

Решение задач о перезарядке конденсаторов



Боков Павел Юрьевич
к.ф-м.н., директор ГБОУ «Московская школа на
Юго-Западе №1543», соавтор УМК «Физика»

УМК «Физика» А.В. Грачёва и др. 7 – 9 класс



1.2.5.1.3.1



1.2.5.1.3.2



1.2.5.1.3.3

УМК «Физика» А.В. Грачёва и др. 10 – 11 класс



1.3.5.1.5.1



1.3.5.1.5.2

В свободном
доступе

[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ](#)



В свободном
доступе

[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ](#)

Физика

Рабочая программа
к линии УМК А.В. Грачёва

10–11



Методические пособия



[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ](#)



[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ](#)



[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ](#)

Рабочие тетради 7 класс



ПОСМОТРЕТЬ



ПОСМОТРЕТЬ

Рабочие тетради 8 класс



[ПОСМОТРЕТЬ](#)



[ПОСМОТРЕТЬ](#)

Рабочие тетради 9 класс



ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

ПОСМОТРЕТЬ

Рабочие тетради 10 класс



[ПОСМОТРЕТЬ](#) [ПОСМОТРЕТЬ](#) [ПОСМОТРЕТЬ](#) [ПОСМОТРЕТЬ](#)

Рабочие тетради 11 класс



[ПОСМОТРЕТЬ](#) [ПОСМОТРЕТЬ](#) [ПОСМОТРЕТЬ](#) [ПОСМОТРЕТЬ](#)

Тетради для лабораторных работ



ПОСМОТРЕТЬ



ПОСМОТРЕТЬ



ПОСМОТРЕТЬ

Тетради для лабораторных работ



ПОСМОТРЕТЬ



ПОСМОТРЕТЬ

Электронная форма учебника



Бесплатно получить
электронные формы
учебников можно на сайте
<https://lecta.rosuchebnik.ru/>

по промо-кодам:

UMK2019
5books

Решение задач о перезарядке конденсаторов

Процент выполнения ЕГЭ по видам деятельности

Вид деятельности	2016	2017	2018	2019
Применение законов и формул в типовых ситуациях	60	67	69	68
Анализ и объяснение явлений и процессов	59	63	61	60
Методологические умения	61	75	65	61
Решение задач	17	19	20	26

Процент выполнения задач №31 в ЕГЭ-2019

Мощность цепи постоянного тока	26
Мощность цепи постоянного тока при «закорачивании» резистора при замыкании ключа	24
Движение в магнитном поле конического маятника с заряженным шариком	20
Движение заряженного шарика, подвешенного на вертикальной нити, в горизонтальном эл. поле	4
Перезарядка конденсатора	4

Закон изменения механической энергии:

- $$\Pi_0 + K_0 + A_{\text{тр}} + A_{\text{ex}} = \Pi_k + K_k$$

Закон сохранения механической энергии:

- если $A_{\text{тр}} + A_{\text{ex}} = 0$,
то:
$$\Pi_0 + K_0 = \Pi_k + K_k = \text{const}$$

Первый закон термодинамики

$$P_0 + K_0 + A_{\text{тр}} + A_{\text{ex}} = P_k + K_k$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$
было изменение стало

$$U_0 + A + Q = U_k$$

В электрической цепи

$$W_{\text{эл}0} + W_{\text{магн}0} + A_{\text{ист}} + A_{\text{мех}} = W_{\text{эл}} + W_{\text{магн}} + Q_{\text{дж}} + Q_{\text{изл}}$$



было

изменение

стало

выделилось

Задача 1 (Физика -11)

Задача 1

Конденсатор ёмкостью C , имеющий заряд q_0 , подключают к источнику постоянного тока (с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r) через сопротивление $R = 2r$ так, как показано на рис. 62. Определите количество теплоты, которое выделится на сопротивлении R за время перезарядки конденсатора.

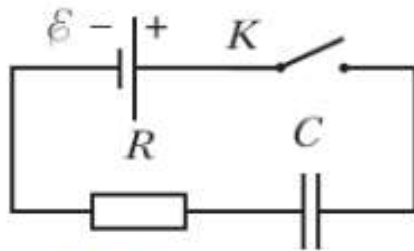


Рис. 62

Решение.

После замыкания ключа K в цепи будет течь ток до тех пор, пока напряжение U_C на конденсаторе не станет равным ЭДС источника тока. Поэтому после перезарядки конденсатора его заряд q станет равным:

Задача 1 (Физика -11)

Глава 1. Постоянный электрический ток ■ _____

$$q = C \cdot U_C = C \cdot \mathcal{E}. \quad (7)$$

Следовательно, по цепи за время перезарядки протечёт заряд Δq , равный разности конечного q и начального q_0 зарядов конденсатора:

$$\Delta q = q - q_0 = C \cdot \mathcal{E} - q_0. \quad (8)$$

Таким образом, за время перезарядки источник совершит работу A , равную произведению ЭДС источника и протёкшего через него заряда Δq :

$$A = \mathcal{E} \cdot \Delta q. \quad (9)$$

До замыкания ключа начальная энергия W_0 электрического поля конденсатора была равна:

$$W_0 = \frac{q_0^2}{2C}. \quad (10)$$

После окончания перезарядки конечная энергия W_k электрического поля конденсатора будет равна:

$$W_k = \frac{q^2}{2C}. \quad (11)$$

Задача 1 (Физика -11)

Согласно закону изменения энергии, сумма начальной энергии W_0 и работы A источника должна быть равна сумме конечной энергии W_k системы и энергии Q , выделившейся в виде количеств теплоты на сопротивлениях r и R и излучения, обусловленного ускоренным движением зарядов в цепи при перезарядке конденсатора:

$$W_0 + A = W_k + Q. \quad (12)$$

Из (12) с учётом (9)–(11) получаем:

$$Q = (W_0 - W_k) + A = \frac{q_0^2 - q^2}{2C} + \mathcal{E} \cdot (q - q_0). \quad (13)$$

Таким образом, выделившаяся энергия Q равна сумме двух слагаемых. Первое — это разность начальной и конечной энергий электрического поля конденсатора. Второе — это работа источника тока. Прежде чем подставлять в (13) значение q из (7), обсудим полученный результат.

Если начальное напряжение $U_{C0} = \frac{q_0}{C}$ на конденсаторе меньше, чем ЭДС $\mathcal{E}$ источника, то $q_0 < q$. В этом случае заряд конденсатора и его энергия при перезарядке будут увеличиваться. Поэтому первое слагаемое в (13) будет отрицательным. Напротив, поскольку в этом случае $\Delta q = q - q_0 > 0$, то второе слагаемое — работа источника тока — будет положительным.

79 ■

Задача 1 (Физика -11)

■ Электродинамика (продолжение)

Если же начальное напряжение на конденсаторе U_{C_0} больше ЭДС $\mathcal{E}$ источника, то $q_0 > q$. В этом случае при перезарядке заряд конденсатора и его энергия будут уменьшаться. Следовательно, первое слагаемое в (10) будет положительным. Напротив, так как $\Delta q = q - q_0 < 0$, то второе слагаемое — работа источника тока — будет отрицательным.

Понятно, что если $U_{C_0} = \mathcal{E}$, то $q_0 = q$ и перезарядки не будет. Другими словами, при таком условии тока в цепи после замыкания ключа K не будет. Поэтому из (13) получим: $Q = 0$.

Теперь подставим (7) в (13). После элементарных преобразований получаем:

$$Q = \frac{(q_0 - C \cdot \mathcal{E})^2}{2C}. \quad (14)$$

Обратим внимание на то, что полученное значение Q всегда неотрицательно. Это означает, что количество выделившейся энергии Q (за исключением случая $q_0 = C \cdot \mathcal{E}$) будет положительным.

Будем считать, что потери энергии на излучение, обусловленное ускоренным движением зарядов в цепи при перезарядке, пренебрежимо малы. Тогда количество выделившейся теплоты определяется соотношением (14).

Задача 1 (Физика -11)

Чтобы определить, какое количество теплоты Q_R выделилось на сопротивлении R , а какое Q_r — на внутреннем сопротивлении r источника, воспользуемся законом Джоуля — Ленца. Сила тока в цепи при перезарядке конденсатора непрерывно изменяется. Поэтому рассмотрим достаточно малый промежуток времени Δt , в течение которого силу тока в цепи можно считать постоянной. За этот промежуток времени на внутреннем сопротивлении r источника и сопротивлении R выделяются соответственно количества теплоты ΔQ_r и ΔQ_R :

$$\Delta Q_r = I^2 \cdot r \cdot \Delta t, \quad (15)$$

$$\Delta Q_R = I^2 \cdot R \cdot \Delta t, \quad (16)$$

где I — сила тока в цепи в течение промежутка времени Δt .

По условию $R = 2r$. Поэтому из (15) и (16) получаем:

$$\frac{\Delta Q_R}{\Delta Q_r} = \frac{R}{r} = 2. \quad (17)$$

Соотношение (17) справедливо для любого достаточно малого промежутка времени Δt . Следовательно, оно верно и для всего времени перезарядки:

$$\frac{Q_R}{Q_r} = 2. \quad (18)$$

Задача 1 (Физика -11)

Глава 1. Постоянный электрический ток ■ _____

Поскольку общее количество выделившейся теплоты $Q = Q_R + Q_r$, с учётом (18) и (14) получаем ответ:

$$Q_R = \frac{(q_0 - C \cdot \mathcal{E})^2}{2C} \cdot \frac{R}{R+r} = \frac{(q_0 - C \cdot \mathcal{E})^2}{3C}.$$

Задача 2 (Физика -11)

Задача 2

Определите количество теплоты, которое выделится на резисторе R после переключения ключа K из положения 1 в положение 2 в схеме, показанной на рис. 63. Потерями энергии на излучение пренебречь.

Решение.

Будем считать, что ключ K находится в положении 1 достаточно долго. Тогда сила тока в цепи равна нулю. Поэтому напряжение между выводами резистора также равно нулю. Следовательно, напряжение между левой и правой пластинами конденсатора равно: $U = 3\varepsilon - \varepsilon = 2\varepsilon$. Таким образом, начальный заряд q_0 конденсатора равен:

$$q_0 = C \cdot U = C \cdot 2\varepsilon. \quad (19)$$

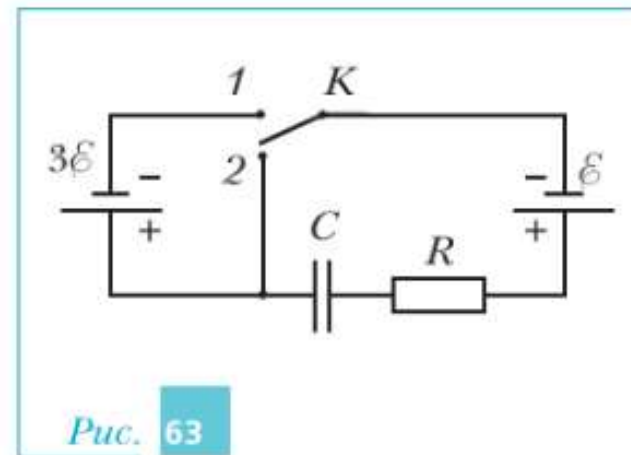


Рис. 63

Задача 2 (Физика -11)

При этом левая пластина конденсатора заряжена положительно, а правая — отрицательно. Начальная энергия заряженного конденсатора:

$$W_0 = \frac{q_0^2}{2C} = 2C \cdot \mathcal{E}^2. \quad (20)$$

После переключения ключа K в положение 2 начнётся перезарядка конденсатора, и в цепи потечёт электрический ток. Соответственно, на резисторе R будет выделяться определённое количество теплоты. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока между правой и левой пластинами конденсатора не установится разность потенциалов, равная ЭДС источника тока в образовавшейся цепи: $\Delta\varphi = \mathcal{E}$. Заряд конденсатора станет равен $q_k = C \cdot \mathcal{E}$. При этом правая пластина конденсатора будет заряжена положительно, а левая — отрицательно. Таким образом, за время перезарядки конденсатора по цепи пройдёт заряд $\Delta q = q_0 + q_k$, так как при разрядке конденсатора до нулевой разности потенциалов протекает заряд q_0 , а при зарядке конденсатора до конечной разности потенциалов противоположной полярности протекает заряд q_k .

Следовательно, за время перезарядки сторонние силы совершат работу, равную произведению ЭДС источника на прошедший через него заряд:

81 ■

Задача 2 (Физика -11)

■ Электродинамика (продолжение)

$$A = \mathcal{E} \cdot \Delta q = \mathcal{E} \cdot (q_0 + q_k) = \mathcal{E} \cdot (2C \cdot \mathcal{E} + C \cdot \mathcal{E}) = 3C \cdot \mathcal{E}^2. \quad (21)$$

Конечная энергия конденсатора равна:

$$W_k = \frac{q_k^2}{2C} = \frac{C \cdot \mathcal{E}^2}{2}. \quad (22)$$

Согласно закону сохранения энергии, сумма начальной энергии W_0 конденсатора и работы сторонних сил по переносу заряда Δq равна сумме конечной энергии W_k конденсатора и выделившегося на резисторе R количества теплоты Q :

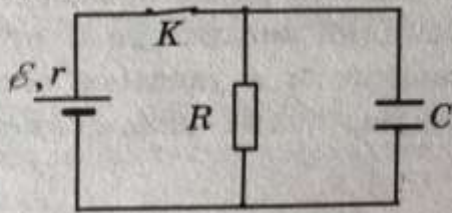
$$W_0 + A = W_k + Q. \quad (23)$$

Подставив (20)–(22) в (23), получаем ответ:

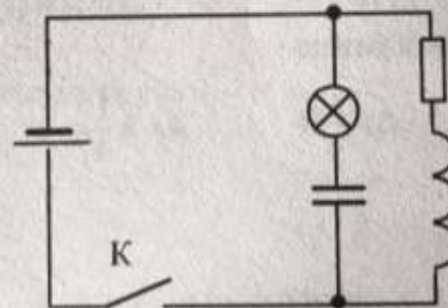
$$Q = 2C \cdot \mathcal{E}^2 + 3C \cdot \mathcal{E}^2 - \frac{C \cdot \mathcal{E}^2}{2} = \frac{9}{2}C \cdot \mathcal{E}^2.$$

Что в ЕГЭ?

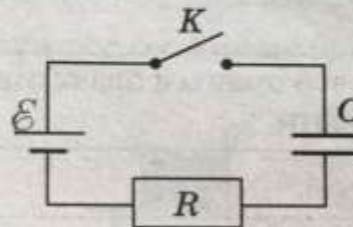
В электрической схеме, показанной на рисунке, ключ K замкнут. Заряд конденсатора $q = 2 \text{ мкКл}$, ЭДС батарейки $\mathcal{E} = 24 \text{ В}$, ее внутреннее сопротивление $r = 5 \text{ Ом}$, сопротивление резистора $R = 25 \text{ Ом}$. Найдите количество теплоты, которое выделяется на резисторе после размыкания ключа K в результате разряда конденсатора. Потерями на излучение пренебречь.



В электрической цепи, показанной на рисунке, ЭДС источника тока равна $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$; емкость конденсатора $C = 2 \text{ мФ}$; индуктивность катушки $L = 5 \text{ мГн}$, сопротивление лампы $r = 5 \text{ Ом}$ и сопротивление резистора $R = 3 \text{ Ом}$. В начальный момент времени ключ K замкнут. Какое количество теплоты Q выделится в лампе после размыкания ключа? Внутренним сопротивлением источника тока, катушки и проводов пренебречь.



Конденсатор подключен к источнику тока последовательно с резистором $R = 20$ кОм (см. рис.). В момент времени $t = 0$ ключ замыкают. В этот момент конденсатор полностью разряжен. Результаты измерений силы тока в цепи, выполненных с точностью ± 1 мкА, представлены в таблице.



$t, \text{с}$	0	1	2	3	4	5	6
$I, \text{мкА}$	300	110	40	15	5	2	1

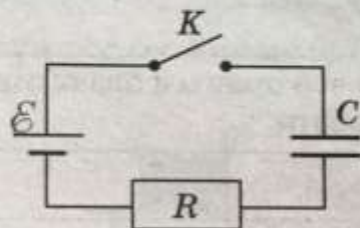
Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь. Выберите два верных утверждения о процессах, наблюдаемых в опыте.

- 1) Ток через резистор в процессе наблюдения увеличивается.
- 2) Через 6 с после замыкания ключа конденсатор полностью зарядился.
- 3) ЭДС источника тока составляет 6 В.
- 4) В момент времени $t = 3$ с напряжение на резисторе равно 0,6 В.
- 5) В момент времени $t = 3$ с напряжение на конденсаторе равно 5,7 В.

Ответ:

--	--

Конденсатор подключен к источнику тока последовательно с резистором $R = 20 \text{ кОм}$ (см. рис.). В момент времени $t = 0$ ключ замыкают. В этот момент конденсатор полностью разряжен. Результаты измерений силы тока в цепи, выполненных с точностью $\pm 1 \text{ мкА}$, представлены в таблице.



$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6
$I, \text{ мкА}$	300	110	40	15	5	2	1

Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь. Выберите два верных утверждения о процессах, наблюдаемых в опыте.

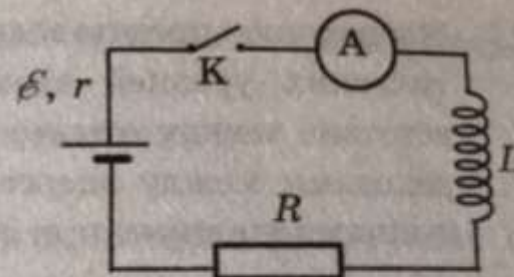
- 1) Ток через резистор в процессе наблюдения увеличивается.
- 2) Через 6 с после замыкания ключа конденсатор полностью зарядился.
- 3) ЭДС источника тока составляет 6 В.
- 4) В момент времени $t = 3 \text{ с}$ напряжение на резисторе равно 0,6 В.
- 5) В момент времени $t = 3 \text{ с}$ напряжение на конденсаторе равно 5,7 В.

Ответ:

--	--

$$E = IR + q/C$$

24. В схеме, показанной на рисунке, ключ K замыкают в момент времени $t = 0$. Показания амперметра в последовательные моменты времени приведены в таблице. Сопротивление резистора равно 100 Ом . Сопротивлением проводов и амперметра, активным сопротивлением катушки индуктивности и внутренним сопротивлением источника пренебречь.



$t, \text{ мс}$	0	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700
$I, \text{ мА}$	0	23	38	47	52	55	57	59	59	60	60

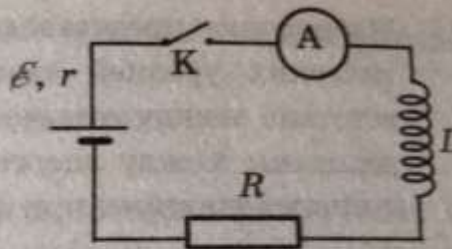
Выберите два верных утверждения о процессе, происходящем в контуре.

- 1) Напряжение на резисторе сначала увеличивается, а затем не меняется.
- 2) Напряжение на резисторе не меняется с течением времени.
- 3) ЭДС источника равна $3,4 \text{ В}$.
- 4) Напряжение на катушке в момент времени 300 мс равно 0 .
- 5) Напряжение на катушке в момент времени 0 мс максимально.

Ответ:

--	--

24. В схеме, показанной на рисунке, ключ K замыкают в момент времени $t = 0$. Показания амперметра в последовательные моменты времени приведены в таблице. Сопротивление резистора равно 100 Ом . Сопротивлением проводов и амперметра, активным сопротивлением катушки индуктивности и внутренним сопротивлением источника пренебречь.



$t, \text{мс}$	0	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700
$I, \text{мА}$	0	23	38	47	52	55	57	59	59	60	60

Выберите два верных утверждения о процессе, происходящем в контуре.

- 1) Напряжение на резисторе сначала увеличивается, а затем не меняется.
- 2) Напряжение на резисторе не меняется с течением времени.
- 3) ЭДС источника равна $3,4 \text{ В}$.
- 4) Напряжение на катушке в момент времени 300 мс равно 0 .
- 5) Напряжение на катушке в момент времени 0 мс максимально.

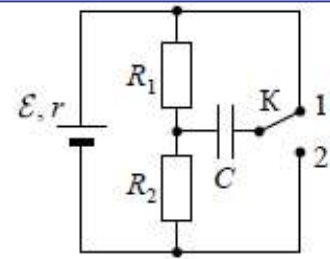
Ответ:

--	--

$$E = IR + E_{\text{си}}$$

Пример задания №31 в ЕГЭ-2019

В электрической цепи, показанной на рисунке, $r = 1 \text{ Ом}$, $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $R_2 = 7 \text{ Ом}$, $C = 0,2 \text{ мкФ}$, ключ K длительное время находится в положении 1. За длительное время после перевода ключа K в положение 2 изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = -0,55 \text{ мкКл}$. Найдите ЭДС источника $\mathcal{E}$.



Олимпиады (Сборник С.М. Козела)

✓ 3.89. Конденсатор емкости C , заряженный до напряжения $\mathcal{E}$, подключается через резистор с большим сопротивлением к батарее с ЭДС $5\mathcal{E}$ (рис. 3.41). Определить количество теплоты, которое выделяется в цепи при зарядке конденсатора до напряжения $5\mathcal{E}$.

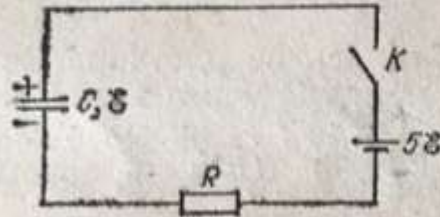


Рис. 3.41

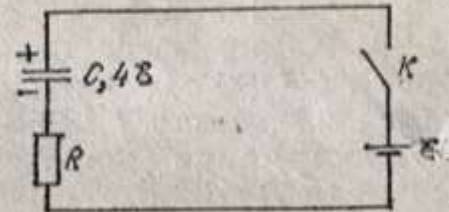


Рис. 3.42

✓ 3.90. Конденсатор емкости C , заряженный до напряжения $4\mathcal{E}$, разряжается через резистор с большим сопротивлением R и батарею с ЭДС $\mathcal{E}$ (рис. 3.42). Найти количество теплоты, выделившееся при разрядке конденсатора.

✓ 3.91. Какое количество теплоты выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (рис. 3.43)?

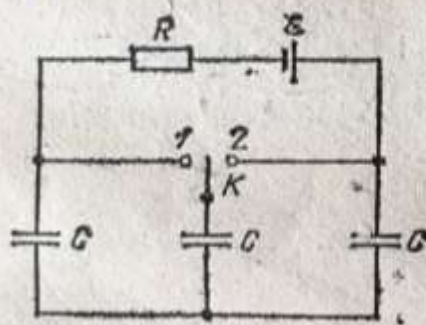


Рис. 3.43

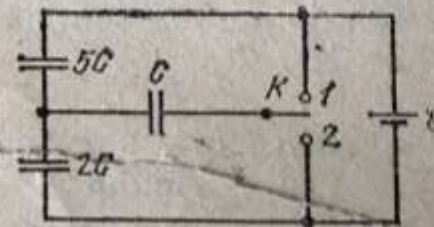
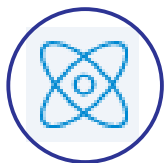


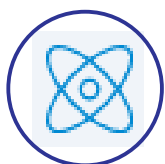
Рис. 3.44

РЕКОМЕНДОВАННЫЕ ВЕБИНАРЫ



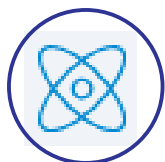
Алгоритмические подходы к решению задач по физике

<https://rosuchebnik.ru/material/algoritmicheskie-podhody-k-resheniyu-zadach-po-fizike-na-primere/>
<https://www.youtube.com/watch?v=CxmekQwta1Q>



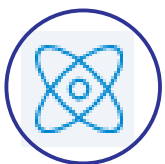
Методика решения задач по механическим и электромагнитным колебаниям

<https://rosuchebnik.ru/material/trudnye-voprosy-ege-po-fizike-metodika-resheniya-zadach-po-mekhaniches/>



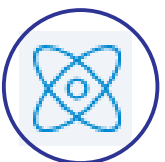
О систематизации физических знаний

<https://rosuchebnik.ru/material/fizika-kak-edinaya-sistema-znaniy-/>



Методологические принципы построения курса физики

<https://rosuchebnik.ru/material/metodologicheskie-printsipy-postroeniya-kursa-fiziki1/>



Олимпиадные задачи по физике

<https://rosuchebnik.ru/material/reshenie-olimpiadnykh-zadach-po-teme-statika/>
<https://rosuchebnik.ru/material/reshenie-olimpiadnykh-zadach-po-teme-kondensatory/>

rosuchebnik.ru, rosuchebnik.ru

Москва, Пресненская наб., д. 6, строение 2
+7 (495) 795 05 35, 795 05 45, info@rosuchebnik.ru

Нужна методическая поддержка?

Методический центр
8-800-2000-550 (звонок бесплатный)
metod@rosuchebnik.ru

Хотите купить?



Официальный интернет-магазин
учебной литературы book24.ru



Цифровая среда школы
lecta.rosuchebnik.ru



Отдел продаж
sales@rosuchebnik.ru

Хотите продолжить общение?



youtube.com/user/drofapublishing



fb.com/rosuchebnik



vk.com/ros.uchebnik



ok.ru/rosuchebnik

По всем вопросам можно обращаться:



Опаловский Владимир Александрович,
методист по физике и астрономии корпорации
«Российский учебник»

Opalovskiy.VA@rosuchebnik.ru