

**Non-profit joint stock company**  
**"Republican School of Physics and Mathematics"**  
**January 2024**

**VI International Olympiad in Physics. (Teachers' League.)**

**First Part (30 points)**

**Problem 1 (6 points)**

A car which is moving at a speed  $v_0$  then starts braking with constant acceleration until it stops, and then moves off without delay with the same acceleration. The total braking and accelerating time is  $t$ .

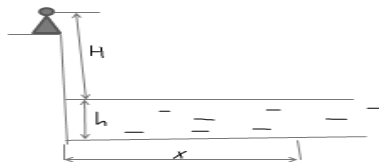
- What is the possible minimum total distance  $s$  traveled by the car during this motion?
- How long did the braking  $t_1$  last?
- What was the acceleration of the car?
- What will be the speed of the car  $v_1$  at the end of the journey of distance  $s$

**Problem 2 (7 points)**

There are two wet snowballs. The first ball with a mass of 100 g is thrown at a speed of 30 m/s at an angle of  $60^\circ$  making with the horizontal. When the velocity vector made  $45^\circ$  to the horizon, it collided with a second ball with a mass of 200 g, which fell from a certain height for 1.5 s. before impact. Calculate,

the amount of snow that will melt during the impact and how long after the impact they will reach to the ground. The impact is considered to be absolutely inelastic. Neglect air resistance.  $L=340 \text{ kJ/kg}$

**Problem 3 (8 points)**



A parachutist hovered over a small lake at a height of 6 m from its surface (from eye level). The depth of the lake is 2m. Calculate the apparent depth at a point  $x=3$  meters away from the person's plumb line to the bottom? The refractive index of water is given as 1.33.

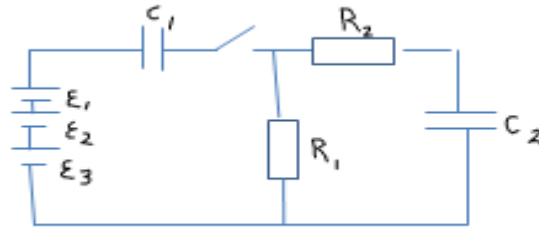
**Problem 4 (9 points)**

There are 2 moles of monatomic gas (the gas is considered ideal during the process) in an amount of. The gas is being cooled, while the molar heat capacity changes linearly by the equation  $C(T) = \alpha T$ , where  $\alpha = 3R/T_0$ . How much heat is transferred out in such a process when the temperature decreases from  $227^\circ\text{C}$  to  $27^\circ\text{C}$ ? What is the minimum work that the gas can do during cooling process? Until which temperature should it be cooled?

### Methodological Part (15 points).

This part consists of three parts, tasks that are not related to each other. In each task, you need to find errors for each item (if any), correct them and write the correct answer. Note: Your own method for solving the problem is not accepted.

#### Problem 1 (3 points)



The electrical circuit consists of three sources connected in series. The EMF of the first source is 60 V, the other two are 20 volts each, two capacitors  $C_1 = 40 \mu\text{F}$  and  $C_2 = 200 \mu\text{F}$ , two resistances are  $5 \Omega$  each. After closing the key, the current in the circuit stopped. Find the work of external forces of the current source, the energy on the capacitors. At the beginning the capacitors were not charged.

#### Solution:

1. After establishing equilibrium:

$$U_{1\max} = E/2, U_{2\max} = E/2 \quad (0,5 \text{ points})$$

2. The charge will pass through the battery:  $q = (C_1 + C_2) E$

(0,5 points)

3. Energy of the charged capacitors:

$$W_1 = C_1 E^2 / 4 = 40 \mu\text{F} * 100^2 \text{B}^2 / 4 = 0,1 \text{ J};$$

$$W_2 = C_2 E^2 / 4 = 200 \mu\text{F} * 100^2 \text{B}^2 / 4 = 0,5 \text{ J}$$

(1 point)

4. The work of external forces of the current source is proportional to the sum of energies on the capacitor:

$$W_1 + W_2 = 0,6 \text{ J}$$

(1 Point)

#### Problem 2 (5 points)

A load of mass  $m$  400 g, suspended on a spring of some length, performs vertical harmonic oscillations with amplitude  $A = 12 \text{ cm}$  and period  $T = 4 \text{ s}$ . Determine the spring force  $F$  at the moment when the load reaches the bottom point.

#### Solution:

We will measure the coordinate of the load relative to the suspension point of the spring, and direct the coordinate axis OX down.

- 1) Then the coordinate of the equilibrium position of the load  $x_0$  is determined from the condition:

$$mg = kx_0$$

(1 point)

- 2) Let's find the coordinate of the equilibrium position:

$$x_0 = mg/k$$

(1 point)

3) Let's find the coordinate at the bottom point:

$$x_{\max} = x_0 + A + l_0 = mg/k + l_0 + A \quad (1 \text{ point})$$

4) According to Hooke's law, the force of the spring is equal to:

$$F = kx_{\max} = mg + kl_0 + Ak \quad (1 \text{ point})$$

5) Let's find the force of the spring F:

Since the period of oscillation of the load is equal to  $T = 2\pi \left(\frac{m}{k}\right)^{1/2}$ ,  $k = 4\pi^2 m/T^2$

$$F = mg + 4\pi^2 m(x_0 + A)/T^2 = 4 + 4 \cdot (3,14)^2 \cdot 0,4 \cdot 0,42/16 = 4,4 \text{ N} \quad (1 \text{ point})$$

### Problem 3 (7 points)

An electron flies into a uniform magnetic field, where the magnitude of the field increases slowly. By what percentage will the radius of the electron's orbit change if the magnitude of the field increases by 6%.

**Solution:**

1) During one revolution, the electron rotates almost in a circle. Then during one revolution we can write:

$$ma_w = qvB; \quad mv/R = qvB; \quad R = m/eB \quad (1 \text{ point})$$

2) Since the Lorentz force is perpendicular to the speed of the electron, therefore it does no work. The change in the radius of the orbit will occur only due to the change in field B. The speed will remain constant. When an electron moves, an emf occurs

$$\varepsilon = 2\pi R E = \pi R^2 \cdot \Delta B \Delta t \Rightarrow E = \frac{R}{2} \Delta B \Delta t \quad (1 \text{ point})$$

3)  $\Delta t = 2\pi m/qB$  — the time it takes for an electron to orbit. The rotation of a charge in a magnetic field can be considered as a ring current, which creates its own magnetic field, direction in the same direction as the external one. Then the own magnetic field generated by the motion of the electron along the orbit will increase, and this will “strengthen” the growth of the external field. Thus, the electric field is directed towards the movement of the electron and slows it down (1 point)

4) The change in kinetic energy per revolution of the electron will be equal to the work of the electric field:  $\Delta E_k = (2\pi R)/q E = q\pi R^2 \cdot \Delta B \Delta t$  (1 point)

5) Substituting R and  $\Delta t$  here, we find  $\Delta E_k / \Delta t = E_k / B \cdot \Delta B \Delta t$  (1 point)

6) It follows that  $E_k/B = \text{increases}$ , or  $v^2/B = \text{increases}$ , and expressing the electron speed through the orbital radius R, we obtain  $BR^2$  increases. This is the desired expression, from which it follows that an increase in the magnetic field leads to a decrease in the radius of the electron's orbit. However, R does not change as  $B^{-1}$ , but as  $B^{-1/2}$ , that is, more slowly, which is caused by an increase in the electron speed with a simultaneous increase in the magnetic field (1 point)

7) Let the initial field be equal to B, after an increase of 6% it became equal to 1.06 B, then  $(R + \Delta R) / R = 1 / 1,06 \Rightarrow R + \Delta R \approx 0,943R$ . Which means  $\Delta R \approx -0,057R$ , that is, the electron orbital radius decreased approximately by 5,7% (1 point)

**Коммерциялық емес акционерлік қоғам**  
**«Республикалық физика-математика мектебі»**

**Қаңтар 2024 ж.**

**Физикадан VI Халықаралық олимпиада. Мұғалімдер лигасы.**

**Бірінші блок (30 балл)**

**1- есеп (6 балл)**

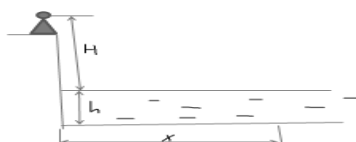
$v_0$  жылдамдықпен қозғалатын автомобиль алдымен толық тоқтағанша тұрақты үдеумен тежеледі, содан кейін сол үдеумен кідіріссіз қозғалады. Жалпы тежелу және үдемелі қозғалу уақыты  $t$ .

- а) Автомобильдің жүріп өтетін ең қысқа жолы  $s$  қандай болады?
- б) тежелу уақыты  $t_1$  неге тең?
- в) Машинаның үдеуі қандай болды?
- г)  $s$  жолдың соңында машинасының жылдамдығы  $v_1$  қандай болады

**2- есеп (7 балл)**

Білғал қардан жасалған екі кішкентай шарик берілген. Массасы 100 г бірінші шарик көкжиекке  $60^\circ$  бұрыш жасап 30 м/с жылдамдықпен лақтырылды. Жылдамдық векторы көкжиекке  $45^\circ$  болғанда, ол соқтығысуға дейін 1,5 с бойы белгілі бір биіктіктен еркін түскен, массасы 200 г екінші шарикпен соқтығысты. Соқтығыс кезінде қанша қар еріп үлгеретінін анықтаңыз. Соқтығыстан кейін қанша уақыттан соң олар жерге түседі? Соқтығысуды абсолютті серпімсіз деп қарастырыңыз. Ауа кедергісін ескермеңіз.  $\lambda=340000$  Дж/кг

**3- есеп (8 балл)**



Парашютші шағын көлдің бетінен 6 м биіктікте (көз деңгейі) қалқып тұр. Көлдің тереңдігі 2 м. Адам орналасқан жерінен тік төмен су түбіндегі нүктеден  $x=3$  метр қашықтықта көрінетін тереңдік қандай? Судың сыну көрсеткіші 1,33.

**4- есеп (9 балл)**

Зат мөлшері 2 моль инертті біратомды газ берілген (газды процесс кезінде идеал деп қарастырыңыз). Газ салқындатылады. Бұл процесте молярлық жылу сыйымдылық  $C(T) = \alpha T$  сызықтық заңына сәйкес өзгереді, мұндағы  $\alpha = 3R/T_0$ .

Температура  $227^\circ\text{C}$ -тан  $27^\circ\text{C}$ -қа дейін төмендегенде газ қанша жылу мөлшерін береді? Салқындату кезінде газ орындай алатын ең аз жұмыс қандай? Осы жағдайда оны қандай температураға дейін салқындату керек?

## Әдістемелік блок

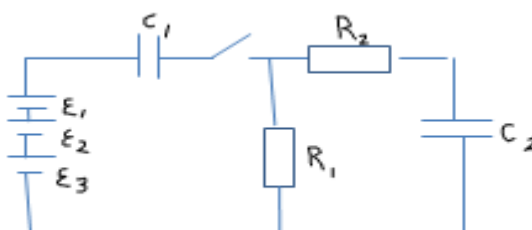
(15 балл)

Бұл блок бір-бірімен байланысы жоқ үш тапсырмалардан тұрады.

Әр тапсырмада әрбір тармақтарда қателерді (бар болса) тауып, оларды түзетіп, дұрыс жауапты жазу керек.

Ескерту: Өзіңіз басқа әдіспен шығарған есептің шешуі қабылданбайды.

### 1- есеп (3 балл)



Электр тізбегі тізбектей жалғанған үш ток көзінен тұрады. Бірінші көздің ЭҚК-і 60В, қалған екеуінікі әрқайсысы жиырма Вольт, екі конденсатор  $C_1 = 40$  мкФ және  $C_2 = 200$  мкФ, екі кедергі әрқайсысы 5 Ом. Кілтті тұйықтағаннан кейін тізбектегі ток тоқтады. Ток көзінің бөгде күштерінің жұмысын, конденсаторлардың энергиясын табыңыз. Бастапқыда конденсаторлар зарядталмаған.

#### Шешімі:

1. Тепе-теңдік орнағаннан кейін:

$$U_{1\text{мак}}=E/2, U_{2\text{мак}}=E/2$$

(0,5 балл)

2. Батарея арқылы өтетін заряд:  $q=(C_1 + C_2) E$

(0,5 балл)

3. Конденсаторының энергиясы:

$$W_1=C_1E^2/4=40\text{мкФ}\cdot 100^2\text{В}^2/4=0,1\text{Дж} ;$$

$$W_2= C_2E^2/4 =200\text{мкФ}\cdot 100^2\text{В}^2/4=0,5\text{ Дж}$$

(1 балл)

4.Ток көзінің бөгде күштерінің жұмысы конденсатордағы энергиялардың қосындысына пропорционал:

$$W_1+ W_2=0,6\text{ Дж}$$

(1 балл)

## 2- есеп (5 баллов)

Ұзындығы белгісіз серіппеге ілінген массасы  $m=400$  г жүк амплитудасы  $A=12$  см және периоды  $T = 4$  с болатын тік (вертикаль) гармоникалық тербелістерді жасайды. Жүк төменгі нүктеге жеткен кездегі  $F$  серіппенің серпімділік күшін анықтаңыз.

Шешімі:

Біз серіппенің ілу нүктесіне қатысты жүктің координатасын өлшейміз және ОХ координаталық осін төмен бағыттаймыз.

1) Сонда жүктің тепе-теңдік күйінің координатасы  $x_0$  шарты бойынша анықталады:

$$mg=kx_0 \quad (1 \text{ балл})$$

2) Тепе-теңдік күйінің координатасын табыңыз:

$$x_0 = mg/k \quad (1 \text{ балл})$$

3) Төменгі нүктедегі координатаны табыңыз:

$$x_{\max} = x_0 + A + l_0 = mg/k + l_0 + A \quad (1 \text{ балл})$$

4) Гук заңы бойынша серіппенің созылу күші мынаған тең:

$$F = kx_{\max} = mg + kl_0 + Ak \quad (1 \text{ балл})$$

5)  $F$  серіппенің серпімділік күшін табыңыз:

Жүктің тербеліс периоды  $T = 2\pi \left(\frac{m}{k}\right)^{1/2}$  болғандықтан,  $k = 4 \pi^2 m / T^2$

$$F = mg + 4 \pi^2 m (x_0 + A) / T^2 = 4 + 4 * (3,14)^2 * 0,4 * 0,42 / 16 = 4,4(\text{H}) \quad (1 \text{ балл})$$

## 3- есеп (7 баллов)

Электрон біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді, онда индукция біртіндеп, өте баяу өзгереді. Индукция 6%-ға өссе, электрон орбитасының радиусы қанша пайызға өзгереді?

Шешімі:

1) Бір айналым кезінде электрон траекториясы шеңберге өте жақын болады. Сонда бір айналым кезінде мынаны жаза аламыз:

$$ma_w = qvB; \quad mv/R = qvB; \quad R = m/eB \quad (1 \text{ балл})$$

2) Лоренц күші электронның жылдамдығына перпендикуляр болғандықтан, ол жұмыс істемейді. Орбита радиусының өзгеруі тек  $B$  индукциясының өзгеруіне байланысты болады. Жылдамдық тұрақты болып қалады. Электрон қозғалған кезде ЭҚК пайда болады

$$\text{ЭҚК} = 2\pi R E = \pi R^2 * \Delta B \Delta t \Rightarrow E = \frac{R}{2} \Delta B \Delta t \quad (1 \text{ балл})$$

3)  $\Delta t = 2\pi m q V$  — электронның орбитаны толық айналуына кететін уақыт. Магниттік өрістегі зарядтың айналуын сыртқымен бірдей бағытта өзіндік магнит өрісін жасайтын сақиналы ток ретінде қарастыруға болады. Сонда электронның орбита бойымен қозғалысы нәтижесінде пайда болатын меншікті магнит өрісі артады және бұл сыртқы өрістің өсуін «күшейді». Осылайша, электр өрісі электронның қозғалысына бағытталған және оны баяулатады **(1балл)**

4) Электронның бір айналымындағы кинетикалық энергиясының өзгеруі электр өрісінің жұмысына тең болады:  $\Delta E_{кин} = (2\pi R)/qE = q\pi R^2 \cdot \Delta V \Delta t$ . **(1 балл)**

5) Осында  $R$  және  $\Delta t$  қоямыз, сонда  $\Delta E_{кин} / \Delta t = E_{кин} / V \cdot \Delta V \Delta t$ . **(1 балл)**

6) Осыдан  $E_{кин}/V$  артады, немесе  $v^2/V$  артады, ал электрон жылдамдығын орбита радиусы  $R$  арқылы өрнектеп  $BR^2$  анықтаймыз, ол да артады. Бұл қажетті өрнек, одан магнит өрісінің артуы электрон орбитасының радиусының төмендеуіне әкеледі. Бірақ радиус  $R$  магниттік индукцияның  $V^{-1}$  дәрежесіне тәуелді емес,  $V^{-1/2}$  дәрежесіндегі тәуелділік бойынша өзгереді, яғни баяу, бұл магнит өрісінің бір мезгілде артуымен электрон жылдамдығының артуы туындайды.

**(1 балл)**

7) Бастапқы өріс  $V$  тең болсын, 6% өскеннен кейін ол 1,06  $V$ -ға тең болды, содан кейін  $(R + \Delta R) / R = 1 / 1,06 \Rightarrow R + \Delta R \approx 0,62R$ . Демек  $\Delta R \approx -0,38R$ , яғни электронның орбиталық радиусы шамамен 38% кеміді **(1 балл)**

**Некоммерческое акционерное общество  
«Республиканская физико-математическая школа»**

**Январь 2024 г.**

**VI Международная олимпиада по физике. Лига учителей.**

**Первый блок (30 баллов)**

**Задача. 1(6 баллов)**

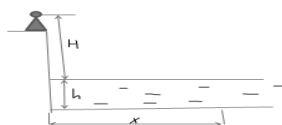
Автомобиль, движущийся со скоростью  $v_0$ , сначала тормозит с постоянным ускорением до остановки, а затем без задержки трогается с таким же ускорением. Общее время торможения и пуска равно  $t$ .

- а) Каков общий путь  $s$ , пройденный автомобилем, если это расстояние наименьшее из возможных?
- б) Сколько времени длилось торможение  $t_1$ ?
- в) Какова была величина ускорения автомобиля?
- г) Какова будет скорость автомобиля  $v_1$  в конце пути  $s$ ?

**Задача 2. (7 баллов)**

Имеются два шарика из мокрого снега. Первый шарик массой 100г бросили со скоростью 30м/с под углом  $60^\circ$  к горизонту. Когда вектор скорости составил  $45^\circ$  к горизонту он столкнулся со вторым шариком массой 200г, который падал с некоторой высоты в течении 1,5 с. до соударения. Найти сколько снега успеет растаять во время удара. Через какое время после удара они упадут на землю. Удар считать абсолютно неупругим. Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Задача 3. (8 баллов)**



Параютрист завис над небольшим озером на расстоянии 6 м от него до поверхности(от уровня глаз). Глубина озера 2м. Чему равна видимая глубина на расстоянии  $x=3$  метра от отвесной линии человека. Показатель преломления воды равен 1,33.

**Задача №4(9баллов)**

Имеется некоторый инертный одноатомный газ(газ во время процесса считать идеальным) в количестве 2 моль. Газ охлаждают. В данном процессе молярная теплоемкость меняется по линейному закону  $C(T)=\alpha T$ , где  $\alpha=3R/T_0$ .

Какое количество теплоты отдаст газ в таком процессе при уменьшении температуры от  $227^\circ\text{C}$  до  $27^\circ\text{C}$ ? Какую минимальную работу может совершить газ при охлаждении? До какой температуры его надо при этом охладить?

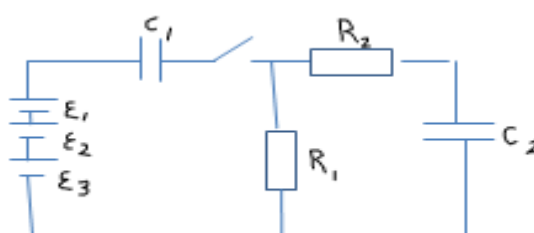


## Методический блок

(15 баллов).

Этот блок состоит из трех частей, не связанных друг с другом заданий. В каждом задании необходимо найти ошибки по каждому пункту (если они имеются), исправить их и написать правильный ответ. Примечание: Свой метод решения задачи не принимается

### Задача 1. (3 балла)



Электрическая цепь состоит из трех источников соединенных последовательно. ЭДС первого источника равна 60 В, два других по двадцать Вольт каждый, два конденсатора  $C_1 = 40$  мкФ и  $C_2 = 200$  мкФ, двух сопротивлений по 5 Ом каждый. После замыкания ключа ток в цепи прекратился. Найти работу сторонних сил источника тока, энергию на конденсаторах. В начале конденсаторы были не заряжены.

#### Решение:

1. После установления равновесия :  
 $U_{1\text{мак}} = E/2, U_{2\text{мак}} = E/2$  (0,5 балл)
2. Через батарею пройдет заряд:  $q = (C_1 + C_2) E$  (0,5 балл)
3. Энергия заряженного конденсатора  $C_1$  равна  $W$ :  
 $W_1 = C_1 E^2 / 4 = 40 \text{ мкФ} * 100^2 \text{ В}^2 / 4 = 0,1 \text{ Дж}$  ;  
 $W_2 = C_2 E^2 / 4 = 200 \text{ мкФ} * 100^2 \text{ В}^2 / 4 = 0,5 \text{ Дж}$  (1 балл)
4. Работа сторонних сил источника тока пропорциональна сумме энергий на конденсаторе:  
 $W_1 + W_2 = 0,6 \text{ Дж}$  (1 балл)

### Задача 2. (5 баллов)

Груз массой  $m$  400г., подвешенный на пружине некоторой длиной, совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой  $A=12$ см и периодом  $T=4$ с. Определите силу натяжения пружины  $F$  в тот момент, когда груз достигает нижней точки.

Решение:

Будем отсчитывать координату груза относительно точки подвеса пружины, координатную ось  $Ox$  направим вниз.

1). Тогда координата положения равновесия груза  $x_0$  определится из условия:

$$mg=kx_0 \quad (1 \text{ балл})$$

2) Найдем координату положения равновесия:

$$x_0= mg/k \quad (1 \text{ балл})$$

3) Найдем координату в нижней точке:

$$x_{\max}=x_0+A+l_0= mg/k+l_0+A \quad (1 \text{ балл})$$

4) По закону Гука сила растяжения пружины при этом равна:

$$F=kx_{\max}= mg+kl_0+Ak \quad (1 \text{ балл})$$

5) Найдем силу натяжения пружины  $F$ :

$$\text{Поскольку период колебаний груза равен } T= 2\pi \left(\frac{m}{k}\right)^{1/2}, k=4 \pi^2 m/T^2$$

$$F=mg+4 \pi^2 m(x_0+A)/T^2=4+4*(3,14)^2*0,4*0,42/16=4,4(\text{Н}) \quad (1\text{балл})$$

### Задача 3. (7 баллов)

Электрон влетает в однородное магнитное поле, где индукция постепенно, очень медленно изменяется. На сколько процентов изменится радиус орбиты электрона, если индукция увеличилась на 6%.

Решение:

1) В течение одного оборота электрон вращается почти по окружности. Тогда в течение одного оборота можем записать:

$$ma_w=qvB; mv/R=qvB; R=m/eB \quad (1\text{балл})$$

2) Так как сила Лоренца перпендикулярна скорости электрона поэтому не совершает работы. Изменение радиуса орбиты будет происходить только за счёт изменения индукции  $B$ . Скорость будет оставаться постоянной. При движении электрона возникает ЭДС

$$\mathcal{E}ДС = 2\pi R E = \pi R^2 \cdot \Delta B \Delta t \Rightarrow E = \frac{R}{2} \Delta B \Delta t \quad (1 \text{ балл})$$

3)  $\Delta t = 2\pi m q V$  — время обращения электрона по орбите. Вращение заряда в магнитном поле можно рассматривать как кольцевой ток, который создаёт собственное магнитное поле, направление в ту же сторону, что и внешнее. Тогда собственное магнитное поле, порождённое движением электрона по орбите, будет увеличиваться, и там самым «усиливает» рост внешнего поля. Таким образом, электрическое поле направлено в сторону движения электрона и замедляет его (1 балл)

4) Изменение кинетической энергии за один оборот электрона будет равно работе электрического поля:  $\Delta E_{кин} = (2\pi R)/qE = q\pi R^2 \cdot \Delta B \Delta t$ . (1 балл)

5) Подставив сюда  $R$  и  $\Delta t$ , найдём  $\Delta E_{кин} / \Delta t = E_{кин} / V \cdot \Delta B \Delta t$ . (1 балл)

6) Отсюда следует, что  $E_{кин}/V$  увеличивается, или  $v^2/V$  увеличивается, а выражая скорость электрона через радиус орбиты  $R$ , получим  $BR^2$  увеличивается. Это и есть искомое выражение, из которого следует, что увеличение магнитного поля приводит к уменьшению радиуса орбиты электрона. Однако  $R$  изменяется не как  $V^{-1}$ , а как  $V^{-1/2}$ , то есть медленнее, что вызвано увеличением скорости электрона с одновременным увеличением магнитного поля. (1 балл)

7) Пусть исходное поле было равно  $B$ , после увеличения на 6% оно стало равным  $1,06 B$ , тогда  $(R + \Delta R) / R = 1 / 1,06 \Rightarrow R + \Delta R \approx 0,62R$ . Значит  $\Delta R \approx -0,38R$ , то есть радиус орбиты электрона уменьшился приблизительно на 38% (1 балл)