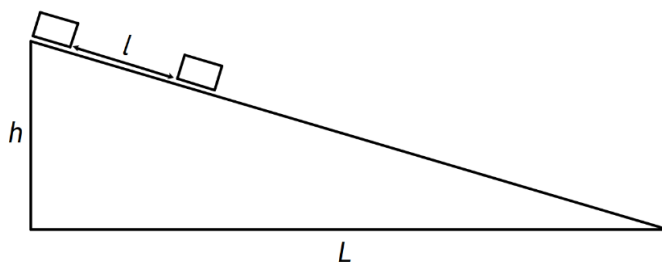
**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение по аналогии с заданием № 1.1.*

### Задание № 1.3

#### Общее условие:

На закреплённом клине удерживают два кубика, одинаковых по массе и размерам, на расстоянии  $l = 10$  см друг от друга (расстояние отсчитывается вдоль склона, см. рисунок). Размеры клина  $h = 15$  см,  $L = 75$  см. Коэффициент трения нижнего кубика о поверхность клина  $\mu = 0.5$ ; верхний кубик гладкий, его коэффициент трения равен нулю. Кубики одновременно отпускают. Все столкновения кубиков друг с другом абсолютно упругие. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



#### Условие:

Как будут двигаться кубики непосредственно после первого столкновения?

#### Варианты ответов:

- Верхний отскочит вверх; нижний начнёт двигаться вниз
- Верхний остановится; нижний начнёт двигаться вниз
- Оба будут двигаться вниз
- Оба остановятся

**Точное совпадение ответа — 2 балла**

#### Условие:

Чему будет равна скорость верхнего кубика непосредственно перед первым соударением?

Ответ выразите в м/с, округлите до сотых.

**Ответ:** принимается в интервале от 0.6 до 0.64

**Точное совпадение ответа — 3 балла**

#### Условие:

На каком расстоянии от своего исходного положения остановится нижний кубик после окончательного прекращения движения обоих кубиков? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до десятых.

**Ответ:** принимается в интервале от 19.9 до 20.1

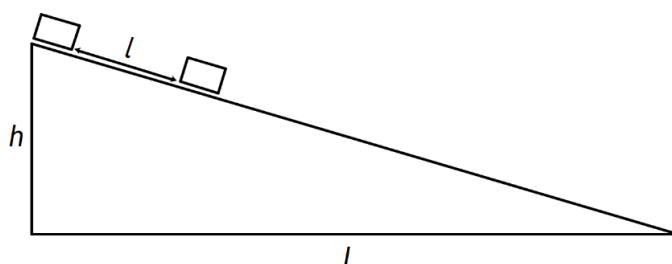
**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение по аналогии с заданием № 1.1.*

### Задание № 1.4

#### Общее условие:

На закреплённом клине удерживают два кубика, одинаковых по массе и размерам, на расстоянии  $l = 24$  см друг от друга (расстояние отсчитывается вдоль склона, см. рисунок). Размеры клина  $h = 8$  см,  $L = 80$  см. Коэффициент трения нижнего кубика о поверхность клина  $\mu = 0.35$ ; верхний кубик гладкий, его коэффициент трения равен нулю. Кубики одновременно отпускают. Все столкновения кубиков друг с другом абсолютно упругие. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



#### Условие:

Как будут двигаться кубики непосредственно после первого столкновения?

#### Варианты ответов:

- Верхний отскочит вверх; нижний начнёт двигаться вниз
- Верхний остановится; нижний начнёт двигаться вниз
- Оба будут двигаться вниз
- Оба остановятся

**Точное совпадение ответа — 2 балла**

#### Условие:

Чему будет равна скорость верхнего кубика непосредственно перед первым соударением?

Ответ выразите в м/с, округлите до сотых.

**Ответ:** принимается в интервале от 0.67 до 0.71

**Точное совпадение ответа — 3 балла**

#### Условие:

На каком расстоянии от своего исходного положения остановится нижний кубик после окончательного прекращения движения обоих кубиков? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до десятых.

**Ответ:** принимается в интервале от 15.9 до 16.1

**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение по аналогии с заданием № 1.1.*

## Задание № 2.1

### Общее условие:

Наконечники двух одинаковых шприцов соединили с помощью короткой резиновой трубки. Первоначально объём воздуха в каждом из шприцов составлял  $V = 8$  мл, давление внутри системы равнялось атмосферному давлению  $P_0 = 100$  кПа. Площадь поперечного сечения шприца составляет  $S = 3$  см<sup>2</sup>. Удерживая корпуса шприцов неподвижными, на поршень шприца №1 начинают давить так, чтобы он начал очень медленно перемещаться с постоянной скоростью. На поршень шприца №2 при этом никакие дополнительные воздействия не оказываются. В момент времени, когда объём воздуха в шприце №1 составлял  $V_1 = 6$  мл, объём воздуха в шприце №2 составлял  $V_2 = 9$  мл.



### Условие:

Как изменялось положение поршня шприца №2 с момента начала движения поршня №1?

### Варианты ответов:

- Всё время двигался с постоянной скоростью
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с переменной скоростью
- Сразу пришёл в движение, скорость менялась в процессе движения
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с постоянной скоростью

Точное совпадение ответа — 2 балла

### Условие:

Чему равнялось давление внутри шприцов в указанный момент времени? Ответ выразите в килопаскалях, округлите до сотых.

Ответ: принимается в интервале от 106.64 до 106.7

Точное совпадение ответа — 3 балла

**Условие:**

Чему равняется сила трения, действующая на поршни шприцев? Ответ выразите в ньютонах, округлите до сотых.

**Ответ:** принимается в интервале от 1.98 до 2.02

**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение.*

**Вопрос 1.** При нажатии на поршень шприца №1 суммарный объем газа в обоих шприцах  $V_1 + V_2$  уменьшается, давление газа при этом возрастает. Так как процесс изотермический, давление внутри шприцев  $P = P_0 \frac{2V}{V_1 + V_2}$ . Движение поршня шприца №2 начинается тогда, когда разность давлений внутри и снаружи  $\Delta P = P - P_0 = P_0 \frac{2V - (V_1 + V_2)}{V_1 + V_2}$  сможет преодолеть силу трения поршня о стенки  $F_{\text{тр}}$ .

$$P_0 \frac{2V - (V_1 + V_2)}{V_1 + V_2} S = F_{\text{тр}}$$

С этого момента суммарный объем газа в обоих шприцах  $V_1 + V_2$  будет оставаться постоянным. Поэтому при движении поршня левого шприца с постоянной скоростью поршень правого также будет двигаться с постоянной скоростью вправо.

**Вопрос 2.** Давление внутри шприцов при изотермическом процесс определяется законом Бойля-Мариотта

$$P = P_0 \frac{2V}{V_1 + V_2}$$

**Вопрос 3.** Как уже было показано, сила трения поршня о стенки определяется уравнением

$$F_{\text{тр}} = P_0 \frac{2V - (V_1 + V_2)}{V_1 + V_2} S$$

## Задание № 2.2

### Общее условие:

Наконечники двух одинаковых шприцов соединили с помощью короткой резиновой трубки. Первоначально объём воздуха в каждом из шприцов составлял  $V = 5$  мл, давление внутри системы равнялось атмосферному давлению  $P_0 = 100$  кПа. Площадь поперечного сечения шприца составляет  $S = 2.4$  см<sup>2</sup>. Удерживая корпуса шприцов неподвижными, на поршень шприца №1 начинают давить так, чтобы он начал очень медленно перемещаться с постоянной скоростью. На поршень шприца №2 при этом никакие дополнительные воздействия не оказываются. В момент времени, когда объём воздуха в шприце №1 составлял  $V_1 = 3$  мл, объём воздуха в шприце №2 составлял  $V_2 = 6$  мл.



### Условие:

Как изменялось положение поршня шприца №2 с момента начала движения поршня №1?

### Варианты ответов:

- Всё время двигался с постоянной скоростью
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с переменной скоростью
- Сразу пришёл в движение, скорость менялась в процессе движения
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с постоянной скоростью

Точное совпадение ответа — 2 балла

### Условие:

Чему равнялось давление внутри шприцов в указанный момент времени? Ответ выразите в килопаскалях, округлите до сотых.

Ответ: принимается в интервале от 111.08 до 111.14

Точное совпадение ответа — 3 балла



**Условие:**

Чему равняется сила трения, действующая на поршни шприцев? Ответ выразите в ньютонах, округлите до сотых.

**Ответ:** принимается в интервале от 2.65 до 2.69

**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение по аналогии с заданием № 2.1.*

### Задание № 2.3

#### Общее условие:

Наконечники двух одинаковых шприцов соединили с помощью короткой резиновой трубки. Первоначально объём воздуха в каждом из шприцов составлял  $V = 10$  мл, давление внутри системы равнялось атмосферному давлению  $P_0 = 100$  кПа. Площадь поперечного сечения шприца составляет  $S = 2.7$  см<sup>2</sup>. Удерживая корпуса шприцов неподвижными, на поршень шприца №1 начинают давить так, чтобы он начал очень медленно перемещаться с постоянной скоростью. На поршень шприца №2 при этом никакие дополнительные воздействия не оказываются. В момент времени, когда объём воздуха в шприце №1 составлял  $V_1 = 7$  мл, объём воздуха в шприце №2 составлял  $V_2 = 11$  мл.



#### Условие:

Как изменялось положение поршня шприца №2 с момента начала движения поршня №1?

#### Варианты ответов:

- Всё время двигался с постоянной скоростью
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с переменной скоростью
- Сразу пришёл в движение, скорость менялась в процессе движения
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с постоянной скоростью

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Чему равнялось давление внутри шприцов в указанный момент времени? Ответ выразите в килопаскалях, округлите до сотых.

Ответ: принимается в интервале от 111.8 до 111.14

Точное совпадение ответа — 3 балла

**Условие:**

Чему равняется сила трения, действующая на поршни шприцев? Ответ выразите в ньютонах, округлите до сотых.

**Ответ:** принимается в интервале от 2.98 до 3.02

**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение по аналогии с заданием № 2.1.*

## Задание № 2.4

### Общее условие:

Наконечники двух одинаковых шприцов соединили с помощью короткой резиновой трубки. Первоначально объём воздуха в каждом из шприцов составлял  $V = 8$  мл, давление внутри системы равнялось атмосферному давлению  $P_0 = 100$  кПа. Площадь поперечного сечения шприца составляет  $S = 3$  см<sup>2</sup>. Удерживая корпуса шприцов неподвижными, на поршень шприца №1 начинают давить так, чтобы он начал очень медленно перемещаться с постоянной скоростью. На поршень шприца №2 при этом никакие дополнительные воздействия не оказываются. В момент времени, когда объём воздуха в шприце №1 составлял  $V_1 = 5$  мл, объём воздуха в шприце №2 составлял  $V_2 = 10.5$  мл.



### Условие:

Как изменялось положение поршня шприца №2 с момента начала движения поршня №1?

### Варианты ответов:

- Всё время двигался с постоянной скоростью
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с переменной скоростью
- Сразу пришёл в движение, скорость менялась в процессе движения
- Некоторое время оставался неподвижным, затем начал двигаться с постоянной скоростью

Точное совпадение ответа — 2 балла

### Условие:

Чему равнялось давление внутри шприцов в указанный момент времени? Ответ выразите в килопаскалях, округлите до сотых.

Ответ: принимается в интервале от 103.2 до 103.26

Точное совпадение ответа — 3 балла

**Условие:**

Чему равняется сила трения, действующая на поршни шприцев? Ответ выразите в ньютонах, округлите до сотых.

**Ответ:** принимается в интервале от 0.95 до 0.99

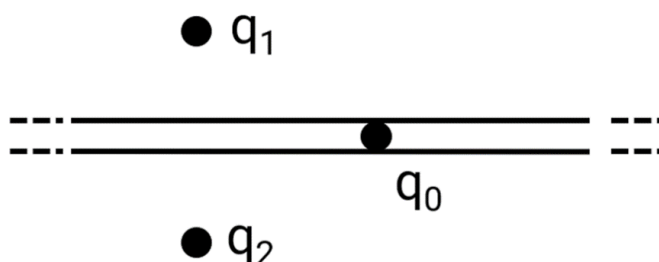
**Точное совпадение ответа — 5 баллов**

*Решение по аналогии с заданием № 2.1.*

### Задание № 3.1

#### Общее условие:

На горизонтальной плоскости закреплена очень длинная непроводящая трубка из неполяризующегося материала. Внутри трубки может перемещаться без трения небольшой шарик массы  $m = 20$  г с зарядом  $q_0 = +2$  мкКл. Два других шарика с зарядами  $q_1 = +2$  мкКл и  $q_2 = +6$  мкКл закреплены симметрично относительно трубки. Трубка и заряды  $q_1$  и  $q_2$  расположены в одной горизонтальной плоскости. В начальный момент времени все три заряда находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $l = 20$  см. Шарик внутри трубки отпускают без начальной скорости.



#### Условие:

В каком направлении согласно рисунку начинает двигаться шарик внутри трубки?

#### Варианты ответов:

- Вправо
- Влево
- Остаётся на месте

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Чему равняется ускорение шарика внутри трубки в начальный момент времени? Ответ выразите в  $\text{м/с}^2$ , округлите до десятых.

Ответ: принимается в интервале от 155.7 до 156.1

Точное совпадение ответа — 3 балла

#### Условие:

До какой максимальной скорости разгонится шарик? Ответ выразите в  $\text{м/с}$ , округлите до десятых.

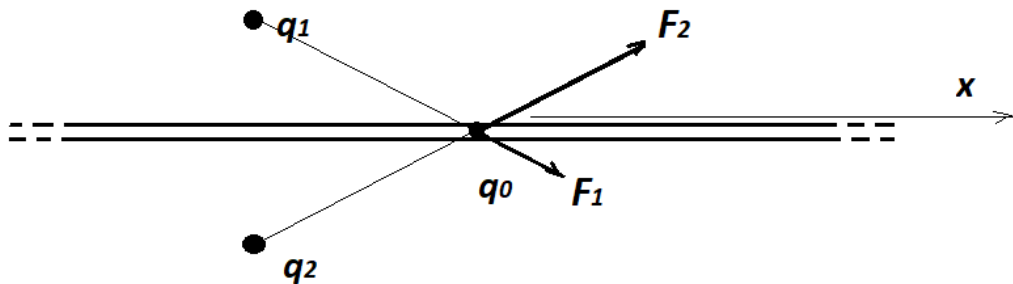
Ответ: принимается в интервале от 8.4 до 8.6

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение.

**Вопрос 1.** Направление движения заряда  $q_0$  после его освобождения определяется знаком проекции  $F_x$  результирующей силы, действующей на этот заряд со стороны зарядов  $q_1$  и  $q_2$ .

При этом  $F_x = F_{1x} + F_{2x} = \frac{kq_0(q_1 + q_2)\cos 30^\circ}{l^2}$ . Здесь  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ ,  $q_0, q_1$  и  $q_2$  подставляются в формулу в соответствии со знаками зарядов в условии задачи. В зависимости от знака зарядов шарик в трубке может двигаться как вправо, так и влево.



**Вопрос 2.** Шарик может перемещаться только вдоль трубки. Действие на него сил в направлении, перпендикулярном трубке скомпенсировано. В соответствии со вторым законом Ньютона

$$ma_x = \frac{kq_0(q_1 + q_2)\cos 30^\circ}{l^2}$$

Отсюда

$$a_x = \frac{kq_0(q_1 + q_2)\cos 30^\circ}{ml^2}$$

**Вопрос 3.** При движении шарика вправо максимальная скорость достигается при удалении заряда  $q_0$  от зарядов  $q_1$  и  $q_2$ . Закон сохранения энергии в этом случае выглядит так:

$$\frac{kq_0q_1}{l} + \frac{kq_0q_2}{l} = \frac{mv^2}{2}$$

Отсюда

$$v = \sqrt{\frac{2kq_0(q_1 + q_2)}{ml}}$$

Подчеркнем, что значения зарядов в этих формулах используются с учетом знаков заряда (не модули!), то есть могут быть как положительными так и отрицательными.

При движении шарика влево максимальная скорость достигается в точке посередине между зарядами  $q_1$  и  $q_2$ . В этом случае закон сохранения энергии выглядит следующим образом:

$$\frac{kq_0q_1}{l} + \frac{kq_0q_2}{l} = \frac{2kq_0q_1}{l} + \frac{2kq_0q_2}{l} + \frac{mv^2}{2}$$

$$v = \sqrt{-\frac{2kq_0(q_1 + q_2)}{ml}}$$

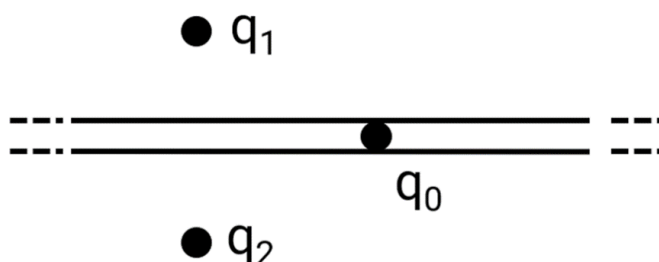
В этом случае произведение зарядов под корнем отрицательно, поэтому все выражение под корнем положительно.



### Задание № 3.2

#### Общее условие:

На горизонтальной плоскости закреплена очень длинная непроводящая трубка из неполяризующегося материала. Внутри трубки может перемещаться без трения небольшой шарик массы  $m = 10$  г с зарядом  $q_0 = +1$  мкКл. Два других шарика с зарядами  $q_1 = +3$  мкКл и  $q_2 = -1$  мкКл закреплены симметрично относительно трубки. Трубка и заряды  $q_1$  и  $q_2$  расположены в одной горизонтальной плоскости. В начальный момент времени все три заряда находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $l = 10$  см. Шарик внутри трубки отпускают без начальной скорости.



#### Условие:

В каком направлении согласно рисунку начинает двигаться шарик внутри трубки?

#### Варианты ответов:

- Вправо
- Влево
- Остаётся на месте

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Чему равняется ускорение шарика внутри трубки в начальный момент времени? Ответ выразите в  $\text{м/с}^2$ , округлите до десятых.

Ответ: принимается в интервале от 155.7 до 156.1

Точное совпадение ответа — 3 балла

#### Условие:

До какой максимальной скорости разгонится шарик? Ответ выразите в  $\text{м/с}$ , округлите до десятых.

Ответ: принимается в интервале от 5.9 до 6.1

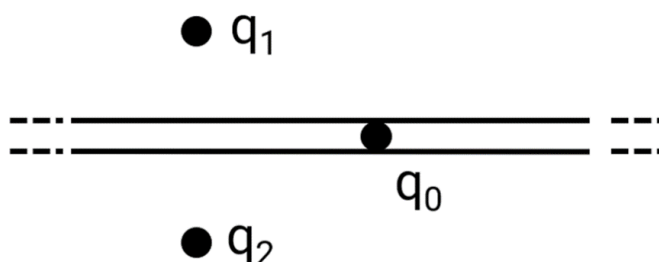
Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение по аналогии с заданием № 3.1.

### Задание № 3.3

#### Общее условие:

На горизонтальной плоскости закреплена очень длинная непроводящая трубка из неполяризующегося материала. Внутри трубки может перемещаться без трения небольшой шарик массы  $m = 10$  г с зарядом  $q_0 = +3$  мкКл. Два других шарика с зарядами  $q_1 = -5$  мкКл и  $q_2 = -3$  мкКл закреплены симметрично относительно трубки. Трубка и заряды  $q_1$  и  $q_2$  расположены в одной горизонтальной плоскости. В начальный момент времени все три заряда находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $l = 20$  см. Шарик внутри трубки отпускают без начальной скорости.



#### Условие:

В каком направлении согласно рисунку начинает двигаться шарик внутри трубки?

#### Варианты ответов:

- Вправо
- Влево
- Остаётся на месте

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Чему равняется ускорение шарика внутри трубки в начальный момент времени? Ответ выразите в  $\text{м/с}^2$ , округлите до десятых.

Ответ: принимается в интервале от 467.5 до 467.9

Точное совпадение ответа — 3 балла

#### Условие:

До какой максимальной скорости разгонится шарик? Ответ выразите в  $\text{м/с}$ , округлите до десятых.

Ответ: принимается в интервале от 14.6 до 14.8

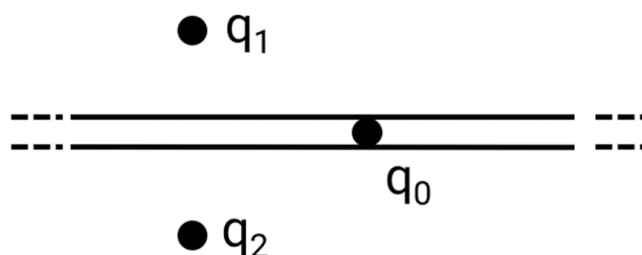
Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение по аналогии с заданием № 3.1.

### Задание № 3.4

#### Общее условие:

На горизонтальной плоскости закреплена очень длинная непроводящая трубка из неполяризующегося материала. Внутри трубки может перемещаться без трения небольшой шарик массы  $m = 5$  г с зарядом  $q_0 = -2$  мкКл. Два других шарика с зарядами  $q_1 = +5$  мкКл и  $q_2 = -3$  мкКл закреплены симметрично относительно трубки. Трубка и заряды  $q_1$  и  $q_2$  расположены в одной горизонтальной плоскости. В начальный момент времени все три заряда находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $l = 30$  см. Шарик внутри трубки отпускают без начальной скорости.



#### Условие:

В каком направлении согласно рисунку начинает двигаться шарик внутри трубки?

#### Варианты ответов:

- Вправо
- Влево
- Остаётся на месте

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Чему равняется ускорение шарика внутри трубки в начальный момент времени? Ответ выразите в  $\text{м/с}^2$ , округлите до десятых.

Ответ: принимается в интервале от 69.1 до 69.5

Точное совпадение ответа — 3 балла

#### Условие:

До какой максимальной скорости разгонится шарик? Ответ выразите в  $\text{м/с}$ , округлите до десятых.

Ответ: принимается в интервале от 6.8 до 7

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение по аналогии с заданием № 3.1.