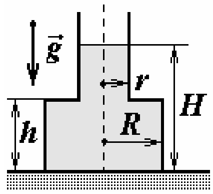
Условия задач. Теоретический тур.

Задание 1. «Сосуд Мюнхгаузена»

Согласно рассказам небезызвестного барона, он в трудную минуту смог поднять себя вместе с лошадью из трясины, дабы спастись от неминуемой гибели. «Правдивость» описанного физического явления мы обсудим попозже, а пока рассмотрим т.н. «сосуд Мюнхгаузена», который вполне может поднять «сам себя» при определенных условиях…



Сосуд без дна, изображенный на рисунке, состоит из двух вертикальных соосных цилиндров радиусами R = 10 см и r = 5,0 см, нижний из которых имеет высоту h = 8,0 см. Если сосуд поставить на гладко пригнанную горизонтальную поверхность, и аккуратно налить в него немного воды, то жидкость не будет выливаться из-под него вследствие отсутствия «щелей». Однако при дальнейшем доливании воды оказалось, что после достижении уровня H = 15 см жидкость начинает приподнимать сосуд и вытекать из-под него. Вычислите по этим данным массу m сосуда Мюнхгаузена. Плотность воды — $\rho = 1{,}0\cdot 10^3$ кг/м^3.

Задание 2. «Дробь Мюнхгаузена»

Согласно дошедшим до наших дней абсолютно правдивым рассказам барона, в старину для производства охотничьей дроби расплавленный свинец капали с высоких башен. Во время полета капля принимала сферическую форму под действием сил поверхностного натяжения и успевала остыть до температуры кристаллизации. Таким образом, на землю «с неба» (в буквальном смысле этого слова) сыпалась «готовая продукция»…

Надежное производство мелкой дроби радиусом r_o = 1,0 мм обеспечивалось при минимальной высоте башни h_1 = 50 м. При меньших высотах капли свинца не успевали отвердевать.

Во время войны с «крупным неприятелем» барону потребовалось наладить производство крупной дроби радиусом r_1 = 2,0 мм.

При какой минимальной высоте новой башни *H* это возможно?

Считайте, что капли жидкого свинца капают с башни при температуре плавления, а падают на землю полностью отвердевшими.

<u>Решите эту задачу в двух случаях.</u>

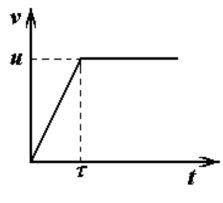
2.1. Пренебрегая силой сопротивления воздуха.

2.2. С учетом силы сопротивления воздуха.

Этот случай гораздо сложнее, поэтому немного вам поможем.

Описание падения тела с учетом сопротивления воздуха представляет собой достаточно сложную задачу: тело начинает двигаться с ускорением свободного падения; его скорость растет, а ускорение уменьшается; наконец, скорость тела достигает своего максимального значения, и далее тело движется равномерно с этой скоростью.

С хорошей точностью такое движение можно рассматривать как совокупность равноускоренного движения (с ускорением свободного падения), а по достижении скорости установившегося движения – движения равномерного.



На рисунке показана предлагаемая зависимость скорости от времени.

Наконец, еще несколько «подсказок».

1. *Количество теплоты Q, полученное (отданное) телом с площадью поверхности S за промежуток времени* Δt:

$$Q = \alpha (T - T_o) S \Delta t,$$

где $(T - T_o)$ *– разность температур тела и окружающей среды,* α *– коэффициент теплоотдачи, зависящий только от физических свойств контактирующих материалов.*

2. *Сила сопротивления воздуха зависит от скорости движения тела v и описывается формулой*

$$F_{сопр.} = C_x \frac{1}{2} \rho_o v^2 S_x,$$

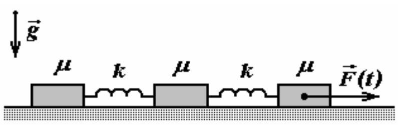
где S_x *– площадь поперечного сечения тела,* ρ_o *– плотность воздуха,* C_x *– безразмерный коэффициент лобового сопротивления, для тел сферической формы* $C_x \approx 0{,}60$.

3. *Объем шара радиуса r равен* $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, *площадь его поверхности* $S = 4\pi r^2$.

4. *Плотность воздуха* $\rho_o = 1{,}2 \frac{кг}{м^3}$, *плотность свинца* $\rho_1 = 11 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$.

Задание 3. «Храбрый Мюнхгаузен»

Согласно не дошедшим до наших дней военным рассказам широко известного барона, в одной из битв с крупным неприятелем он совершил подвиг, стащив из-под его крупного носа несколько ящиков с крупной дробью... В своих скромных рассказах барон уверял, что ему помогло прекрасное знание механики и мастерское умение передвигаться ползком, подобно черепахе…



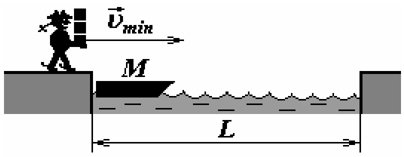
На горизонтальной поверхности расположены N = 3 одинаковых груза (ящика) массой m = 1,0 кг каждый, соединенные легкими горизонтальными пружинами с коэффициентом упругости k = 100 Н/м каждая (рис.). Расстояние между ящиками равно длине недеформированной пружины. К правому грузу прикладывают горизонтальную силу, достаточно медленно нарастающую со временем по закону $F(t) = \alpha t$, где α = 0,10 Н/м. Коэффициент трения грузов о поверхность – μ = 0,20. Ускорение свободного падения – g = 9,8 м/с^2.

Постройте график зависимости абсолютной деформации системы от времени $\Delta l(t)$.

Не забудьте рассчитать численные значения основных точек вашего графика.

Задание 4. «Находчивый Мюнхгаузен»

Согласно опять же не дошедшим до наших дней военным рассказам барона, неприятель своим крупным глазом все-таки заметил пропажу ящиков с крупной дробью и бросился в погоню за бесстрашным бароном. Для спасения ящиков и самого себя барон, не раздумывая, разогнался и со всего маху прыгнул в лодку без весел, стоявшую у берега! И здесь смелость и находчивость барона спасли ему жизнь, поскольку он благополучно причалил к противоположному берегу реки. Позже барон *уверял, что именно ящики с дробью помогли ему проделать этот невероятный трюк…*



Лодка без весел массы M = 100 кг плавает у берега (рис.). При движении лодки по воде на нее действует переменная сила сопротивления, зависящая от скорости движения $\vec{u}$ лодки по закону $\vec{F}_c = -\alpha \cdot \vec{u}$, где α = 15 Н·с/м – постоянный для данного случая коэффициент сопротивления. С какой минимальной горизонтальной скоростью $\vec{v}_{\min}$ должен прыгнуть с берега в лодку человек массой m = 70 кг для того, чтобы лодка смогла доскользить по воде до противоположного берега? Ширина реки L = 25 м, длина лодки l = 2,0 м.

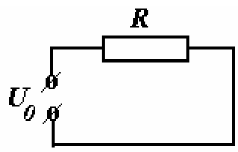
Задание 5. «Мультиметр Мюнхгаузена»

Согласно устоявшемуся и правдивому мнению барон навсегда останется символом борьбы за достижение невозможного, за преодоление с помощью смекалки стоящих перед нами ограничений, за решительное взятие немыслимых пределов и смелое расширение доступных диапазонов. По неоднократным признаниям самого барона (не будет же он нагло врать членам жюри республиканской олимпиады!) это и есть самый главный результат его скромных деяний…

Обычный амперметр с помощью нехитрых приспособлений можно превратить в т.н. *многопредельный многофункциональный электроизмерительный прибор*. Для этого необходимо, предварительно рассчитав величины сопротивления вспомогательных резисторов, определенным образом подсоединить их к амперметру. Считайте, что в вашем распоряжении имеется набор резисторов любых сопротивлений.

Электрическое сопротивление амперметра R_o = 1,0 Ом*, ток его максимального отклонения (максимальное значение тока, который может протекать через прибор)* $I_{\max}$ = 2,0 А*; цена деления амперметра (и минимальное значение тока, который можно измерить)* δI = 0,10 А.

5.1 «Амперметр – амперметр»



С помощью амперметра необходимо измерять силу тока в цепи, подключенной к источнику постоянного напряжения $U_о$ = 36 В.

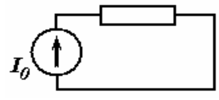
Нарисуйте схему подключения амперметра для выполнения поставленной задачи.

В каких пределах может изменяться сопротивление цепи R, чтобы в ней можно было измерить силу тока имеющимся амперметром?

Какова погрешность измерения тока, связанная с наличием сопротивления у амперметра?

Как «модифицировать» амперметр, чтобы им можно было измерять силу тока, в n = 5 раз превышающую $I_{\max}$?

5.2 «Амперметр – вольтметр»



С помощью амперметра необходимо измерять напряжение на резисторе, подключенного к источнику постоянного тока $I_о$ = 10 А. При таком источнике сила тока в цепи не зависит от сопротивления внешней цепи.

Как «модифицировать» амперметр, чтобы им можно было измерять напряжение на резисторе?

Нарисуйте схему подключения амперметра для выполнения поставленной задачи.

Установите связь между показаниями амперметра и измеряемым напряжением.

В каких пределах может изменяться сопротивление резистора R, чтобы на нем можно было измерить напряжение имеющимся амперметром?

5.3 «Амперметр – омметр»

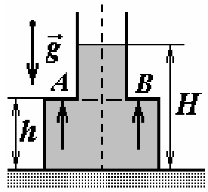
С помощью амперметра необходимо измерять сопротивления неизвестных резисторов. В вашем распоряжении имеется источник (батарейка) постоянного напряжения $U_o = 4{,}5$ В, которое не зависит от сопротивления внешней цепи.

Нарисуйте схему подключения амперметра для выполнения поставленной задачи.

Какие сопротивления можно измерять с помощью имеющегося прибора?

Установите связь между показаниями амперметра и измеряемым сопротивлением.

Решение задач.



Решение 1. Давление $p_{AB} = \rho g(H - h)$ столба жидкости на уровне AB (рис.) в сосуде согласно закону Паскаля передается по всем направлениям без изменений. Следовательно, сила давления $\vec{F}_Д$ жидкости на горизонтальные части A и B сосуда Мюнхгаузена площадью $S = \pi(R^2 - r^2)$ направлена вверх и равна

$$F_Д = \pi \rho g(H - h)(R^2 - r^2). \ (1)$$

Поскольку при такой высоте H жидкость приподнимает сосуд, то справедливо равенство

$$mg = \pi \rho g(H - h)(R^2 - r^2). \quad (2)$$

Из (2) получаем

$$m = \pi \rho (H - h)(R^2 - r^2). \quad (3)$$

Расчет дает

$$m = 1{,}6 \text{ кг}. \ (4)$$

Решение 2. **2.1.** Поскольку силой сопротивления воздуха можно пренебречь, то дробинка будет свободно падать с башни высотой h с ускорением свободного падения g без начальной скорости. Для этого ей потребуется время

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (1)$$

Поскольку температура свинца во время кристаллизации остается постоянной, то при радиусе дробинки r за время полета (см. подсказку) она отдаст в окружающее пространство количество теплоты

$$Q = \alpha(T - T_o)St = \alpha(T - T_o)4\pi r^2 t. \quad (2)$$

где T – температура плавления свинца, T_o – температура окружающей среды. С другой стороны это количество теплоты может быть найдено из условия полной кристаллизации свинца за время полета

$$Q = m\lambda = \rho V\lambda = \rho\frac{4}{3}\pi r^3\lambda, \quad (3)$$

где ρ и λ – соответственно плотность и удельная теплота кристаллизации (плавления) свинца.

Приравнивая выражения (2) и (3), с учетом (1) найдем

$$h = \frac{g}{18}\left(\frac{\rho\lambda}{\alpha(T-T_o)}\right)^2 r^2. \quad (4)$$

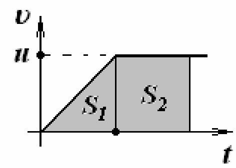
Повторяя подобные рассуждения для «крупной» дроби, получим

$$H = \frac{g}{18}\left(\frac{\rho\lambda}{\alpha(T-T_o)}\right)^2 R^2. \quad (5)$$

Разделив (5) на (4), окончательно найдем

$$H = \frac{R^2}{r^2}h = \left(\frac{R}{r}\right)^2 h = 200\text{ м} = 2{,}0\cdot 10^2\text{ м}. \quad (6)$$

2.2. При описании падения «дробинки» с учетом силы сопротивления воздуха, заметим, что ее скорость $v(t)$ будет расти с переменным ускорением до некоторого установившегося значения u, а далее падение будет равномерным.



Для оценки высоты башни H в этом случае примем, что характер зависимости скорости дробинки от времени $v(t)$ имеет вид, представленный на рис., т.е. состоит из участка равноускоренного движения длиной S_1 и участка равномерного движения длиной S_2. Соответственно $S_1 + S_2 = H$, (7)

где $S_1 = \frac{u^2}{2g}$, $S_2 = u(t - \frac{u}{g})$, t – искомое время падения с башни высотой H в рамках данной модели. С учетом этого получаем

$$t = \frac{H}{u} + \frac{u}{2g}. \quad (8)$$

По условию задачи за время полета t капля должна полностью кристаллизоваться. Из уравнения теплового баланса в этом случае имеем

$$\alpha(T-T_o)4\pi r^2 t = \alpha(T-T_o)4\pi r^2\left(\frac{H}{u}+\frac{u}{2g}\right) = m\lambda = \rho V\lambda = \rho\frac{4}{3}\pi r^3\lambda. \quad (9)$$

Из (9) найдем связь между высотой башни H и описанными параметрами

$$H = \frac{\rho\lambda r u}{3\alpha(T-T_o)} - \frac{u^2}{2g}. \quad (10)$$

Как следует из (10), одним из параметров, определяющих высоту башни является скорость u установившегося падения капли. Для ее нахождения воспользуемся II законом Ньютона, согласно которому в этом состоянии сила тяжести должна быть равна по модулю силе сопротивления воздуха

$$mg = \frac{C_x}{2}\rho_o u^2 \pi r^2. \quad (11)$$

Из (11) с учетом того, что масса капли

$$m = \rho V = \rho \frac{4}{3}\pi r^3$$

найдем

$$u = \sqrt{\frac{8}{3}\frac{\rho g r}{C_x \rho_o}}. \quad (12)$$

Используя выражения (10) – (12), для высоты башни H_2, необходимой для производства «крупной» дроби радиусом r_2, получим

$$H_2 = \frac{r_2 u_2}{r_1 u_1}\left(H_1 + \frac{u_1^2}{2g}\right) - \frac{u_2^2}{2g}. \quad (13)$$

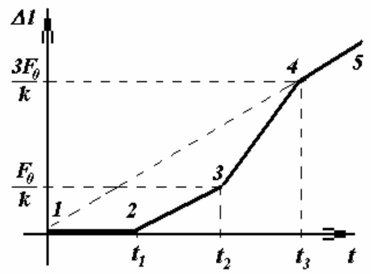
Вычисляя с помощью (12) скорости $u_1 = 19{,}9$ м/с и $u_2 = 28{,}3$ м/с и подставляя полученные значения в (14), окончательно найдем

$$H_2 = 1{,}6\cdot 10^2 \text{ м}. \ (14)$$

Из сравнения (14) и (6) видим, что численное значение для высоты башни стало меньше в случае «равноускоренно-равномерного» движения. Это нисколько не удивительно, т.к. сила сопротивления воздуха создает «парашютный эффект», увеличивая время падения капли с данной высоты (средняя скорость падения уменьшается). Таким образом, капля успевает кристаллизоваться и при падении с меньшей высоты, чем в случае только равноускоренного движения.

В заключение заметим, что выражение (10) не имеет смысла при больших значениях u, поскольку при этом высота башни H получается отрицательной. Это имеет очевидный физический смысл – в нашей модели высота башни изначально предполагалась достаточной для того, чтобы капля «успела» разогнаться до постоянной скорости u. В противном случае будет отсутствовать участок равномерного движения капли. Сформулируем критерий достаточности количественно

$$H \ge H^* = S_1. \quad (15)$$



Решение 3. После начала действия внешней силы правый груз m (следовательно, и вся система) некоторое время t_1 будет оставаться в покое, поскольку сила трения покоя между плоскостью и грузом сможет компенсировать внешнюю движущую силу $F(t)$.

Соответственно этот этап «покоя» (участок 1 – 2 на рис.) прекратится, когда внешняя сила достигнет максимального значения силы трения покоя $F_o = \mu mg$ (явлением застоя пренебрежем)

$$\alpha t_1 = \mu mg = F_o \Rightarrow t_1 = \frac{F_0}{\alpha} = 20 \ c. \quad (1)$$

Таким образом, спустя время t_1 после начала действия силы правый груз начнет медленно скользить по плоскости, растягивая при этом правую (первую) пружину.

Будем считать, что при подобном «медленном» скольжении груз в любой момент времени находится в равновесии под действием постоянной силы трения скольжения F_o и переменной силы упругости первой пружины $F_{y1}(t) = k\,\Delta l_1(t)$

$$\alpha t = F_o + k\Delta l_1(t) \Rightarrow \Delta l_1(t) = \frac{\alpha t - F_o}{k}. \quad (2)$$

Поскольку (2) представляет собой уравнение прямой, то на этом этапе (участок 2 – 3 на рис.) абсолютная деформация системы $\Delta l(t) = \Delta l_1(t)$ будет линейно увеличиваться со временем. Этот этап продолжится до момента времени t_2, когда в движение придет средний груз, т.е. когда сила упругости правой пружины превысит величину F_o

$$k\Delta l_1(t_2) = F_o \Rightarrow (2) \Rightarrow \alpha t_2 - F_o = F_o \Rightarrow t_2 = \frac{2F_0}{\alpha} = 39\ c. \quad (3)$$

Далее понятно, что после начала движения центрального груза начнет деформироваться и левая (вторая) пружина. Если ее абсолютная деформация $\Delta l_2(t)$, то из условия равновесия центрального груза получим (не будем забывать, что на центральный груз также действует постоянная сила трения скольжения F_o)

$$k\Delta l_2(t) + F_o = k\Delta l_1(t) \Rightarrow \Delta l_2(t) = \Delta l_1(t) - \frac{F_o}{k} = \frac{\alpha t - 2F_o}{k}. \quad (4)$$

Теперь уже абсолютная деформация системы будет равна сумме абсолютных деформаций каждой из пружин

$$\Delta l(t) = \Delta l_1(t) + \Delta l_2(t) = \{(3),(4)\} = \frac{2\alpha t - 3F_o}{k}. \quad (5)$$

Заметим, что (5) также представляет собой линейную зависимость (участок 3 – 4 на рис.), правда с иным (удвоенным) угловым коэффициентом.

Наконец в момент времени t_3, когда сила упругости левой (второй) пружины также превысит значение F_o, в движение придет и левый груз

$$k\Delta l_2(t_3) = F_o \Rightarrow t_3 = \frac{3F_0}{\alpha} = 59\ c. \quad (6)$$

Подчеркнем, что выражение (6) имеет очевидный физический смысл – в момент времени t_3 внешняя движущая сила станет равной максимальной силе трения покоя в системе. Таким образом, последний (левый) груз сдвинется с места через время $t^* = 59$ с.

Согласно построенному графику деформация системы в этот момент

$$\Delta l^* = \frac{3F_o}{k} = 5{,}9 \text{ см}.$$

Далее система будет двигаться как единое целое (т.е. ускорения всех грузов будут одинаковыми), и можно показать, что в этом случае ее деформация будет увеличиваться с течением времени по линейному закону (участок 4 – 5 на рис.)

$$\Delta l(t) = \Delta l_1(t) + \Delta l_2(t) = \frac{\alpha t}{k}. \quad (7)$$

Решение 4. Человек, прыгнув в лодку, сообщит ей некоторую начальную скорость v_o, которую можно найти из закона сохранения импульса

$$m v_{\min} = (M + m) v_o \Rightarrow v_o = \frac{m v_{\min}}{(M + m)}. \quad (1)$$

Далее лодка с человеком будет скользить по инерции, постепенно замедляя свое движение под действием силы сопротивления воды. Пусть в некоторый момент времени скорость лодки $v(t)$. Согласно II закону Ньютона для движения лодки (в проекции на горизонтальное направление) с учетом определений ускорения и скорости в этом случае можем записать

$$(M+m)a = (M+m)\frac{\Delta v}{\Delta t} = -\alpha v(t) = -\alpha\frac{\Delta x}{\Delta t}. \quad (2)$$

Умножая обе части равенства (2) на Δt, получим связь между приращением скорости Δv за некоторый малый промежуток времени Δt и приращением Δx ее координаты

$$\Delta \upsilon = -\frac{\alpha}{M+m}\Delta x. \quad (3)$$

Суммируя (3) по всем малым промежуткам, получим

$$\sum_i \Delta v_i = (0 - v_o) = -\frac{\alpha}{M+m}\sum_j \Delta x_j = -\frac{\alpha}{M+m}(x - x_o) \Rightarrow x - x_o = s = \frac{(M+m)v_o}{\alpha}. \quad (4).$$

Лодка коснется противоположного берега в результате скольжения, только в том случае, если пройдет путь

$$S = x - x_o = L - l \Rightarrow \upsilon_o = \frac{\alpha}{M+m}(L-l). \quad (5)$$

С учетом выражения (1) из (5) окончательно получаем

$$v_{\min} = \frac{\alpha(L-l)}{m} = 4{,}9\ \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (6)$$

Интересно, что в окончательное выражение (6) не вошла масса лодки M, хотя на первый взгляд, кажется, что она является существенным параметром в данной задаче. Данный факт можно объяснить так: тяжелая лодка легче скользит по воде, но ее тяжелее разогнать, тогда как легкую лодку можно лучше разогнать, но она быстро теряет свою скорость в воде.

Следовательно, с практической точки зрения для успешного путешествия без весел важно «запасти» как можно больший импульс еще при разгоне по берегу.

<u>Решение 5.</u> 5.1 «Амперметр – амперметр» Для измерения силы тока амперметр следует подключать в цепь *последовательно*. Минимальное $R_{\min}$ и максимальное $R_{\max}$ сопротивления цепи (т.е. суммарное сопротивление резистора и амперметра) должны соответствовать максимальному $I_{\max}$ и минимальному δI значениям силы тока

$$R_{\min} = \frac{U}{I_{\max}} = 18\text{ Ом},\ R_{\max} = \frac{U}{\delta I} = 0{,}36\text{ кОм}. \quad (1)$$

Соответственно пределы изменения сопротивления цепи в этом случае $R_{\min} \le R \le R_{\max}$.

До включения амперметра сила тока на участке цепи, подлежащая измерению, была $I_x = U/R$, где U – напряжение источника, R – сопротивление участка цепи. После включения в цепь амперметра сопротивлением R_A сила тока несколько уменьшится до значения

$$I = \frac{U}{R+R_A}. \quad (2)$$

Изменение силы тока ΔI по отношению к начальному значению тока в цепи и есть *абсолютная погрешность* измерения силы тока

$$\Delta I = I_x - I = \frac{U}{R} - \frac{U}{R+R_A} = \frac{R_A}{R(R+R_A)}U. \quad (3)$$

Для расчета по формуле (5) из возможного диапазона сопротивлений выберем $R_{\min}$, поскольку в этом случае погрешность максимальна

$$\Delta I = 0{,}011 = 1{,}1\ \%. \quad (4)$$

Для «модификации» амперметра с целью измерения токов, превышающих $I_{\max}$, следует пустить часть тока «в обход» амперметра, т.е. присоединить параллельно ему резистор (шунт) с известным электрическим сопротивлением $R_Ш$.

Тогда суммарную тока в цепи I найдем как

$$I = I_o + I_Ш, \quad (5)$$

где $I_Ш$ – сила тока через шунт.

С силу параллельного включения падение напряжения на амперметре $U_A = I_oR_A$ и шунте $U_Ш = I_ШR_Ш$ должны быть одинаковы. Из этого условия с учетом (1) получаем

$$I = nI_o = I_o + I_Ш = I_o\left(1 + \frac{R_A}{R_Ш}\right) \Rightarrow R_Ш = \frac{R_A}{n-1}. \quad (6)$$

В рассматриваемом случае

$$R_Ш = 0{,}25\ \text{Ом}. \quad (7)$$

5.2 «Амперметр – вольтметр» В случае использования источника тока, дающего фиксированное значение силы тока I_o независимо от сопротивления цепи, традиционное (последовательное) включение амперметра не даст желаемого результата – он будет показывать всегда одно и то же значение силы тока – I_o. Это можно понять, если учесть, что внутренне сопротивление источника тока равно бесконечности $r = \infty$. Следовательно, для измерения напряжения на резисторе ничего не остается, как очень аккуратно подключить амперметр *параллельно* резистору, хотя это и строжайше запрещено.

При таком подключении измеряемое напряжение U на резисторе совпадает с напряжением на амперметре

$$U = I_A R_A. \quad (8)$$

С учетом правила деления тока I_o на резисторах

$$I_A = \frac{R}{R+R_A}I_o;\ I_R = \frac{R_A}{R+R_A}I_o. \quad (9)$$

выражение (8) можем переписать в виде

$$U = I_A R_A = \frac{RR_A}{R+R_A}I_o. \quad (10)$$

Подставляя в (9) для I_A последовательно значения $I_{\max}$ и δI, найдем диапазон изменения сопротивления резистора $R_{\min} \le R \le R_{\max}$ для случая источника тока

$$R = \frac{I_A R_A}{I_0 - I_A}. \quad (11)$$

Соответственно

$$R_{\min} = R(I_A = \delta I) = 0{,}11\ \text{Ом}. \quad (12)$$

$$R_{\max} = R(I_A = I_{\max}) = 0{,}25\ \text{Ом}.\quad (13)$$

5.3 «Амперметр – омметр» Для измерения сопротивления R неизвестного резистора соединим последовательно батарейку, резистор и амперметр. Показания амперметра в этом случае (в соответствии с законом Ома)

$$I = I_A = \frac{U_o}{R + R_A}.\quad (14)$$

Из (14) выразим неизвестное сопротивление

$$R = \frac{U_o}{I_A} - R_A.\quad (15)$$

Для вычисления диапазона $R_{\min} \le R \le R_{\max}$ измеряемых сопротивлений в данном случае традиционно используем нижний δI, и верхний $I_{\max}$ пределы шкалы амперметра.

$$R_{\min} = R(I_A = I_{\max}) = 1{,}3\ \text{Ом}.\quad (16)$$

$$R_{\max} = R(I_A = \delta I) = 44\ \text{Ом}.\quad (17)$$

Следует заметить, что в данном случае категорически запрещено подключение амперметра параллельно резистору, т.к. ток через него составит $I = U / R_A = 45\ \text{А}$, что выведет прибор из строя.