



## INTERNATIONAL OLYMPIAD OF TEACHERS AND TRAINERS

Физика. Мұғалімдер лигасы. 11 қаңтар 2026 жыл

### Теоретикалық бөлім (30 балл)

#### Есеп 1. (6 балл)

Сұйық оттегінің тығыздығын, меншікті булану жылуын және потенциалдық шұңқырдың тереңдігін қарапайымдатылған модель бойынша бағалаңыз. Молекулалардың өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы келесі өрнекпен берілген:

$$U(r) = 4a \left( \left( \frac{b}{r} \right)^{12} - \left( \frac{b}{r} \right)^6 \right),$$

мұндағы  $a = 406 \cdot 10^{-23}$  Дж,  $b = 3,3 \cdot 10^{-10}$  м. Ал  $r$  – молекула центрлерінің арасындағы қашықтық,  $a$  және  $b$  - осы заттың байқалған қасиеттерін ең жақсы сипаттайтын параметрлер. Оттегінің молярлық массасы  $32 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ .

#### Есеп 2. (7 балл)

Массасы 1 кг доп 130 м биіктіктен 2 м/с жылдамдықпен горизонталь лақтырылады. Ауа кедергісі  $\vec{F} = -0,8\vec{v}$ , мұндағы жылдамдық  $v \frac{\text{м}}{\text{с}}$ -пен берілген. Біраз уақыттан кейін ол тұрақты жылдамдықпен қозғала бастады.

2.1. Доптың ұшу қашықтығын анықтаңыз.

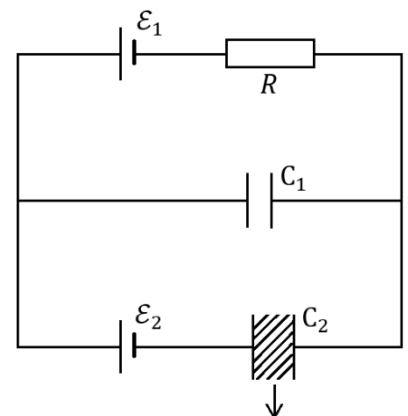
2.2. Доптың ұшу уақытын табыңыз.

#### Есеп 3. (8 балл)

Төмендегі тізбекте:

$\mathcal{E}_1 = 2$  В,  $\mathcal{E}_2 = 5$  В,  $R = 100$  Ом,  $C_1 = 6 \cdot 10^{-3}$  Ф,  $C_2 = 4 \cdot 10^{-3}$  Ф.  $C_2$  конденсаторы қабырғалары  $L = 0,6$  м болатын шаршы металл пластиналардан тұрады, олардың арасындағы кеңістік толығымен өтімділігі  $\varepsilon = 5$  диэлектрикпен толтырылған. Диэлектрик  $C_2$  конденсаторынан тұрақты жылдамдықпен баяу шығарылады.

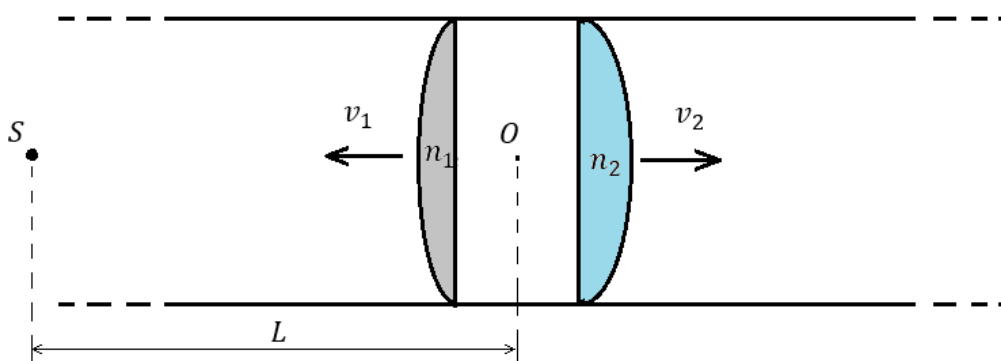
Диэлектрикті  $x = 0,1$  м қашықтыққа шығарған кезден бастап,  $C_1$  конденсаторында 6 В тұрақты кернеу орнатылады деп ойласақ, орныққан режим үшін:



- 3.1. ЭҚК-тері  $\mathcal{E}_1$  және  $\mathcal{E}_2$  элементтері арқылы өтетін токтардың мәндерін және  $\mathcal{E}_1$  арқылы өтетін токтың бағытын анықтаңыз.
- 3.2. Диэлектрикті  $x = 0,1$  м-ге ығыстырған кезде  $C_2$  конденсаторының сыйымдылығын және оның кернеуін табыңыз.
- 3.3.  $C_2$  конденсаторының зарядын есептеңіз.
- 3.4. Диэлектриктің жылдамдығын анықтаңыз.
- 3.5. Орныққан режимнен бастап диэлектрик конденсатордан толық шыққанға дейін  $C_2$  конденсаторының энергиясы қалай өзгерді?

#### Есеп 4. (9 балл)

Вакуумде орналасқан екі жағы ашық болатын ұзын цилиндр тектес ыдыстың ішінде екі жұқа жазық дөңес линза бар. Бірінші линзаның қисықтық радиусы  $R_1 = 20$  см және сыну көрсеткіші  $n_1 = 1,33$ , ал екіншісінікі –  $R_2 = 25$  см және  $n_2 = 1,5$ . Бастапқы кезде екі линза жазық жақтарымен бір-біріне  $O$  нүктесінде жанасып тұр. Екі линза сәйкесінше  $v_1 = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}}$  және  $v_2 = 30 \frac{\text{см}}{\text{с}}$  жылдамдықтармен суретте көрсетілген бағыттарда қозғала бастады.  $S$  жарық көзі  $O$  нүктесінен  $L$  қашықтықта орналасқан.



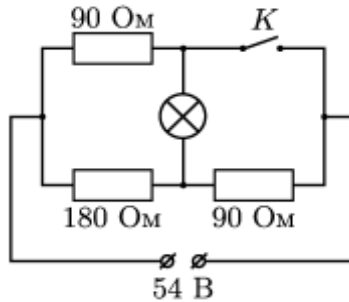
- 4.1.  $t$  уақыт мезетіндегі  $S$  жарық көзінің линзалардағы кескіндері  $O$  нүктесінен қандай қашықтықта болады.
- 4.2.  $t$  уақыт мезетіндегі  $S$  жарық көзінің линзалардағы кескіндерінің жылдамдықтары қандай болады.
- 4.3. Екінші кескіннің қандай уақыт аралығында жорамал болатынын анықтаңыз. Санақ басынан 10 секундқа дейінгі уақытты қарастырыңыз.

**Методикалық бөлім (15 балл)**

*Есеп шешімдеріндегі немесе есеп тұжырымдарындағы қателерді анықтаңыз. Оларды әрбір жеке пункттер бойынша түзетіңіз (бірақ өзіңіздің шешу әдісіңізді ұсынбаңыз!).*

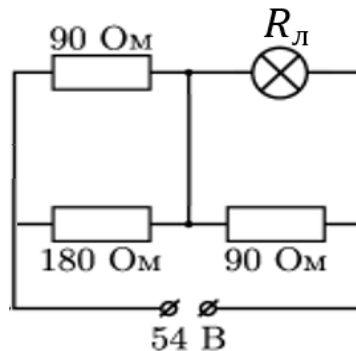
**Есеп 1. (5 балл)**

Егер кілт тұйықталған кезде шамның жарқырауы өзгермесе, оның кернеуі  $U_{ш}$  мен кедергісін  $R_{ш}$  анықтаңыз.



*Оқушының шешімі:*

I. Кілт ажыраған жағдай үшін эквивалентті сызба:



1. Шамның параллель жалғануындағы тізбек бөлігінің кернеуі:

$$U_1 = U_{ш} + 90 \text{ Ом} \cdot \frac{U_{л}}{90 \text{ Ом}} = 54 \text{ В}$$

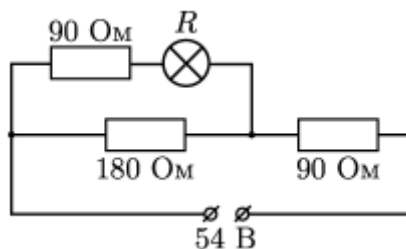
2. Осы тізбек бөлігіндегі ток күші:

$$I_1 = \frac{U_{ш}}{R_{ш}}$$

3. Тізбектің жалпы кернеуі:

$$U_1 = U_2 = 54 \text{ В}$$

II. Кілт тұйықталған жағдай үшін эквивалентті сызба:



4. Параллель жалғанған лампа мен резистор арқылы ағатын ток күші:

$$I_1 = \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}} + \frac{U_1}{90 \text{ Ом}}$$

5. Тізбектің жалпы кернеуі:

$$U_{\text{ш}} + 90 \text{ Ом} \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}} + 90 \text{ Ом} \left( \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}} + \frac{U_{\text{ш}} + 90 \text{ Ом} \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}}}{90 \text{ Ом}} \right) = 54 \text{ В}$$

6. Алынған теңдеулердің шешімі:

$$U_{\text{ш}} = 8 \text{ В}, R_{\text{ш}} = 20 \text{ Ом}.$$

### Есеп-сұрақ 2. (5 балл)



Жылу оқшауланған цилиндрден және жылжымалы поршеннен тұратын құрылғы ішінде температурасы  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , бастапқы қысымы  $p_0$  және көлемі  $V_0$  идеал газ бар. Алдымен газды тұрақты қысымда  $t$  температураға қыздырады. Содан кейін температураны өзгертпей, газды бастапқы  $V_0$  көлемге жеткізу үшін оған қосымша  $p_1$  қысым түсіреді. Кейін газ қысымын өзгертпей, оны бастапқы температураға дейін салқындатты. Соңында газды бастапқы көлеміне қайтару үшін газ қысымын қандай да бір  $p_2$  шамасына кемітті.  $p_1$  және  $p_2$  қысымдарын салыстырыңыз.

1. Газды  $t$  температураға қыздырғанда, оның көлемі  $V_1 = V_0 \gamma t$  болады, мұндағы  $\gamma$  - көлемдік ұлғаю коэффициенті.

2. Көлем бастапқы мәніне оралуы үшін газға түсірілетін  $p_1$  қысымы:

$$\begin{aligned} p_0 V_0 \gamma t &= (p_0 + p_1) V_0 \\ p_0 \gamma t &= p_0 + p_1 \\ p_1 &= p_0 (\gamma t - 1) \end{aligned}$$

3. Газды енді  $t$  температураға суытамыз. Сонда оның температурасы бастапқы  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , ал көлемі  $V_2 = V_0 (1 - \gamma t)$  және қысымы  $(p_0 + p_1)$  болады.

4. Газды бастапқы көлеміне дейін ұлғайту үшін поршеньге қосымша  $p_2$  қысымын түсіру керек. Енді газдың көлемі  $V_0$  және қысымы  $(p_0 + p_1 + p_2)$ .

5. Бойль-Мариотт заңы бойынша:

$$(p_0 + p_1 + p_2) V_0 = p_0 V_0 (1 - \gamma t)$$

6. Егер  $p_1 = p_0 (\gamma t - 1)$  екенін ескерсек, онда:

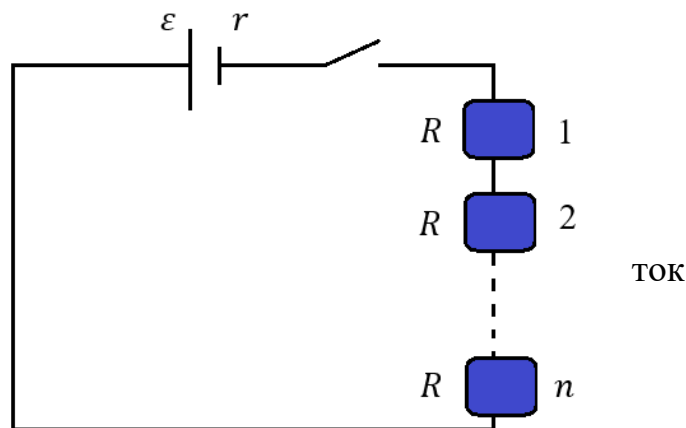
$$p_0(\gamma t - 1) + p_0 + p_2 = p_0 - p_0 \gamma t$$

7. немесе  $p_2 = p_0(1 + 2\gamma t)$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1 + 2\gamma t}{\gamma t - 1}$$

### Есеп-пайымдау 3. (5 балл)

Суретте ток көзі мен қышқылдандырылған суы бар  $n$  кюветтен (арнайы ыдыстан) тұратын аккумулятор берілген. Тізбек арқылы ток өткен кезде тізбектің ПӘК-і кювет санына қалай тәуелді екенін анықтаңыз. Мұндағы  $\varepsilon$  – көзінің ЭҚК-і,  $n$  – кювет саны,  $r$  – ток көзінің ішкі кедергісі, ал  $R$  – бір кюветтің кедергісі.



1. Тізбектегі ток күші:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + nR}$$

2. Аккумулятордың заряды тұрақты  $Q$  болса, онда разрядталу уақыты:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{Q(r + nR)}{E}$$

3. Сол себепті электродтарда түзілетін зат массасы:

$$m = nkIt = nkQ$$

4.  $n$  артқан сайын бұл шама артады

5. Сонда

$$\eta = \frac{nR}{r + nR}$$

Бірақ бұл энергияның сақталу заңына қайшы келетін сияқты? Пайымдаудағы қателік неде немесе шешімде қателіктер бар ма?



# INTERNATIONAL OLYMPIAD OF TEACHERS AND TRAINERS

Физика. Лига учителей. 11 января 2026 г.

## Теоретическая часть (30 баллов)

### Задача 1. (6 баллов)

Оцените плотность жидкого кислорода, удельную теплоту его парообразования и глубину потенциальной ямы в упрощенной модели, если потенциальная энергия взаимодействия молекул задается выражением:

$$U(r) = 4a \left( \left( \frac{b}{r} \right)^{12} - \left( \frac{b}{r} \right)^6 \right),$$

где  $a = 406 \cdot 10^{-23}$  Дж,  $b = 3,3 \cdot 10^{-10}$  м. Здесь  $r$  – расстояние между центрами молекул,  $a$  и  $b$  – заданные параметры, дающие наилучшее согласие с наблюдаемыми свойствами этого вещества. Молярная масса кислорода  $32 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ .

### Задача 2. (7 баллов)

Мяч массой 1 кг бросили со скоростью 2 м/с горизонтально с высоты 130 м. Сопротивление воздуха  $\vec{F} = -0,8\vec{v}$ , где скорость  $v$  измеряется в  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Через некоторое время он стал двигаться с постоянной по модулю скоростью. Найдите:

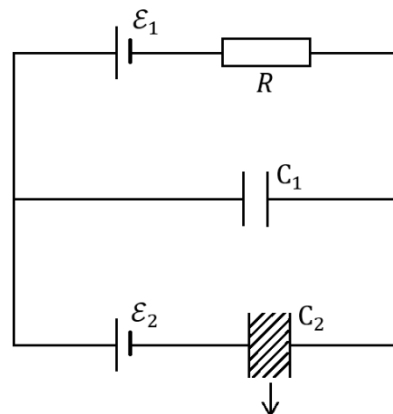
- 2.1. Дальность полета.
- 2.2. Время полета.

### Задача 3. (8 баллов).

В представленной ниже схеме:

$\mathcal{E}_1 = 2$  В,  $\mathcal{E}_2 = 5$  В,  $R = 100$  Ом,  $C_1 = 6 \cdot 10^{-3}$  Ф,  $C_2 = 4 \cdot 10^{-3}$  Ф. Конденсатор  $C_2$  состоит из квадратных металлических пластин со стороной  $L = 0,6$  м, пространство между которыми полностью заполнено диэлектриком, с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 5$ . Из конденсатора емкостью  $C_2$  медленно выдвигали с постоянной скоростью диэлектрик.

Предположим, когда диэлектрик выдвинули на расстояние  $x = 0,1$  м, на конденсаторе емкостью  $C_1$  установилось постоянное напряжение 6 В. Исходя из данного предположения рассчитайте:

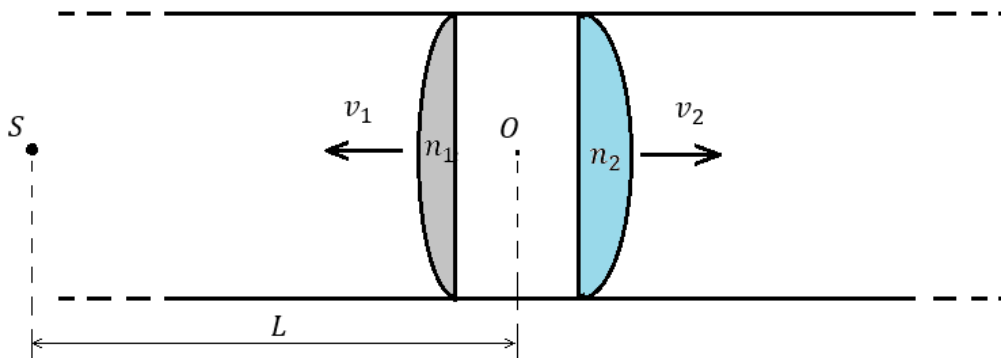


- 3.1. Значения токов, протекающих через элементы ЭДС  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$  и направление тока через  $\mathcal{E}_1$ .

- 3.2. Какой стала емкость конденсатора  $C_2$  и напряжение на нём, когда диэлектрик выдвинули на  $x = 0,1$  м.
- 3.3. Каким стал заряд на конденсаторе  $C_2$ .
- 3.4. Найти скорость перемещения диэлектрика.
- 3.5. Как изменилась энергия конденсатора  $C_2$  с момента установления постоянного напряжения до момента полного выхода диэлектрика из конденсатора?

#### Задача 4. (9 баллов)

Длинный цилиндрический сосуд с двумя открытыми концами, находящийся в вакууме, содержит две тонкие плосковыпуклые линзы, изготовленных из стекол с показателем преломления  $n_1 = 1,33$  и  $n_2 = 1,5$ . Радиус кривизны поверхности первой линзы равен  $R_1 = 20$  см, а второй линзы –  $R_2 = 25$  см. Первоначально две линзы соприкасаются друг с другом с плоскими гранями в точке  $O$ . Затем оба стекла начинают двигаться в как показано в рисунке с постоянными скоростями  $v_1 = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}}$  и  $v_2 = 30 \frac{\text{см}}{\text{с}}$  соответственно. Источник света  $S$  расположен на расстоянии  $L = 2$  м от точки  $O$ .



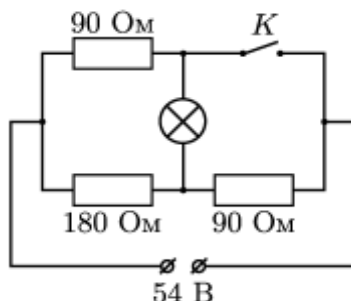
- 4.1. На каком расстоянии от точки  $O$  будут находиться изображения источника света  $S$  через каждую линзу в момент времени  $t = 5$  с?
- 4.2. Каковы будут скорости изображений источника света  $S$  через каждую линзу в момент времени  $t = 5$  с?
- 4.3. Определите в каком промежутке времени второе изображение будет мнимым. Рассмотреть время от начала отсчета до 10 с.

**Методический часть (15 баллов)**

**Найдите ошибки в решениях или рассуждениях задач. Исправьте их по пунктам (при этом свой метод решения не предлагать!).**

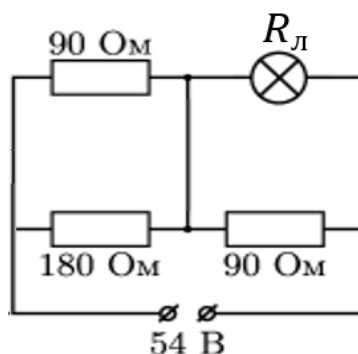
**Задача 1. (5 балл)**

Определите напряжение  $U_{\text{л}}$  и сопротивление  $R_{\text{л}}$  лампочки, если накал не меняется при замыкании ключа.



*Решение ученика:*

I. Эквивалентная схема при разомкнутом ключе:



Пусть  $U_{\text{л}}$  – напряжение на лампочке, а  $R_{\text{л}}$  – сопротивление лампочки.

1. Напряжение на участке, содержащем параллельное соединение лампочки:

$$U_1 = U_{\text{л}} + 90 \text{ Ом} \cdot \frac{U_{\text{л}}}{90 \text{ Ом}} = 54 \text{ В}$$

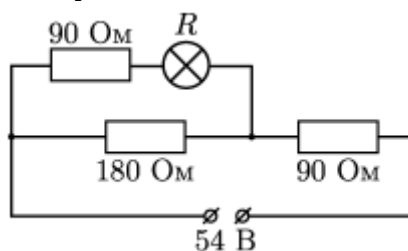
2. Сила тока на этом участке:

$$I_1 = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}}}$$

3. Напряжение во всей цепи:

$$U_1 = U_2 = 54 \text{ В}$$

II. Эквивалентная схема при замкнутом ключе:



4. Сила тока, текущего через соединённые параллельно лампу и резистор, равна:

$$I_1 = \frac{U_L}{R_L} + \frac{U_1}{90 \text{ Ом}}$$

5. Напряжение во всей цепи:

$$U_L + 90 \text{ Ом} \cdot \frac{U_L}{R_L} + 90 \text{ Ом} \cdot \left( \frac{U_L}{R_L} + \frac{U_L + 90 \text{ Ом} \cdot \frac{U_L}{R_L}}{90 \text{ Ом}} \right) = 54 \text{ В}$$

6. Решение полученных уравнений:

$$U_L = 8 \text{ В}, R_L = 20 \text{ Ом}.$$

### Задача-вопрос 2. (5 балл)



Дано устройство, состоявшее из теплоизолированного цилиндра, в котором находится идеальный газ при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , некотором начальном давлении  $p_0$ , объеме  $V_0$  и подвижный поршень. Сперва нагрели газ при постоянном давлении на  $t$ , затем не меняя температуры создали дополнительное давление на газ  $p_1$  так, чтобы довести его до прежнего объема  $V_0$ . Охладили теперь газ, не меняя давления до первоначальной температуры. Чтобы довести газ до прежнего объема, снизили с поршня некоторое давление  $p_2$ . Сравните  $p_1$  и  $p_2$ .

1. Нагреем газ на  $t$  тогда его объем будет равен  $V_1 = V_0\gamma t$ , где  $\gamma$  – это коэффициент объёмного расширения

2. Создадим давление  $p_1$  так, чтобы объем стал прежним:

$$p_0 V_0 \gamma t = (p_0 + p_1) V_0$$

$$p_0 \gamma t = p_0 + p_1$$

$$p_1 = p_0(\gamma t - 1)$$

3. Охладим теперь газ на  $t$ , тогда он приобретет прежнюю температуру  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , но объем его станет  $V_2 = V_0(1 - \gamma t)$ , давление  $(p_0 + p_1)$ .

4. Чтобы довести газ до прежнего объема, придется добавить давление  $p_2$  на поршень. Теперь объем газа  $V_0$ , давление  $(p_0 + p_1 + p_2)$

5. По закону Бойля-Мариотта имеем:

$$(p_0 + p_1 + p_2) V_0 = p_0 V_0 (1 - \gamma t)$$

6. или, принимая в расчет, что  $p_1 = p_0(\gamma t - 1)$  получим:

$$p_0(\gamma t - 1) + p_0 + p_2 = p_0 - p_0 \gamma t$$

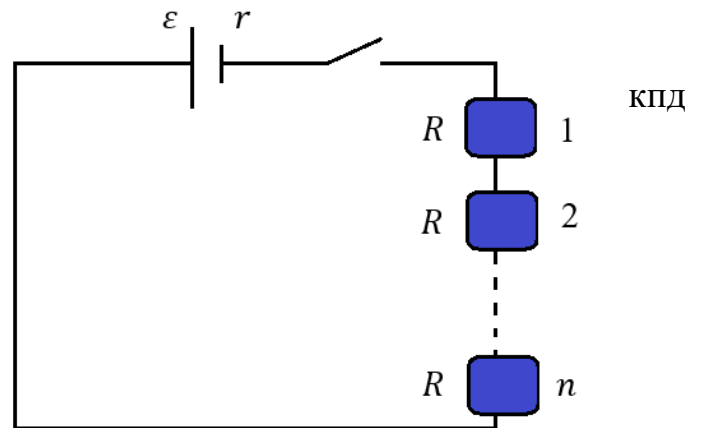
7. или  $p_2 = p_0(1 + 2\gamma t)$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1 + 2\gamma t}{\gamma - 1}$$

### Задача- рассуждение 3. (5 балл)

Дан аккумулятор,  $n$  – число кювет с подкисленной водой. Найти как зависит от числа кювет при пропускании тока в цепи.

Пусть у нас  $\varepsilon$  - Э.Д.С. батареи,  $n$  – число кювет,  $r$  - внутреннее сопротивление батареи,  $R$  - сопротивление одной кюветы.



1. Ток в цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + nR}$$

2. При постоянстве заряда аккумулятора  $Q$  время разряда:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{Q(r + nR)}{\varepsilon}$$

3. Поэтому на электродах выделится масса вещества:

$$m = nkIt = nkQ$$

4. Эта величина возрастает при увеличении  $n$

5. Тогда

$$\eta = \frac{nR}{r + nR}$$

Но она вроде бы находится в противоречии с законом сохранения энергии? В чем ошибка рассуждений или есть ошибки в решении?



# INTERNATIONAL OLYMPIAD OF TEACHERS AND TRAINERS

Physics. Teachers' League. January 10, 2026.

## Theoretical section (30 points)

### Problem 1. (6 points)

Estimate the density of liquid oxygen, its specific latent heat of vaporization, and the depth of the potential well in a simplified model, assuming that the potential energy of interaction between molecules is given by:

$$U(r) = 4a \left( \left( \frac{b}{r} \right)^{12} - \left( \frac{b}{r} \right)^6 \right),$$

where  $a = 406 \cdot 10^{-23}$  J,  $b = 3,3 \cdot 10^{-10}$  m. Here  $r$  is the distance between the centers of the molecules, and  $a$  and  $b$  are given parameters that provide the best agreement with the observed properties of this substance. The molar mass of oxygen is 32 g/mol.

### Problem 2. (7 points)

A ball of mass of 1 kg is thrown horizontally with a speed of 2 m/s from a height of 130 m. The force of air resistance is  $\vec{F} = -0,8\vec{v}$  N, where velocity is measured in meters per second. After some time, the rate of change of the ball's speed becomes negligibly small. Find:

2.1. The horizontal range of the motion.

2.2. The time of flight.

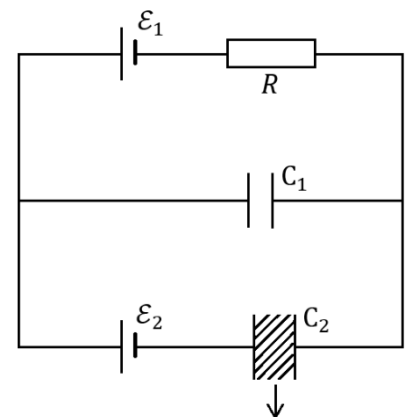
### Problem 3. (8 points).

In the circuit shown below:

$\mathcal{E}_1 = 2$  V,  $\mathcal{E}_2 = 5$  V,  $R = 100 \Omega$ ,  $C_1 = 6 \cdot 10^{-3}$  F,  $C_2 = 4 \cdot 10^{-3}$  F. Capacitor  $C_2$  consists of square metal plates with side length  $L = 0,6$  m, the space between which is completely filled with a dielectric of permittivity  $\epsilon = 5$ . The dielectric is slowly pulled out of capacitor  $C_2$  at a constant speed.

Assume that when the dielectric is pulled out by a distance  $x=0.1$  m, a constant voltage of 6 V is established across the capacitor with capacitance  $C_1$ .

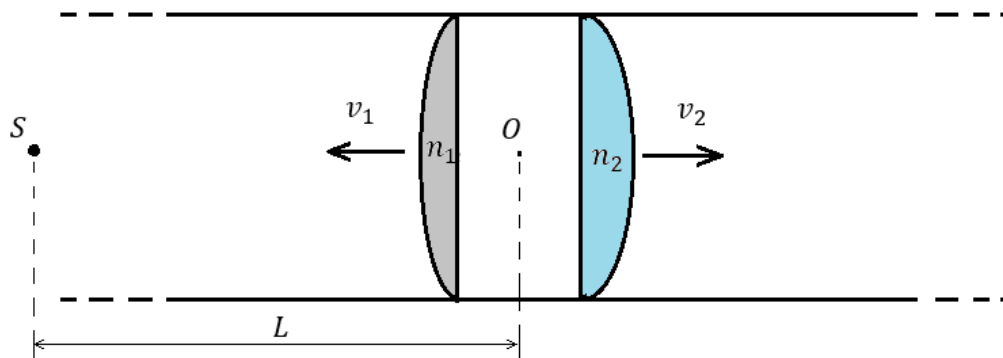
Based on this assumption, calculate:



- 3.1. The values of the currents flowing through the EMF sources  $\mathcal{E}_1$  and  $\mathcal{E}_2$ , and the direction of the current through  $\mathcal{E}_1$ .
- 3.2. The capacitance of capacitor  $C_2$  and the voltage across it when the dielectric has been withdrawn by  $x = 0,1$  м.
- 3.3. The charge on capacitor  $C_2$  when  $x = 0,1$  м.
- 3.4. The speed at which the dielectric plate is withdrawn.
- 3.5. How did the energy of capacitor  $C_2$  change from the moment a constant voltage was established until the dielectric was completely removed from the capacitor?

**Problem 4. (9 points)**

A long cylindrical vessel with two open ends, placed in vacuum, contains two thin plano-convex lenses made of glass with refractive indices  $n_1 = 1,33$  и  $n_2 = 1,5$ . The radius of curvature of the curved surface of the first lens is  $R_1 = 20$  cm, and that of the second lens is  $R_2 = 25$  cm. Initially, the two lenses are in contact with each other by their plane faces at point  $O$ . Then both lenses begin to move as shown in the figure, with constant speeds  $v_1 = 10$  cm/s and  $v_2 = 30$  cm/s respectively. A light source  $S$  is located at a distance  $L = 2$  m from point  $O$ .



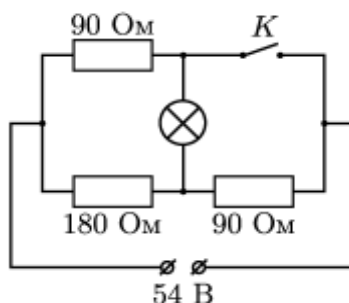
- 4.1 – At what distance from point  $O$  will the images of the light source  $S$  formed by each lens be located at time  $t = 5$  s?
- 4.2 – What will be the velocities of the images of the light source  $S$  formed by each lens at time  $t = 5$  s?
- 4.3 – Determine during which time interval the second image will be virtual. Consider the time interval from the start of motion up to 10 s.

### Methodological section (15 points)

*Find the errors in the solutions or in the reasoning of the problems. Identify and correct each error individually (without proposing your own method of solution!).*

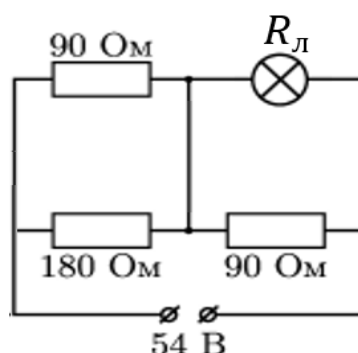
#### **Problem 1. (5 points)**

Determine the voltage  $U_L$  and the resistance  $R_L$  of the light bulb if the filament temperature does not change when the switch is closed.



*Student's solution:*

#### **1. Equivalent circuit with the switch open:**



Let  $U_L$  be the voltage across the light bulb, and  $R_L$  the resistance of the light bulb. The voltage across the section containing the parallel connection of the light bulb is:

$$U_1 = U_L + 90 \text{ Ohm} \cdot \frac{U_L}{90 \text{ Ohm}} = 54 \text{ V} \quad (1)$$

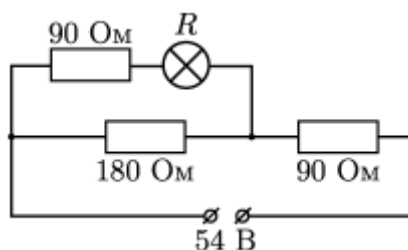
The current in this section is:

$$I_1 = \frac{U_L}{R_L} \quad (2)$$

The voltage across the entire circuit is:

$$U_1 = U_2 = 54 \text{ V} \quad (3)$$

#### **2. Equivalent circuit with the switch closed:**



The current flowing through the lamp and the resistor connected in parallel is:

$$I_1 = \frac{U_L}{R_L} + \frac{U_1}{90 \text{ Ом}} \quad (4)$$

The voltage across the entire circuit is:

$$U_L + 90 \frac{U_L}{R_L} + 90 \left( \frac{U_L}{R_L} + \frac{U_L + 90 \frac{U_L}{R_L}}{90} \right) = 54 \text{ V} \quad (5)$$

Solving the obtained equations:

$$U_L = 8 \text{ V}, R_L = 20 \text{ Ом}.$$

### Question-problem 2. (5 points)



A device is given consisting of a thermally insulated cylinder containing an ideal gas at temperature  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , with some initial pressure  $p_0$ , volume  $V_0$  and a movable piston. First, the gas is heated at constant pressure by  $t$ . Then, without changing the temperature, an additional pressure  $p_1$  is applied to the gas so as to bring it back to its original volume  $V_0$ . The gas is then cooled, keeping the pressure constant, to the initial temperature. To return the gas to its original volume, some pressure  $p_2$ . Compare  $p_1$  and  $p_2$ .

1. Heat the gas by  $t$  then its volume will be  $V_1 = V_0 \gamma t$ , where  $\gamma$  is the coefficient of volumetric expansion.

2. Let's apply the pressure  $p_1$  so that the volume becomes equal to the original one:

$$\begin{aligned} p_0 V_0 \gamma t &= (p_0 + p_1) V_0 \\ p_0 \gamma t &= p_0 + p_1 \\ p_1 &= p_0 (\gamma t - 1) \end{aligned}$$

3. Now let's cool the gas by  $t$ ; it returns to the original temperature  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , but its volume becomes  $V_2 = V_0 (1 - \gamma t)$ , and the pressure is  $(p_0 + p_1)$ .

4. To bring the gas back to its original volume, it is necessary to apply an additional pressure  $p_2$  to the piston. The gas volume is now  $V_0$ , and the pressure is  $(p_0 + p_1 + p_2)$

5. By Boyle–Mariotte's law:

$$(p_0 + p_1 + p_2) V_0 = p_0 V_0 (1 - \gamma t)$$

6. or, taking into account that  $p_1 = p_0 (\gamma t - 1)$  we obtain:

$$p_0 (\gamma t - 1) + p_0 + p_2 = p_0 - p_0 \gamma t$$

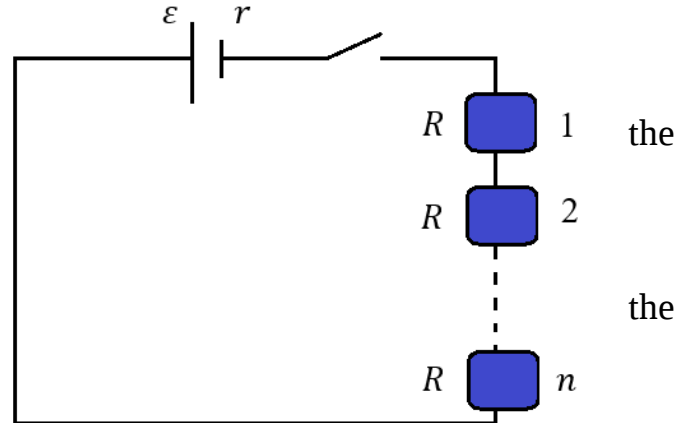
7. Hence,  $p_2 = p_0(1 + 2\gamma t)$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1 + 2\gamma t}{\gamma - 1}$$

### Reasoning problem 3. (5 points)

An electric accumulator is given;  $n$  is the number of cells containing acidified water. Determine how the efficiency depends on number of cells when current flows in the circuit.

Let  $\varepsilon$  be the EMF of the battery,  $n$  the number of cells,  $r$  the internal resistance of battery, and  $R$  the resistance of one cell.



1. The current in the circuit:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + nR}$$

2. For a fixed charge  $Q$  of the accumulator, the discharge time is:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{Q(r + nR)}{E}$$

3. Therefore, the mass of substance released at the electrodes is:

$$m = nkIt = nkQ$$

4. This quantity increases as  $n$  increases.

5. Then

$$\eta = \frac{nR}{r + nR}$$

But this seems to contradict the law of conservation of energy. What is the error in the reasoning, or are there errors in the solution?

