«ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2023 года

БИЛЕТ № 05 (10 классы)

Критерии оценивания:

Для вопросов:

Есть отдельные правильные соображения – **1 балл.**

Ответ в целом правилен, но содержит существенные неточности, или существенно неполон, или отсутствует обоснование (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **2 балла.**

Ответ правилен, но присутствуют мелкие неточности, или ответ недостаточно полон, или отсутствует достаточное обоснование (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **3 балла.**

Ответ полностью правильный, но недостаточно обоснованный (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **4 балла.**

Правильный, полный и обоснованный ответ – **5 баллов (максимальная оценка).**

Для задач:

Есть отдельные правильные соображения – **1-2 балла.**

Есть часть необходимых для решения соображений, решение не закончено или содержит серьезные ошибки – **3-4 балла.**

Присутствует большая часть необходимых для решения соображений, правильно записана часть необходимых соотношений, решение не закончено или содержит ошибки – **5-7 баллов.**

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны почти все необходимые для решения исходные уравнения, но решение не закончено или содержит ошибки – **8-10 баллов.**

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны все необходимые для решения исходные уравнения, решение выстроено правильно с физической и логической точки зрения, но содержит ошибки – **11-14 баллов.**

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны все необходимые для решения исходные уравнения, решение выстроено правильно с физической и логической точки зрения, но содержит одну-две мелкие неточности, не позволившие получить правильный ответ, или правильное решение с недостаточным обоснованием существенных использованных результатов – **15-17 баллов.**

Правильное обоснованное решение с верным аналитическим ответом, но мелкой неточностью при получении численного ответа, либо правильное решение с правильными ответами с недостаточным обоснованием одного из использованных результатов (из числа не ключевых для решения, но необходимых) – **18-19 баллов.**

Полное, правильное, обоснованное решение с правильными ответами – **20 баллов (максимальная оценка).**

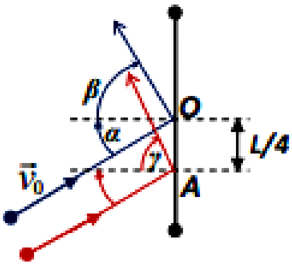
Максимальная оценка за работу: 100 баллов.

УСЛОВИЯ, ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧИСЛЯЕМЫХ БАЛЛОВ ДЛЯ ЗАДАЧ:

Задание 1:

Вопрос: Гантель из двух маленьких шайб, соединенных прямым жестким стержнем длины L скользит по ровной поверхности. В некоторый момент времени шайбы движутся перпендикулярно стержню в одну сторону со скоростями v и $2v$. С какой угловой скоростью вращается стержень гантели в этот момент времени? Ответ объяснить.

Задача: Гантель из двух одинаковых массивных маленьких шайб, соединенных легким прямым гладким жестким стержнем, покоилась на гладкой горизонтальной поверхности. Еще одна маленькая однородная цилиндрическая шайба скользила по этой поверхности со скоростью v_0 и нанесла упругий удар по стержню гантели в его середине – точке O. Угол падения (между $\vec{v}_0$ и нормалью к стержню в точке удара) был равен $\alpha = 30°$, а угол отражения (см. рисунок) $\beta = 60°$. После этого гантель вернули на место, и ту же шайбу запустили еще раз – с той же скоростью $\vec{v}_0$, но, так, что теперь удар пришелся в точку A, находящуюся на расстоянии $x = \dfrac{L}{4}$ от центра стержня. Найдите величину угла отражения шайбы γ при этом ударе.



Ответ на вопрос: Ясно, что если скорость мгновенного центра вращения гантели равна V, то она направлена в ту же сторону, что и скорости шайб, причем $V_1 = V - \omega \dfrac{L}{2}$ и $V_2 = V + \omega \dfrac{L}{2}$. Значит, $V_2 - V_1 = \omega L$, то есть $\omega = \dfrac{2v - v}{L} = \dfrac{v}{L}$.

Решение задачи: Первый удар является центральным, и гантель не начнет вращаться. Действительно, из ответа на вопрос следует, что скорости шайб сразу после удара будут одинаковы, что также соответствует поступательному движению. Пусть v – величина скорости налетавшей шайбы после удара, а V – скорости каждой из шайб (и, соответственно скорость центра масс гантели). Закон сохранения импульса в проекции на оси x (перпендикулярно стержню) и y (вдоль стержня) имеют вид (m – масса налетающей шайбы, и M – масса каждой из шайб модели):

$$\begin{cases} mv_0 \cos\alpha = 2MV - mv\cos\beta \\ mv_0 \sin\alpha = mv\sin\beta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v = \dfrac{v_0}{\sqrt{3}} \\ V = \dfrac{m}{M}\dfrac{v_0}{\sqrt{3}} \end{cases}.$$

Здесь использовано знание углов падения и отражения: $\sin\alpha = \cos\beta = \dfrac{1}{2}$, $\cos\alpha = \sin\beta = \dfrac{\sqrt{3}}{2}$. С учетом закона сохранения энергии $\dfrac{mv_0^2}{2} = \dfrac{mv^2}{2} + \dfrac{2MV^2}{2}$ находим, что $M = m$.

Второй удар – нецентральный, и угловая скорость вращения гантели после удара отлична от нуля. Обозначим ее ω. Если теперь V – скорость центра масс гантели после удара, то скорости шайб сразу поле удара $V_1 = V - \omega \dfrac{L}{2}$ и $V_2 = V + \omega \dfrac{L}{2}$. Пусть теперь $\vec{F}$ – сила, действующая на стержень во время удара (со стороны налетающей шайбы). Она приложена к точке на расстоянии x от центра стержня и перпендикулярна ему. Так как стержень невесом, то в любой момент времени сумма приложенных к нему сил и моментов сил равна нулю. Тогда для проекций сил $\vec{F}_{1,2}$, действующих во время удара на стержень со стороны шайб, должны выполняться равенства:

$$\begin{cases} F_1 + F_2 = F \\ F_2(L/2) - F_1(L/2) = Fx \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 = (0{,}5 - x/L)F \\ F_2 = (0{,}5 + x/L)F \end{cases}.$$

Импульсы, приобретенные шайбами за время удара, пропорциональны «парным» силам $\vec{F}'_{1,2}$. Поэтому $\dfrac{V_2}{V_1} = \dfrac{L + 2x}{L - 2x}$. Таким образом, $\dfrac{2V + \omega L}{2V - \omega L} = \dfrac{L + 2x}{L - 2x} \Rightarrow \omega L = \dfrac{4x}{L} V \equiv 2\varepsilon V$ (введено обозначение $\varepsilon \equiv \dfrac{2x}{L} \le 1$). Новая запись закона сохранения импульса позволяет выяснить, что

$$\begin{Bmatrix} mv_0\cos\alpha = 2mV - mv\cos\gamma \\ mv_0\sin\alpha = mv\sin\gamma \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{Bmatrix} v\sin\gamma = v_0\sin\alpha \\ v\cos\gamma = 2V - v_0\cos\alpha \end{Bmatrix} \Rightarrow v^2 = v_0^2 - 4v_0\cos\alpha\cdot V + 4V^2.$$

Подставляя это выражение в закон сохранения энергии, записанный с учетом энергии вращательного движения $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{2mV^2}{2} + 2\frac{m(\omega L/2)^2}{2}$ и связь $\omega L = 2\varepsilon V$, получаем: $V = \frac{2\cos\alpha}{3+\varepsilon^2}v_0$. С учетом этого $v\cos\gamma = \frac{1-\varepsilon^2}{3+\varepsilon^2}v_0\cos\alpha$, и $\mathrm{tg}\gamma = \frac{3+\varepsilon^2}{1-\varepsilon^2}\mathrm{tg}\alpha = \frac{13}{3\sqrt{3}}$. Как видно, $\gamma = \mathrm{arctg}\left(\frac{13}{3\sqrt{3}}\right) \approx 68°$ (оценка численного значения угла не обязательна).

Ответ: $\gamma = \mathrm{arctg}\left(\frac{3+\varepsilon^2}{1-\varepsilon^2}\mathrm{tg}\alpha\right) = \mathrm{arctg}\left(\frac{13}{3\sqrt{3}}\right) \approx \mathrm{arctg}(2{,}5) \approx 68°$, где $\varepsilon = \frac{2x}{L} = \frac{1}{2}$. Возможный вариант ответа: $\gamma = 60° + \mathrm{arctg}\left(\frac{1}{4\sqrt{3}}\right) \approx \left(60 + \frac{15\sqrt{3}}{\pi}\right)° \approx 68°$.

Распределение баллов для задачи:

I	Указано, что первый удар является центральным и гантель не начнет вращаться	**1**
	Указано, что второй удар – нецентральный, и гантель начнет вращаться	**2**
	Получена правильная связь скорости ЦМ гантели после удара с ее угловой скоростью	**3**
	В уравнении ЗСЭ правильно учтена энергия вращения гантели (или кинетическая энергия гантели считается как сумма кинетических энергий ее шайб с разными скоростями)	**4**
II	Правильно найдено соотношение масс ($M = m$)	**2**
	Правильно записаны два независимых уравнения ЗСИ для второго удара	**1+1=2**
	Получена правильная связь какой-либо из конечных скоростей с начальной	**3**
	Получен правильный аналитический ответ	**2**
	Получен правильный численный ответ (в градусах, радианах или как значение любой обратной тригонометрической функции)	**1**
	ВСЕГО	**20**

Задание 2:

Вопрос: Влажный воздух в герметичном сосуде при 100°C имеет относительную влажность 60% и давление 1 Атм. Каким станет его давление после изотермического уменьшения объема сосуда в два раза? Ответ дайте в атмосферах.

Задача: В цилиндрическом герметичном сосуде с гладкими стенками под легким подвижным поршнем находится влажный воздух. Масса содержимого сосуда $m = \frac{2522}{831} \approx 3{,}035$ г, и при температуре $t = 100$°C и нормальном атмосферном давлении $p_0 \approx 101$ кПа объем содержимого $V = 3{,}73$ л. Сосуд вынесли на улицу, и содержимое сосуда охладилось до $t' = -13$°C. Найдите массу льда, образовавшегося в сосуде. Каким примерно стал объем содержимого сосуда при новой температуре? Известно, что молярные массы воды и «сухого воздуха» можно считать равными $\mu_1 = 18{,}0$ г/моль и $\mu_2 = 29{,}0$ г/моль, давление насыщенных паров воды при новой температуре $p'_H \approx 202$ Па. Универсальная газовая постоянная $R \approx 8{,}31$ Дж/(кг·К), 0°C≈273 К.

Ответ на вопрос: В соответствии с определением шкалы Цельсия, давление насыщенного водяного пара при 100°C равно 1 Атм. Значит, в исходном состоянии парциальное давление водяного пара равно 0,6 Атм, а сухого воздуха 0,4 Атм. При изотермическом уменьшении объема сосуда в два раза парциальное давление сухого воздуха, согласно закону Бойля-Мариотта, увеличивается в два раза и становится равным 0,8 Атм. Давление водяного пара в отсутствие конденсации тоже возросло бы в два раза, но это невозможно для равновесного состояния, так как тогда оно было бы больше давления насыщенного пара. Следовательно, при таком сжатии часть воды сконденсируется, и давление водяного пара будет равно 1 Атм. Таким образом, давление в сосуде станет равно 1,8 Атм.

Решение задачи: Пусть ν_1 и ν_2 – количества воды и сухого воздуха в сосуде. Запишем соотношения для давления и массы газовой смеси:

$$\left.\begin{aligned} p = p_1 + p_2 = (\nu_1+\nu_2)\frac{RT}{V} \\ m = m_1 + m_2 = \mu_1\nu_1 + \mu_2\nu_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{aligned} &\nu_1+\nu_2 = \frac{pV}{RT} \Rightarrow \nu_1+\nu_2 \approx \frac{101}{831}\text{моля} \approx 0{,}1215\,\text{моля} \\ &\mu_1\nu_1+\mu_2\nu_2 = m \quad \Rightarrow \quad 18\nu_1 + 29\nu_2 \approx \frac{2522}{831}\text{моля} \approx 3{,}035\,\text{моля} \end{aligned}\right.$$

Решая получившуюся систему, находим:

$$\nu_1 \approx \frac{37}{831}\text{моля} \approx 0{,}04452\,\text{моля}, \quad \nu_2 \approx \frac{64}{831}\text{моля} \approx 0{,}07702\,\text{моля}.$$

Ясно, что парциальное давление водяного пара меньше 1 Атм, и этот пар не был насыщенным. Значит, вначале в сосуде было $m_1 = \mu_1\nu_1 = \dfrac{\mu_1}{\mu_2-\mu_1}\left(\dfrac{\mu_2 pV}{RT} - m\right) \approx 0{,}8014$ г воды в виде пара.

После охлаждения масса насыщенного водяного пара в сосуде равнялась $m_1' = \dfrac{\mu_1 p_H' V'}{RT'}$, в то время как объем содержимого сосуда определялся равенством давления сухого воздуха внешнему атмосферному давлению (давление водяного пара намного меньше атмосферного). Значит, $V' = \dfrac{\nu_2 RT'}{p} = \dfrac{1}{\mu_2-\mu_1}\left(\dfrac{mRT'}{p} - \mu_2 V\dfrac{T'}{T}\right) \approx 1{,}65\,\text{л}$, а $m_1' = \dfrac{\mu_1\nu_2 p_H'}{p} \approx 0{,}0028\,\text{г}$. Значит, масса образовавшегося льда $\Delta m = m_1 - m_1' \approx 0{,}7986\,\text{г}$.

Ответ: масса льда в сосуде $\Delta m = \dfrac{\mu_1}{\mu_2-\mu_1}\left[\dfrac{pV}{RT}\left(\mu_2 + \dfrac{p_H'}{p}\mu_1\right) - m\left(1+\dfrac{p_H'}{p}\right)\right] \approx 0{,}8\,\text{г}$, новый объем содержимого $V' = \dfrac{1}{\mu_2-\mu_1}\left(\dfrac{mRT'}{p} - \mu_2 V\dfrac{T'}{T}\right) \approx 1{,}65\,\text{л}$.

Распределение баллов для задачи:

I	Указано (используется в решении), что в начальном состоянии вся вода в сосуде была в виде пара	**2**
	Указано, что после охлаждения пар в сосуде – насыщенный	**2**
	Указано (используется в решении), что парциальное давление водяного пара после охлаждения заметно меньше атмосферного, и объем содержимого сосуда определяется равенством давления сухого воздуха внешнему атмосферному давлению	**3**
	Масса льда находится как разность начальной массы воды и массы насыщенного водяного пара в сосуде	**3**
II	Правильно записана система уравнений для начальных количеств воды и сухого воздуха	**2**
	Правильно найдены начальные количества воды и сухого воздуха	**1+1=2**
	Правильно найдена масса насыщенного водяного пара в сосуде после охлаждения	**2**
	Получен правильный численный ответ для Δm	**2**
	Получен правильный численный ответ для V'	**2**
	ВСЕГО	**20**

Задание 3:

Вопрос: Комета вращается по эллиптической орбите, на которой максимальное расстояние до Солнца в 9 раз больше минимального, а минимальная скорость кометы равна 6 км/с. Чему равна максимальная скорость кометы на этой орбите? Ответ обосновать.

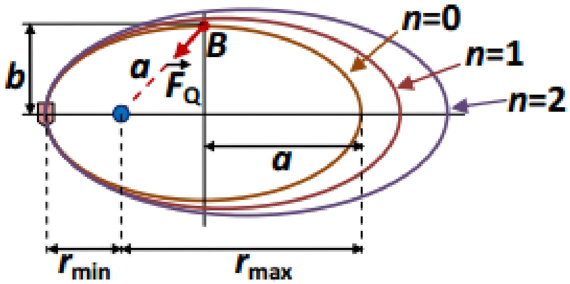
Задача: Положительно заряженный ион движется по эллиптической орбите вокруг маленького отрицательно заряженного шарика. Движение происходит в вакуумной камере большого размера. На первоначальной орбите максимальное расстояние от шарика до иона было в 8 раз больше минимального. Затем в точке орбиты, на которой это расстояние минимально, установили небольшую ускорительную камеру, которая не изменяет направление движения иона, но при каждом прохождении увеличивает его механическую энергию на <u>одну и ту же</u> величину. После первого прохождения камеры соотношение максимального и минимального расстояний между ионом и шариком увеличилось до 9. Каким станет это соотношение после 5-го прохождения ионом ускорительной камеры? После какого по счету прохождения ион не вернется к камере? Потери на сопротивление среды отсутствуют, потерями на излучение пренебречь.

Ответ на вопрос: Максимальное и минимальное расстояние соответствуют апогелию (афелию) и перигелию орбиты кометы, то есть симметричным точкам эллипса, расположенных на концах его большой оси. Поэтому радиусы кривизны траектории R в этих точках одинаковы. Записав с учетом закона тяготения Ньютона уравнения для центростремительной компоненты ускорения в этих точках, найдем соотношение соответствующих скоростей:

$$\left\{\begin{aligned} m\frac{v_P^2}{R} &= \frac{GmM}{r_P^2} \\ m\frac{v_A^2}{R} &= \frac{GmM}{r_A^2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{v_P}{v_A} = \frac{r_A}{r_P} = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} = 9$$

Таким образом, $v_{\max} = 9v_{\min} = 54$ км/с.

Решение задачи: Для начала вспомним два важных свойства эллипса. Начнем с его определяющего свойства: сумма расстояний до фокусов эллипса до любой его точки постоянна и равна удвоенной длине большой полуоси. По аналогии с I законом Кеплера понимаем, что заряженный шарик находится в фокусе эллиптической орбиты иона, и поэтому ясно, что расстояние от шарика до иона при прохождении точки B (находящейся на конце малой полуоси – см. рисунок) равно a. Второе свойство – что эллипс можно рассматривать как окружность радиуса a, сжатую вдоль направления малой оси в $\frac{a}{b}$ раз. При таком сжатии длина «очень малого» участка эллипса вокруг точки B не изменяется, а угол, на который поворачивается касательная к эллипсу на этом участке, уменьшается в $\frac{a}{b}$ раз. Следовательно, радиус кривизны эллипса в точке B равен $R_B = \frac{a^2}{b}$. Значит, если записать уравнение для центростремительного ускорения иона в точке B, то можно выразить его скорость в этой точке через длину большой полуоси:



$$m\frac{v_B^2}{R_B} = F_n = \frac{kq|Q|}{a^2}\frac{b}{a} \Rightarrow v_B^2 = \frac{kq|Q|}{ma}$$

(здесь q и Q – разноименные заряды иона и шарика, и m – масса иона). С другой стороны, постоянная полная энергия иона на данной орбите $E = \frac{mv_B^2}{2} - \frac{kq|Q|}{a} = -\frac{kq|Q|}{2a}$. Как видно, мы можем связать энергию иона с отношением $N \equiv \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$: поскольку $2a = r_{\max} + r_{\min} = (N+1)r_{\min}$, то $E = -\frac{kq|Q|}{r_{\min}(N+1)}$. На первоначальной орбите $E_0 = -\frac{kq|Q|}{r_{\min}(N_0+1)} = -\frac{kq|Q|}{9r_{\min}}$, так что

$\frac{kq|Q|}{r_{\min}} = -9E_0$. После включения ускорительной камеры энергия и орбита иона изменяются, но $r_{\min}$ остается неизменным (ион вылетает из нее перпендикулярно радиусу, так что это точка остается «перигелием» его орбиты). Пусть на каждом прохождении камеры энергия иона увеличивается на ΔE. Тогда после одного прохождения $E_0 + \Delta E = -\frac{kq|Q|}{r_{\min}(N_1+1)} = \frac{9}{10}E_0 \Rightarrow \Delta E = -\frac{E_0}{10}$, а после n прохождений

$$E_0 + n\Delta E = E_0\left(1 - \frac{n}{10}\right) = \frac{9E_0}{N_n + 1}.$$

Из этого уравнения находим, что $N_n = \frac{80+n}{10-n}$. Как видно, после 5-го прохождения ионом ускорительной камеры $N_5 = 17$, а $N_{10} = \infty$, то есть после 10 прохождения ускорительной камеры ион перейдет на незамкнутую (на самом деле параболическую) орбиту и не вернется к ускорительной камере.

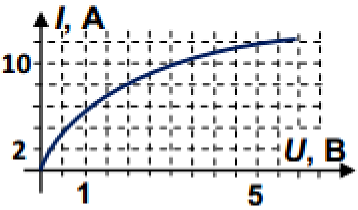
Ответ: После пятого прохождения ионом ускорительной камеры $N_5 = 17$, и после десяти прохождения ускорительной камеры ион перейдет на параболическую орбиту и не вернется к ускорительной камере.

Распределение баллов для задачи:

I	Указано, что заряженный шарик находится в фокусе эллиптической орбиты иона	**1**
	Указано и обосновано, что после прохождения ускорительной камеры $r_{\min}$ не изменяется, а $r_{\max}$ растет	**2**
	Верно указан радиус кривизны эллипса в «удобной» точке	**2**
	Верно записано уравнение для центростремительной компоненты ускорения в «удобной» точке	**2**
	Полная энергия иона на орбите вычисляется по его скорости и положению «удобной» точки	**3**
II	Получена правильная аналитическая связь энергии иона с отношением $N \equiv \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$	**3**
	Правильно найден закон изменения этого отношения (получена формула, эквивалентная $N_n = \frac{80+n}{10-n}$)	**3**
	Получен правильный численный ответ $N_5 = 17$	**2**
	Сделан правильный вывод, что ион не вернется к ускорительной камере после десятого прохождения	**2**
	ВСЕГО	**20**

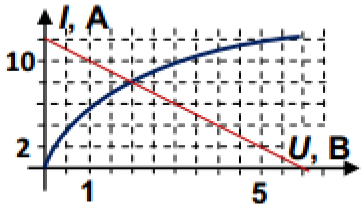
Задание 4:

Вопрос: Нелинейный элемент, ВАХ которого показана на рисунке, подключили к источнику постоянного тока с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом. Какую мощность этот элемент будет потреблять от источника?



Задача: ЭДС источника постоянного напряжения $\mathcal{E} = 24$ В, а его внутреннее сопротивление $r = 3$ Ом. К этому источнику подключили, соединив параллельно, резистор с сопротивлением $R = 3r = 9$ Ом и нелинейный элемент, вольт-амперная характеристика которого описывается выражением $I(U) = \alpha \cdot \sqrt{U} \equiv \frac{1}{r}\sqrt{3\mathcal{E}U}$. Найдите мощности, потребляемые резистором и нелинейным элементом в этой схеме.

Ответ на вопрос: Приравнивая напряжение на нелинейном элементе U к напряжению на источнике при токе $I(U)$, получаем уравнение, определяющее это напряжение: $U=\mathcal{E}-rI(U)$, то есть $I(U)=\frac{1}{r}(\mathcal{E}-U)$. Его можно решить графически, построив на рисунке с графиком ВАХ прямую, отвечающую правой части уравнения («нагрузочную прямую» источника). Точка пересечения ВАХ и прямой дает значения силы тока и напряжения для нелинейного элемента: $I=8$ А и $U=2$ В (см. рисунок). Следовательно, потребляемая элементом мощность $P=IU=16$ Вт.



Решение задачи: В соответствии с описанной схемой подключения, напряжение на нелинейном элементе U равно напряжению на резисторе и напряжению на источнике: $U=I_R R=\mathcal{E}-rI \Rightarrow I=\frac{\mathcal{E}-U}{r}$. С другой стороны, сила тока в ветви с источником, в соответствии с законом непрерывности тока $I=I_R+I_{НЭ}=\frac{U}{R}+\frac{1}{r}\sqrt{3\mathcal{E}U}$. Приравнивая полученные выражения для силы тока, получаем уравнение на U: $\frac{U}{3}+\sqrt{3\mathcal{E}U}=\mathcal{E}-U$, или $x^2+\frac{3\sqrt{3}}{4}x-\frac{3}{4}=0$ для переменной $x\equiv\sqrt{\frac{U}{\mathcal{E}}}$. Положительный корень этого уравнения $x=\frac{\sqrt{3}}{4}$, так что $U=\frac{3}{16}\mathcal{E}$. Следовательно, сила тока через резистор равна $I_R=\frac{U}{R}=\frac{\mathcal{E}}{16r}$, а сила тока через нелинейный элемент $I_{НЭ}=\frac{1}{r}\sqrt{3\mathcal{E}U}=\frac{3}{4}\frac{\mathcal{E}}{r}$. Потребляемые мощности $P_R=UI_R=\frac{3}{256}\frac{\mathcal{E}^2}{r}=2{,}25$ Вт и $P_{НЭ}=UI_{НЭ}=\frac{9}{64}\frac{\mathcal{E}^2}{r}=27$ Вт.

Ответ: $P_R=\frac{3}{256}\frac{\mathcal{E}^2}{r}=2{,}25$ Вт и $P_{НЭ}=\frac{9}{64}\frac{\mathcal{E}^2}{r}=27$ Вт.

Распределение баллов для задачи:

I	Напряжение на резисторе приравнено к напряжению на источнике в форме $\mathcal{E}-rI$	**2**
	Напряжение на НЭ приравнено к напряжению на источнике в форме $\mathcal{E}-rI$	**2**
	Правильно записан закон непрерывности тока	**3**
	В решении используются правильные формулы для вычисления мощностей, потребляемых резистором и НЭ	**1+2=3**
II	Из уравнений баланса напряжений и непрерывности тока построено уравнение для одной переменной (U или I)	**4**
	Правильно найдено U	**1**
	Правильно найдена сила тока через нелинейный элемент	**1**
	Получен правильный численный ответ для P_R	**2**
	Получен правильный численный ответ для $P_{НЭ}$	**2**
	ВСЕГО	**20**