

### 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.

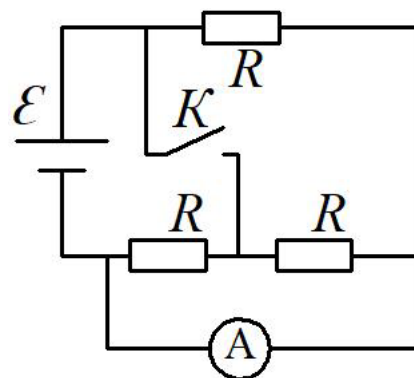
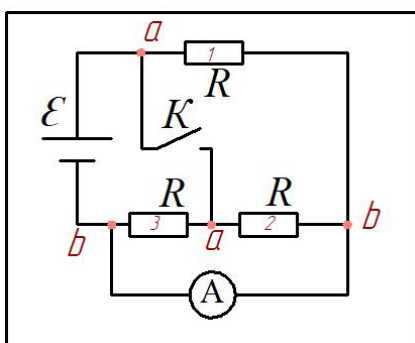


Рис. 1

**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.

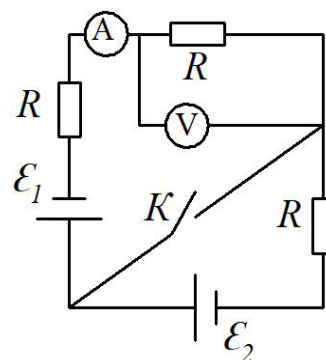


Рис. 2

**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.

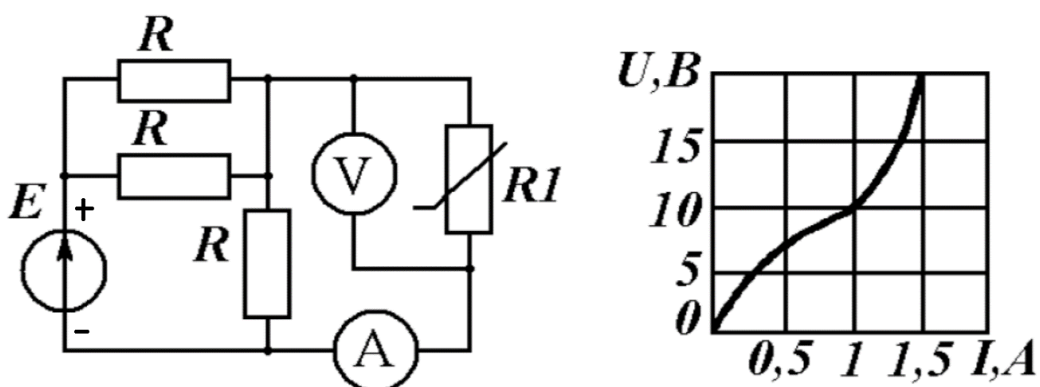
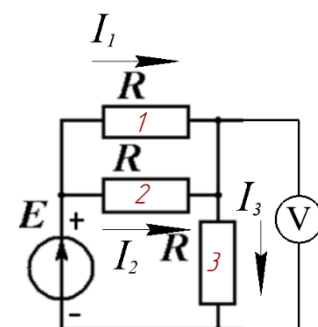


Рис. 3

### 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  $U_{xx} = RI_3 = R \frac{E}{\frac{3}{2}R} = 10 \cdot \frac{30}{15} = 20 \text{ В}$



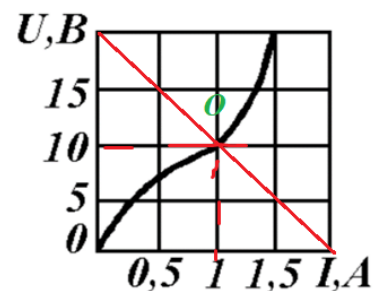
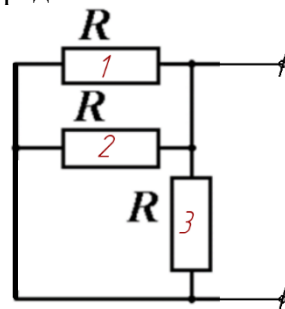
2) 2-я точка короткого замыкания определяется током  $I_{кз} = \frac{U_{xx}}{R_{эқв}}$

Эквивалентное сопротивление определяется из схемы

(рис.):

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

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.

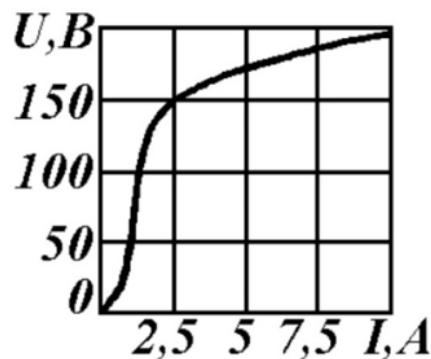
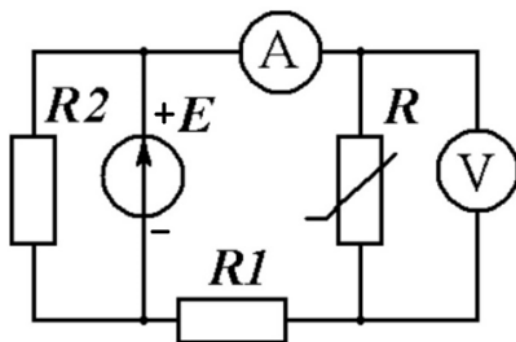
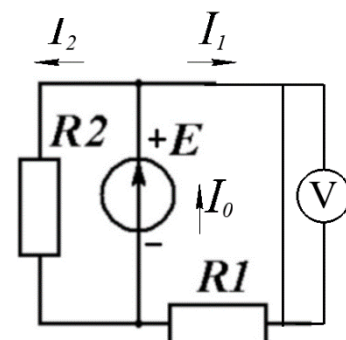


Рис. 2

**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  $U_{xx} = E = 200 \text{ В}$



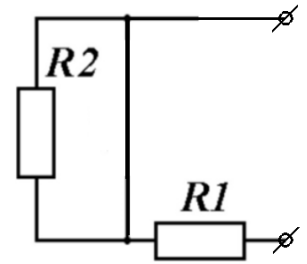
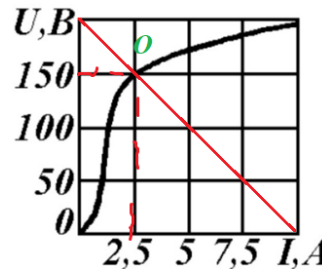
2) 2-я точка короткого замыкания определяется током  $I_{кз} = \frac{U_{xx}}{R_{эқв}}$

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	$\lambda$ , нм	$R$ , м	$q$ , Кл	$Q$ , Кл	$\varphi$ , 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

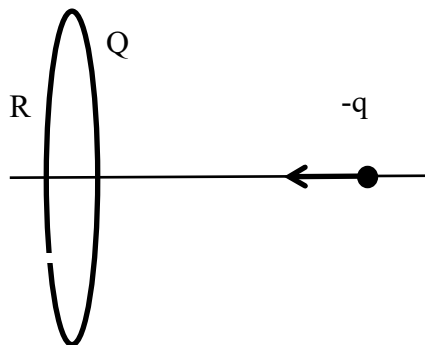
Критерии оценивания:

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

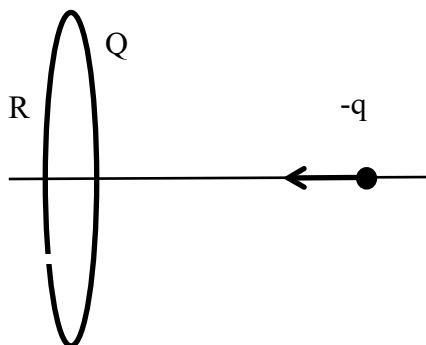
У тонкого кольца из диэлектрика удалили малую часть, длина которой равна  $1/71$  длины всей окружности кольца. Затем оставшуюся часть зарядили положительным зарядом  $Q = 2.0 \cdot 10^{-5}$  Кл. Через центр кольца, перпендикулярно к его плоскости, проходит тонкий диэлектрический стержень. По этому стержню 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

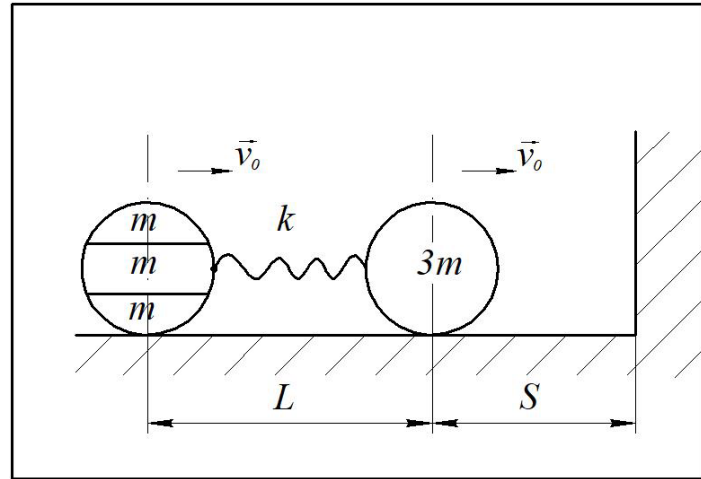
**Критерии оценивания**

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  $\mu$ ?



**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:

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

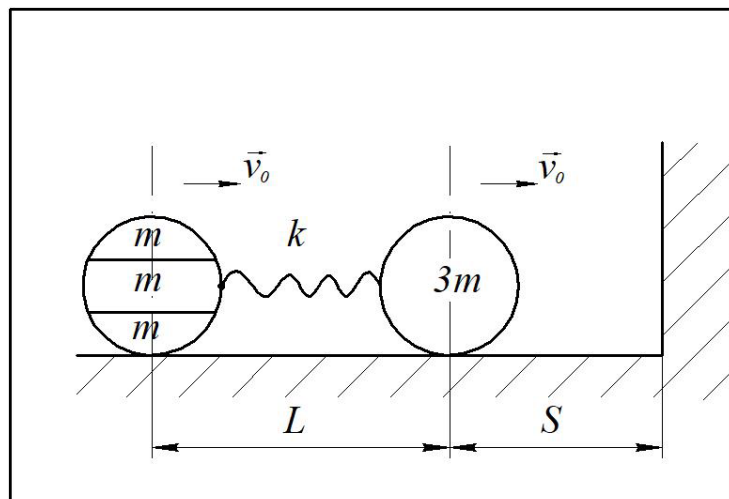
**Критерии оценивания**

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  $\mu$  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