

Вариант 1

Задание 1. (4 балла) Для электрической цепи, представленной на рис. 1 определить показания амперметра (считать идеальным) при замкнутом и разомкнутом ключе, если $E=240 \text{ В}$, $R=30 \text{ Ом}$. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

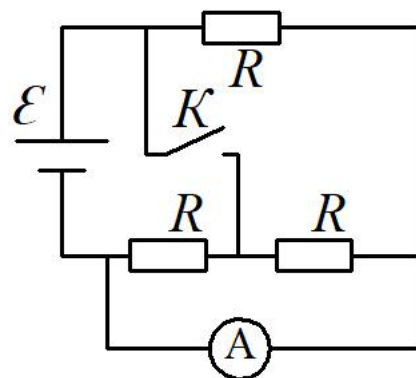
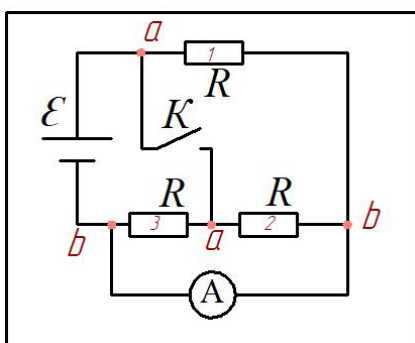


Рис. 1

Решение:



- 1) **При разомкнутом ключе:** ток пойдет через 1-ый резистор и амперметр, тогда показания амперметра: $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{240}{30} = 8 \text{ А}$
- 2) **При замкнутом ключе:** элементы будут подключены параллельно, тогда $R_{\text{экв}} = \frac{R}{3} = 10 \text{ Ом}$, ток источника: $I_0 = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{240}{10} = 24 \text{ А}$, ток проходящий через каждый резистор $I_1 = I_2 = I_3 = \frac{24}{3} = 8 \text{ А}$, амперметр покажет $I_2 + I_3 = 16 \text{ А}$.
- 3) **Ответ: при разомкнутом ключе $I = 8 \text{ А}$, при замкнутом ключе $I = 16 \text{ А}$,**

Критерии оценивания:

Верно определены показания амперметра при разомкнутом ключе	1
Верно определен способ подключения элементов при замкнутом ключе	2
Верно рассчитан ток источника в положении ключ замкнут	3
Определены показания амперметра в положении ключ замкнут	4

Вариант 2

Задание 1. (4 балла) Для электрической цепи, представленной на рис. 1 определить показания приборов (считать идеальными) при замкнутом и разомкнутом ключе, если $E_1 = 100 \text{ В}$, $E_2 = 40 \text{ В}$, $R = 10 \text{ Ом}$. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

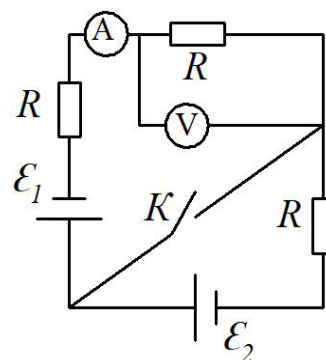


Рис. 2

Решение:

- 1) **При разомкнутом ключе:** $I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{3R} = \frac{60}{30} = 2 \text{ А}$ – показания амперметра, вольтметра: $V = RI = 10 \cdot 2 = 20 \text{ В}$
- 2) **При замкнутом ключе:**

$$3) I = \frac{\varepsilon_1}{2R} = \frac{100}{20} = 5 \text{ А} - \text{показания амперметра, вольтметра: } V = RI = 10 \cdot 5 = 50 \text{ В}$$

Критерии оценивания:

Верно определена результирующая ЭДС при разомкнутом ключе	1
Верно определены показания амперметра при разомкнутом ключе	2
Верно определены показания вольтметра при разомкнутом ключе	3
Определены показания амперметра и вольтметра в положении ключ замкнут	4

Вариант 1

Задание 2. (8 баллов) Для электрической цепи, представленной на рис. 2 определить показания приборов (считать идеальными), если $E=30 \text{ В}$, $R=30 \text{ Ом}$. Внутренним сопротивлением источника пренебречь. Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента представлена справа от электрической схемы на рис. 2.

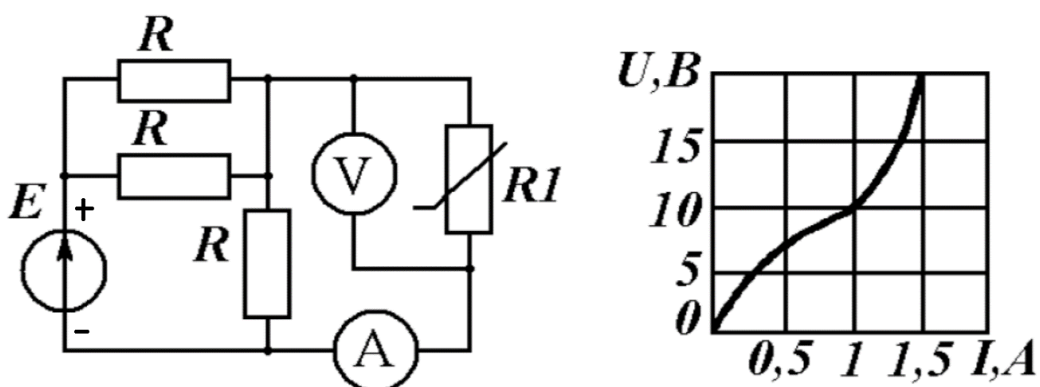
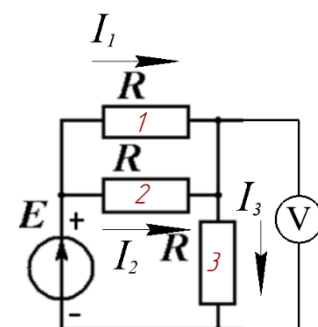


Рис. 3

Решение:

1) Для определения показания приборов необходимо построить на графике нагрузочную прямую по двум точкам.

1-я точка холостого хода, определяется значением показания вольтметра для схемы (рис.), которое будет равняться напряжению холостого хода $U_{xx} = RI_3 = R \frac{E}{\frac{3}{2}R} = 10 \cdot \frac{30}{15} = 20 \text{ В}$



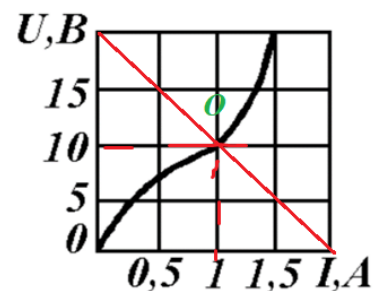
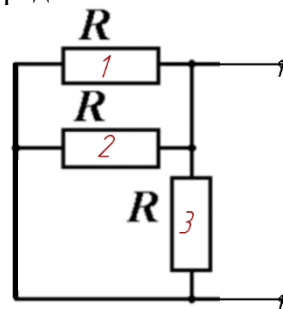
2) 2-я точка короткого замыкания определяется током $I_{кз} = \frac{U_{хх}}{R_{экв}}$

Эквивалентное сопротивление определяется из схемы

(рис.):

$$R_{экв} = \frac{R}{3} = 10 \text{ Ом}, \quad I_{кз} = \frac{U_{хх}}{R_{экв}} = \frac{20}{10} = 2 \text{ А}$$

3) Нагрузочная прямая пересекает график в точке О (рис), показания амперметра: 1 А, вольтметра 10 В



Ответ: показания амперметра 1 А, вольтметра 10 В.

Вариант 2.

Задание 2. (8 баллов) Для электрической цепи, представленной на рис. 2 определить показания приборов (считать идеальными), если $E=200 \text{ В}$, $R_1=20 \text{ Ом}$, $R_2=5 \text{ Ом}$ Внутренним сопротивлением источника пренебречь. Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента представлена справа от электрической схемы на рис. 2.

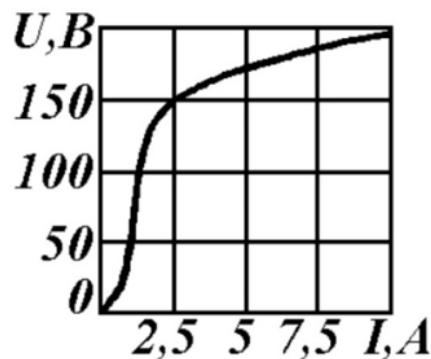
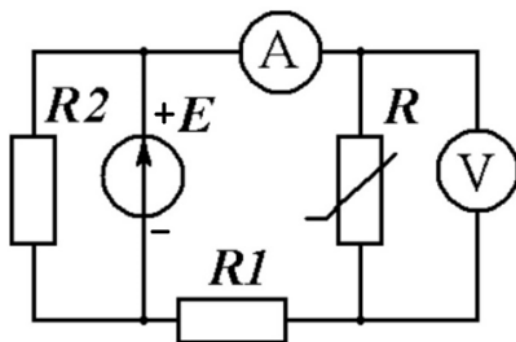
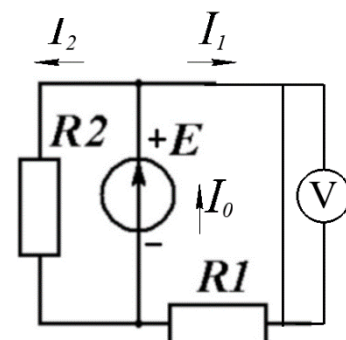


Рис. 2

Решение:

1) Для определения показания приборов необходимо построить на графике нагрузочную прямую по двум точкам.

1-я точка холостого хода, определяется значением показания вольтметра для схемы (рис.), которое будет равняться напряжению холостого хода $U_{хх} = E = 200 \text{ В}$



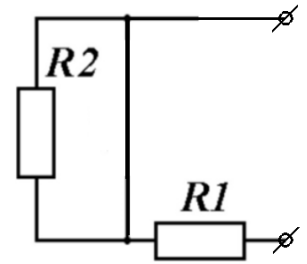
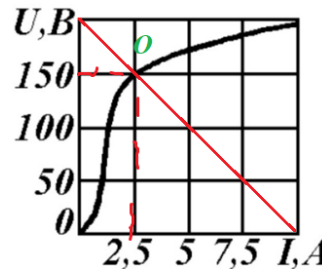
2) 2-я точка короткого замыкания определяется током $I_{кз} = \frac{U_{xx}}{R_{эқв}}$

Эквивалентное сопротивление определяется из схемы

(рис.):

$$R_{эқв} = R_1 = 20 \text{ Ом}, \quad I_{кз} = \frac{U_{xx}}{R_{эқв}} = \frac{200}{20} = 10 \text{ А}$$

3) Нагрузочная прямая пересекает график в точке О (рис), показания амперметра: 2,5 А, вольтметра 150 В



Ответ: показания амперметра 2,5 А, вольтметра 150 В.

Критерии оценивания:

Верно определено напряжение холостого хода	3
Верно определен ток короткого замыкания	6
Верно определены показания вольтметра	7
Верно определены показания амперметра	8

Задание 3.

Вариант 1.

Металлический шарик радиусом $R = 1$ мм, закреплённый неподвижно, длительное время облучается светом с длиной волны $\lambda = 450$ нм. К нему по радиальному направлению приближается положительно заряженное точечное тело массы $m = 5 \cdot 10^{-7}$ кг с зарядом $q = 10^{-8}$ Кл. Скорость тела на расстоянии $L_0 = 0,2$ м от центра шара равна $V_0 = 0,15$ м/с. Минимальное расстояние от тела до центра шарика равно $L_{\text{MIN}} = 2$ мм. Найдите работу выхода металла, из которого сделан шарик. Ответ приведите в электрон-вольтах, округлив до сотых. Принять $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ Ф/м, $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Излучением пренебречь.

Задание 3.

Вариант 2) Металлический шарик радиусом $R = 1$ мм, закреплённый неподвижно,

длительное время облучается светом с длиной волны $\lambda = 450$ нм. К нему по радиальному направлению приближается положительно заряженное точечное тело массы $m = 5 \cdot 10^{-7}$ кг с зарядом $q = 10^{-8}$ Кл. Скорость тела на расстоянии $L_0 = 0,1$ м от центра шара равна $V_0 = 0,20$ м/с. Минимальное расстояние от тела до центра шарика равно $L_{\text{MIN}} = 1,5$ мм. Найдите работу выхода металла, из которого сделан шарик. Принять $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ Ф/м, $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Излучением пренебречь. Ответ приведите в электрон-вольтах, округлив до сотых.

Решение:

$$\text{Закон сохранения энергии } \frac{mV_0^2}{2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{L_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{L_{\text{MIN}}}, \quad Q = \frac{4\pi\epsilon_0}{\left(\frac{1}{L_{\text{MIN}}} - \frac{1}{L_0}\right)} \frac{mV_0^2}{2q}$$

Максимальный потенциал шарика $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R}$. Из уравнения Эйнштейна

$$\frac{hc}{\lambda} = A_B + e \cdot \varphi, \text{ откуда } \frac{hc}{\lambda} = A_B + e \cdot \varphi \text{ и } A_B = \frac{hc}{\lambda} - e \cdot \varphi.$$

вар	m , кг	V_0 , м/с	L_0 , м	L_{\min} , мм	λ , нм	R , м	q , Кл	Q , Кл	φ , В	A , Дж	A , эВ
1	$5 \cdot 10^{-7}$	0.15	0,2	2	450	1	10^{-8}	$1.26 \cdot 10^{-13}$	1.14	$2.60 \cdot 10^{-19}$	1.63
2	$5 \cdot 10^{-7}$	0.20	0,1	1,5	450	1	10^{-8}	$1.69 \cdot 10^{-13}$	1.52	$1.98 \cdot 10^{-19}$	1.24

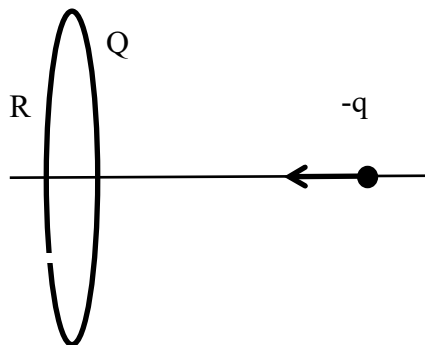
Критерии оценивания:

Записаны закон сохранения энергии и уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.	3
Записано выражение для потенциала шарика и его связь с уравнением Эйнштейна.	5
Приведено решение с необходимыми пояснениями, но при решении допущены ошибки, приводящие к неправильному ответу	8
Приведено правильное решение с необходимыми пояснениями.	10

Задание 4.

Вариант 1

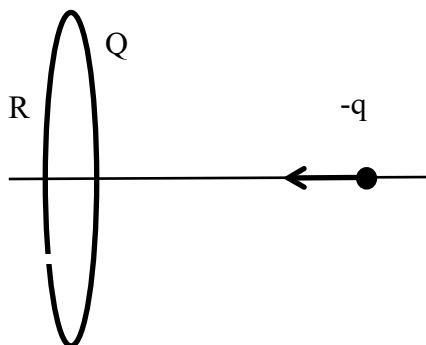
У тонкого кольца из диэлектрика удалили малую часть, длина которой равна $1/71$ длины всей окружности кольца. Затем оставшуюся часть зарядили положительным зарядом $Q = 2.0 \cdot 10^{-5}$ Кл. Через центр кольца, перпендикулярно к его плоскости, проходит тонкий диэлектрический стержень. По этому стержню может скользить тонкое колечко $m = 1$ г, заряженное отрицательным зарядом $q = -4.0 \cdot 10^{-7}$ Кл. Какая скорость будет у колечка в центре кольца, если на расстоянии $L_0 = 0.5$ м величина её скорости равна $V_0 = 10$ м/с. Трения нет. Излучением пренебречь. Заряд колечка постоянный. Кольцо и стержень неподвижные. Принять $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ Ф/м. Ответ указать в м/с, округлив до десятых.



Задание 4.

Вариант 2 У тонкого кольца из диэлектрика удалили малую часть, длина которой равна $1/69$ длины всей окружности кольца. Затем оставшуюся часть зарядили положительным зарядом $Q = 2.0 \cdot 10^{-5}$ Кл. Через центр кольца, перпендикулярно к его плоскости, проходит тонкий диэлектрический стержень. По этому стержню может скользить тонкое колечко массы $m = 2$ г, заряженное отрицательным зарядом $q = -3.0 \cdot 10^{-7}$ Кл. Какая скорость будет у колечка в центре кольца, если на расстоянии $L_0 = 0.4$ м величина её скорости равна $V_0 = 10$ м/с. Трения нет. Излучением пренебречь. Заряд

колечка постоянный. Кольцо и стержень неподвижные. Принять $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ Ф/м. Ответ указать в м/с, округлив до десятых.



Решение:

Вырезанную часть можно представить так, как будто на этот кусок целого кольца наложили кусок с зарядом противоположного знака. У целого кольца заряд $\frac{N+1}{N}Q$, потенциал на оси целого кольца $\varphi_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{N+1}{N} \frac{Q}{\sqrt{R^2+L^2}}$. Заряд куска противоположного знака $-\frac{1}{N}Q$, его потенциал на оси кольца $\varphi_- = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{N} \frac{Q}{\sqrt{R^2+L^2}}$.

Суммарный потенциал на оси $\varphi = \varphi_+ + \varphi_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\sqrt{R^2+L^2}}$

Закон сохранения энергии $\frac{mV_0^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|Q}{\sqrt{R^2+L_0^2}} = \frac{mV^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|Q}{R}$, откуда

$$V = \sqrt{V_0^2 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2|q|Q}{mR} \left(1 - \frac{R}{\sqrt{R^2+L_0^2}}\right)}$$

вар	m , кг	R , м	L_0 , м	q , Кл	Q , Кл	V_0 , м/с	V , м/с
1	0.001	0.2	0.5	$-4.0 \cdot 10^{-7}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	10	28.6
2	0.002	0.2	0.4	$-3.0 \cdot 10^{-7}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	10	19.2

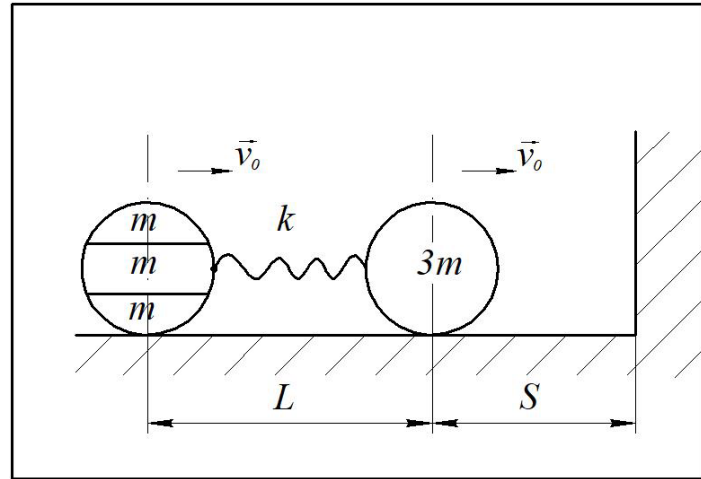
Критерии оценивания

Записаны закон сохранения энергии.	3
Записано выражение для потенциала кольца с вырезом.	6
Приведено решение с необходимыми пояснениями, но при решении допущены ошибки, приводящие к неправильному ответу	9
Приведено правильное решение с необходимыми пояснениями.	12

Задание 5.

Вариант 1

Два шарика с одинаковой массой $3m$ соединены невесомой пружиной жёсткостью k и длиной L и лежат на гладком горизонтальном столе. Шарикам одновременно сообщают скорость v_0 , направленную вправо (см. рисунок). На расстоянии S от правого шарика расположена вертикальная стенка. Происходит абсолютно упругое соударение. При каких скоростях v_0 система все время движется, как единое целое, если левый шарик разрезан на три части одинаковой массы, коэффициент трения между этими частями μ ?



Решение:

Найдем период и частоту колебаний системы:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{3m}{2k}} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{2k}{3m}}$$

Запишем ЗСЭ:

$$\frac{3mv_0^2}{2} = \frac{2kA^2}{2} \Rightarrow A = \sqrt{\frac{3m}{2k}}v_0$$

Выразим ускорение:

$$a_{\max} = A\omega^2 = \sqrt{\frac{3m}{2k}}v_0 \frac{2k}{3m} = v_0\sqrt{\frac{2k}{3m}}$$

Условие проскальзывания:

$$\begin{cases} ma_{\max} \leq \mu mg \\ ma_{\max} \leq 2\mu mg \end{cases} \Rightarrow v_0\sqrt{\frac{2k}{3m}} \leq \mu g \Rightarrow v_0 \leq \mu g\sqrt{\frac{3m}{2k}}$$

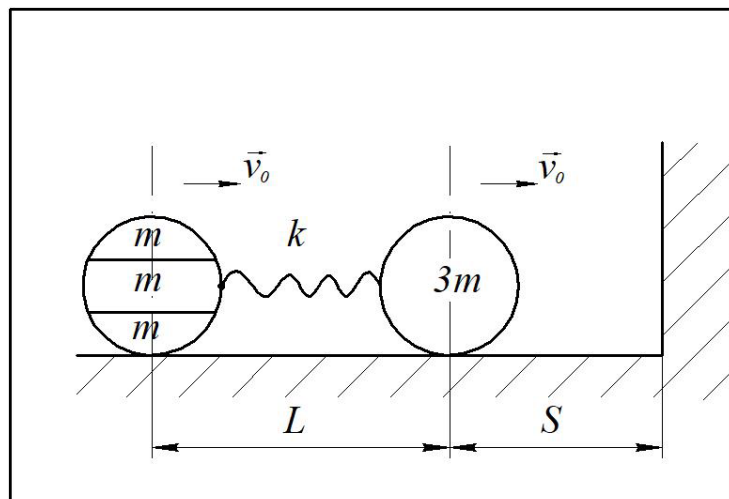
Критерии оценивания

Найден верно период колебаний с учётом ЦМ.	4
Описан АУУ, найден момент проскальзывания.	8
Приведено верное решение с незначительными ошибками в вычислительной части.	12
Полностью верное решение.	16

Задание 5.

Вариант 2

Два шарика с одинаковой массой $3m$ соединены невесомой пружиной жёсткостью k и лежат на гладком горизонтальном столе. Левый шарик разрезан на три части одинаковой массы. Шарикам одновременно сообщают скорость v_0 , направленную вправо (см. рисунок). На расстоянии S от правого шарика расположена вертикальная стенка. Происходит абсолютно упругое соударение. При каком минимальном коэффициенте трения μ между разрезанными частями система все время движется, как единое целое?



Решение:

Найдем период и частоту колебаний системы:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{3m}{2k}} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{2k}{3m}}$$

Запишем ЗСЭ:

$$\frac{3mv_0^2}{2} = \frac{2kA^2}{2} \Rightarrow A = \sqrt{\frac{3m}{2k}}v_0$$

Выразим ускорение:

$$a_{\max} = A\omega^2 = \sqrt{\frac{3m}{2k}}v_0 \frac{2k}{3m} = v_0\sqrt{\frac{2k}{3m}}$$

Условие проскальзывания:

$$\begin{cases} ma_{\max} \leq \mu mg \\ ma_{\max} \leq 2\mu mg \end{cases} \Rightarrow v_0\sqrt{\frac{2k}{3m}} \leq \mu g \Rightarrow \mu \geq \frac{v_0}{g}\sqrt{\frac{2k}{3m}} \Rightarrow$$

$$\mu_{\min} = \frac{v_0}{g}\sqrt{\frac{2k}{3m}}$$

Критерии оценивания

Найден верно период колебаний с учётом ЦМ.	4
Описан АУУ, найден момент проскальзывания.	8
Приведено верное решение с незначительными ошибками в вычислительной части.	12
Полностью верное решение.	16