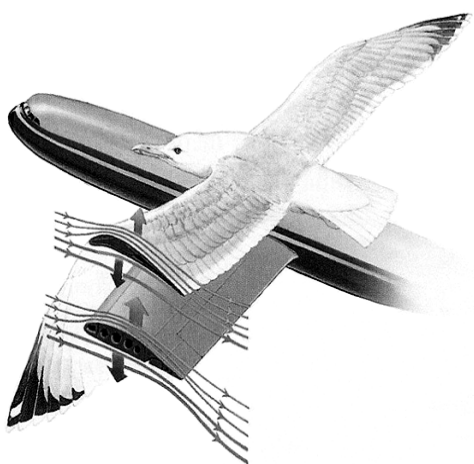




*А.И. Слободянюк  
Н.В. Козловский  
Л.Г. Маркович*



*Республиканская  
физическая  
олимпиада  
2009 года  
(заключительный этап)*

*Экспериментальный тур*

*Минск  
2009*

**УТВЕРЖДЕНО**  
Заместитель председателя оргкомитета  
Республиканской олимпиады

\_\_\_\_\_ **К.С. Фарино**

«\_\_\_» марта 2009 года



## *Республиканская физическая олимпиада 2009 год (Заключительный этап)*

### Экспериментальный тур

#### 9 класс.

1. Полный комплект состоит из двух заданий, на выполнение каждого из них отводится два с половиной часа. Ознакомьтесь сразу с условиями обеих задачами, что бы разумно спланировать свое время.

2. Ознакомьтесь с перечнем оборудования – проверьте его наличие и работоспособность. При отсутствии оборудования или сомнения в его работоспособности *немедленно* обращайтесь к представителям жюри.

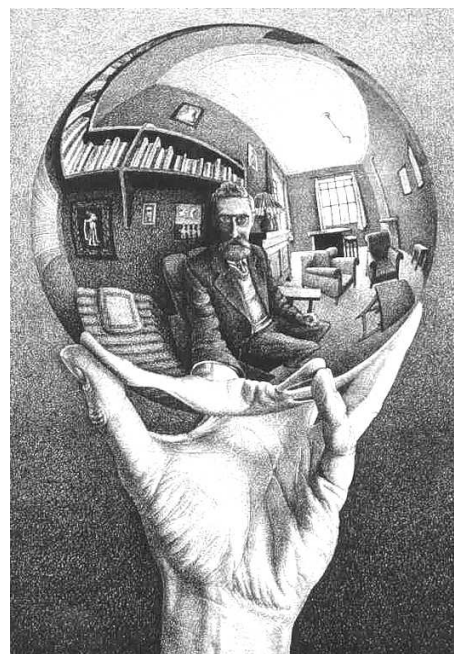
3. При оформлении работы каждую задачу и каждую ее часть начните с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика – вторая черновика. При недостатке бумаги – обращайтесь к оргкомитету, *обеспечим!*

4. Все графики необходимо строить на миллиметровой бумаге, которую вложите внутрь своей тетради. Не забудьте озаглавить каждый график (номер задачи, номер графика, вид зависимости).

5. Подписывать тетради, отдельные страницы и графики запрещается.

6. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.

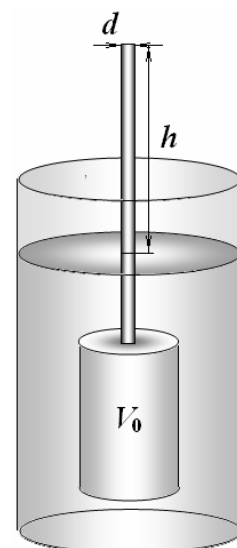


## Задание 1. Поплавок

**Приборы и оборудование:** Пузырек аптекарский, трубка для коктейля, соль, ложка чайная одноразовая, мензурка, стаканчик одноразовый, штангенциркуль, вода чистая, жидкость X (0,5 литра – она не ядовитая, но и не вкусная).

В данной работе вам необходимо изготовить прибор для измерения плотности жидкости (ареометра) и провести измерения зависимости плотности смеси жидкостей от ее концентрации.

Ареометр представляет собой цилиндрический сосуд (аптекарская мензурка) с солью внутри и тонкой трубкой, вертикально вставленной в его крышку.



### Часть 1. Теоретическая.

*Экспериментально удобнее измерять длину части трубки, находящейся над поверхностью жидкости  $h$ .*

**1.1** Запишите уравнение, связывающую объем пузырька  $V_0$ , его массу  $m$ , диаметр трубки  $d$ , длину трубки  $l$ , длину части трубки, находящейся над поверхностью жидкости  $h$  и плотность исследуемой жидкости  $\rho$ .

**1.2** Вам известна плотность (в данном случае чистой воды  $\rho_0 = 1,00 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ), длина части трубки над поверхностью жидкости  $h_0$ . В исследуемой жидкости измеренная длина свободной части трубки увеличилась на величину  $\Delta h$ . Получите формулу, позволяющую рассчитать плотность этой жидкости. Считайте, что плотность исследуемой жидкости отличается на малую величину  $\Delta \rho$ , кроме того, изменение объема погруженной части трубки можно считать значительно меньшим, чем объем пузырька.

### Часть 2. Конструкторская.

**2.1** Экспериментально подберите такое количество соли внутри пузырька, что бы в чистой воде глубина погружения ареометра была максимальна (но пузырек еще не утонул), а в жидкости X минимальна (но поддающаяся измерению). Нанесите деления (лучше через 0,5 см) на трубку. Укажите пределы глубины погружения, которые вам удалось добиться.

**2.2** Измерьте плотность жидкости X. Укажите результаты всех измерений, которые Вам пришлось провести, чтобы определить плотность жидкости X.

### Часть 3. Исследовательская.

Вам необходимо исследовать зависимость плотности раствора жидкости X в воде. Используйте следующее определение концентрации раствора

$$c_x = \frac{V_x}{V_x + V_{\text{воды}}} \quad (1)$$

где  $V_x$  - объем жидкости X,  $V_{\text{воды}}$  - объем чистой воды, налитые при приготовлении смеси. Согласно этому определению концентрация чистой воды равна 0, а концентрация жидкости X равна 1.

Для приготовления растворов известной концентрации рекомендуем использовать следующую методику. Удобно использовать порции жидкости постоянного объема (для этого используйте выданный вам одноразовый пластиковый стаканчик).

- Залейте в мензурку 10 порций чистой воды. Получите смесь концентрации 0. Проведите необходимые Вам измерения.

- Отлейте из мензурки одну порцию и залейте одну порцию жидкости X, проведите измерения;

- отлейте из мензурки одну порцию имеющейся смеси и опять добавьте одну порцию жидкости X,

- повторите эту процедуру 10 раз.

Покажите, что расчет концентраций смеси после  $k$  переливаний можно проводить последовательно по формуле

$$c_{Xk} = c_{Xk-1} + \frac{1 - c_{Xk-1}}{10}. \quad (2)$$

Теперь повторите описанную процедуру, но сначала залейте в мензурку 10 порций жидкости X, после этого отливайте одну порцию смеси, а добавляйте одну порцию чистой воды.

Получите формулу, описывающую изменение концентрации смеси в этом случае.

**3.1** Проведите измерения зависимости длины трубки над жидкостью  $h$  от концентрации смеси.

**3.2** Постройте график полученной зависимости изменения плотности смеси от его концентрации.

**3.3** Получите формулу, описывающую полученную зависимость. Удовлетворяют ли Ваши экспериментальные данные этой теоретической зависимости?

## Задание 2. Трение и равновесие.

**Приборы и оборудование:** Нитки, кнопки канцелярские, набор грузов  $6 \times 100 \text{ г}$ , линейка 40 см.

В данной работе вам предстоит исследовать условия равновесия тел и силу трения между нитью и пластмассовой канцелярской кнопкой.

Воткните две кнопки в торец крышки стола. К одной из них привяжите конец нити, перебросьте нить через вторую кнопку. Грузы необходимо прикреплять к концу нити и к середине между кнопками. Вам необходимо измерять высоты подъемов грузов, прикрепленных к концу нити и к ее середине.

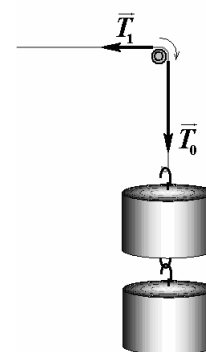
Обозначим высоту подъема груза  $m_0$  через  $x$ , расстояние от точки крепления грузов до стола  $h$ , расстояние между кнопками  $2l$ .

Когда нить переброшена через стержень, натяжения нити различны с различных сторон от стержня из-за наличия сил трения между нитью и поверхностью стержня. Можно показать, что отношение сил натяжения нитей при постоянном угле закрутки остается постоянным:

$$T_1 = \beta T_0, \quad (1)$$

где  $\beta$  - коэффициент, зависящий от коэффициента трения и угла закрутки.

Основной целью вашей работы является проверка данной формулы и определение коэффициента  $\beta$ .



### Теоретическое введение.

Для определения силы натяжения нити  $T_1$  необходимо рассмотреть геометрические соотношения между сторонами треугольника  $ABC$  и измеряемыми параметрами  $h$  (расстояние на которой опустился центральный груз) и  $x$  (высота подъема крайнего груза). Выразим из теоремы Пифагора длину отрезка  $|AD| = a$

$$a = \sqrt{l^2 - h^2}. \quad (1)$$

Теперь из подобия треугольников  $BCD$  и  $AGB$  следует

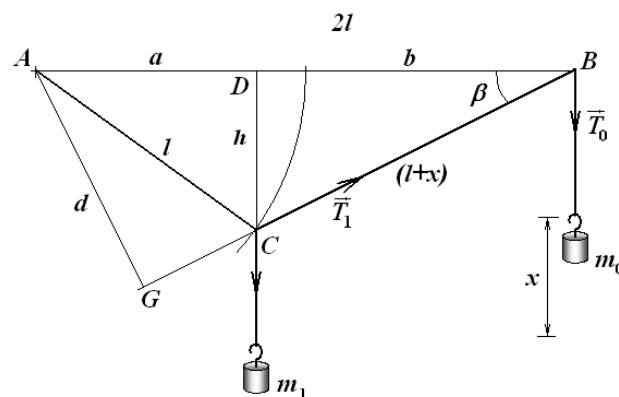
$$\frac{h}{l+x} = \frac{d}{2l}, \Rightarrow d = 2l \frac{h}{l+x} \quad (2)$$

Условие равновесия груза  $m_1$  имеет вид

$$m_1 g a = T_1 d, \quad (3)$$

из которого следует формула для расчета силы  $T_1$ :

$$T_1 = m_1 g \frac{a}{d} \quad (4)$$



## Измерения

Все измерения проводите в двух случаях: при опускании грузов  $m_0$  и при их подъеме:

- сначала поднимите груз  $m_0$  выше положения равновесия, затем, слегка придерживая его рукой, дайте ему медленно опуститься до положения равновесия;
- опустите груз  $m_0$  ниже положения равновесия, а затем, придерживая его рукой, дайте ему подняться до положения равновесия.

Результаты измерений и последующих расчетов удобно представить в таблице

$m_0$ , Г	$m_1$ , Г	подъем					опускание				
		$x$ , мм	$h$ , мм	$a$ , мм	$d$ , мм	$T_1$ , Н	$x$ , мм	$h$ , мм	$a$ , мм	$d$ , мм	$T_1$ , Н

**1.1** Прикрепите к середине нити один груз. Измерьте значения опускания грузов  $x$  и высоты подъема центрального груза  $h$  от числа грузов, подвешенных к концу нити. Измерения проведите при опускании и при подъеме грузов.

**1.2** Постройте графики полученных зависимостей  $x(m_0)$  и  $h(m_0)$  при подъеме и при опускании. Дайте им качественное объяснение.

**1.3** Постройте графики зависимостей силы натяжения  $T_1$  от силы натяжения  $T_0$  при подъеме и при опускании грузов. Подтверждают ли полученные результаты формулу (1)?

**1.4** Проведите аналогичные измерения для всевозможных отношений масс  $m_1$  и  $m_0$  (при этом всегда должно выполняться условие  $m_0 \geq m_1$ ). Постройте объединенные графики зависимостей силы натяжения  $T_1$  от силы натяжения  $T_0$  при подъеме и при опускании грузов. Используя полученные экспериментальные зависимости, определите значение коэффициента  $\beta$  в формуле (1). Сопоставятся ли полученные значения этого коэффициента, рассчитанные по двум зависимостям (при подъеме и опускании)?

**1.5** Представьте все полученные данные в виде одной, объединенной зависимости, укажите, как это можно сделать. Определите значение коэффициента  $\beta$  по этой объединенной зависимости. Оцените погрешность полученного результата.

**УТВЕРЖДЕНО**  
Заместитель председателя оргкомитета  
Республиканской олимпиады

\_\_\_\_\_ **К.С. Фарино**

«\_\_\_» марта 2009 года



## *Республиканская физическая олимпиада 2009 год (Заключительный этап)*

### Экспериментальный тур

#### **11 класс.**

1. Полный комплект состоит из двух заданий, на выполнение каждого из них отводится два с половиной часа. Ознакомьтесь сразу с условиями обеих задачами, что бы разумно спланировать свое время.

2. Ознакомьтесь с перечнем оборудования – проверьте его наличие и работоспособность. При отсутствии оборудования или сомнения в его работоспособности *немедленно* обращайтесь к представителям жюри.

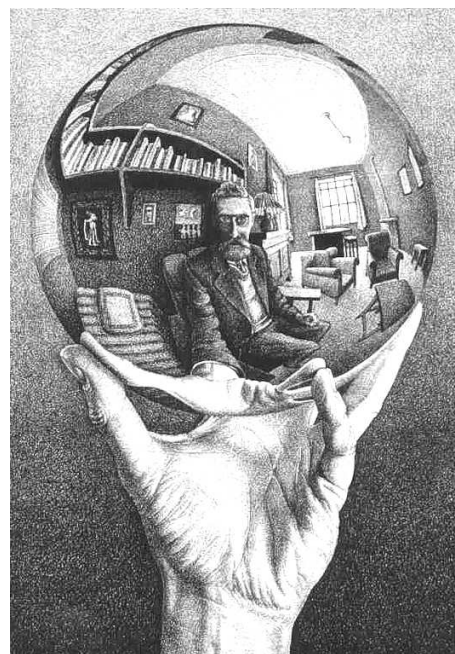
3. При оформлении работы каждую задачу и каждую ее часть начните с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика – вторая черновика. При недостатке бумаги – обращайтесь к оргкомитету, *обеспечим!*

4. Все графики необходимо строить на миллиметровой бумаге, которую вложите внутрь своей тетради. Не забудьте озаглавить каждый график (номер задачи, номер графика, вид зависимости).

5. Подписывать тетради, отдельные страницы и графики запрещается.

6. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.



## Задание 1. Лобовое сопротивление.

В данной работе вам необходимо измерить коэффициент лобового сопротивления движения гайки в вязкой жидкости.

**Приборы и оборудование.** Стержень с двумя гайками, желоб с вязкой жидкостью (жидкое мыло), линейка 40 см, секундомер, весы с разновесами, вилка одноразовая.

Для вас собрана установка: к потолку привязана длинная нить, к нижнему концу которой прикрепляется стержень, на который можно накручивать одинаковые гайки. Гайка может двигаться в желобе с вязкой жидкостью. С помощью линейки можно измерять положение стержня с гайкой в различные моменты времени, то есть изучать закон ее движения  $x(t)$ .

Будем считать, что сила сопротивления, действующая на гайку со стороны жидкости, пропорциональна скорости гайки

$$\vec{F}_{\text{сопр.}} = -\beta \vec{v}, \quad (1)$$

где  $\beta$  - коэффициент лобового сопротивления.

### Часть 1. Теоретическая модель.

1.1 Используя формулу (1) и предварительные наблюдения над движением гайки в жидкости, покажите, что закон движения гайки  $x(t)$  описывается уравнениями

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = -\gamma x \Leftrightarrow x(t) = x_0 \exp(-\gamma t), \quad (2)$$

где  $x_0$  - начальное отклонение положения гайки от положения равновесия.

1.2 Выразите значение коэффициента  $\gamma$  через параметры установки.

### Часть 2. Параметры установки.

2.1 Измерьте массы гайки и стержня.

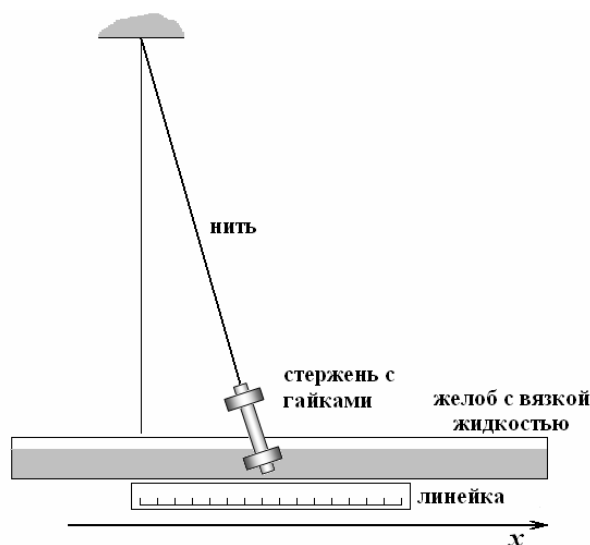
2.2 Для измерения длины нити используйте секундомер.

Измерьте период колебаний маятника (без вязкой жидкости). Рассчитайте длину маятника. Ускорение свободного падения считайте равным  $g = 9,81 \frac{M}{c^2}$ .

### Часть 3. Изучение закона движения.

3.1 Проведите измерения зависимости координаты гайки от времени  $x(t)$  в двух случаях с одной гайкой внизу и с двумя гайками (одна внизу стержня, вторая сверху).

Следите, чтобы гайка или стержень в процессе движения не касались дна и стенок желоба. При проведении измерений с двумя гайками, верхняя гайка должна находиться выше жидкости. Перед каждым измерением тщательно перемешивайте





*жидкость в желобе, так как на ней может образовываться поверхностная пленка, существенно влияющая на результаты измерений.*

**3.2** Постройте графики законов движения для двух случаев.

**3.3** Покажите, что результаты измерений закона движения соответствуют теоретической модели (2).

**3.4** Рассчитайте значения коэффициентов  $\gamma$  в формулах (2) для двух экспериментально изученных случаев.

Соответствуют ли полученные значения этих коэффициентов значениям измеренных масс?

#### **Часть 4. Итоги.**

**4.1** Рассчитайте коэффициент лобового сопротивления при движении гайки в вязкой жидкости.

## Задание 2. Сопротивление графита.

В данной работе вам необходимо изучить зависимость сопротивления графитового стержня от температуры. При относительно небольшом изменении температуры  $T$  можно считать, что данная зависимость линейна

$$R = R_0(1 - \alpha \Delta T). \quad (1)$$

Хрупкий графитовый стержень закрепляется с помощью двух стальных зажимов, которые также являются токоподводящими контактами. Теплопроводность стали высока, поэтому температуру зажимов можно считать постоянной и равной температуре стержня. Теплоемкостью стержня можно пренебречь.

Масса каждого зажима равна  $m = (1,5 \pm 0,1)g$  ;

Удельная теплоемкость стали  $c = 0,47 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ .

Также можно считать, что мощность передачи теплоты от стержня в окружающую среду пропорциональна разности температур стержня и воздуха

$$P = \beta \Delta T. \quad (2)$$

Целью работы является экспериментальная проверка соотношений (1) и (2) и определение температурного коэффициента сопротивления  $\alpha$ .

**Приборы и оборудование.** Графитовый стержень с зажимами-контактами в бутылке; источник питания (ЛИП); мультиметр цифровой; амперметр школьный; реостат 6 Ом; 2 резистора с известными сопротивлениями; секундомер; двухполюсной электрический ключ; соединительные провода.

На электрических схемах графитовый стержень будем обозначать, как показано на рис. 1.

графитовый стержень  
в бутылке

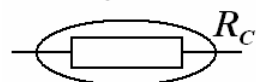


Рис. 1

**Доставать графит из бутылки запрещается – обязательно ломаете стержень!**

### Часть 1. Теоретическая.

**1.1** При протекании электрического тока по стержню, последний нагревается, что приводит к изменению его сопротивления. Если к стержню приложено постоянное напряжение, то по прошествии некоторого промежутка времени устанавливается стационарный режим, когда и сила тока, и температура стержня остаются постоянными.

Покажите, что в стационарном режиме протекания тока сопротивление стержня зависит от выделяющейся мощности по формуле

$$R_c = R_{c0}(1 - \gamma P). \quad (3)$$

Укажите физический смысл параметра  $\gamma$ . Выразите его через значения параметров  $\alpha$  и  $\beta$ .

**1.2** Стержень подключен к источнику постоянного напряжения, но температура стержня отличается от стационарной  $\bar{T}$ . Покажите, что изменение температуры со временем приближенно описывается уравнением

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = -\frac{1}{\tau}(T - \bar{T}). \quad (4)$$

где  $\tau$  - характерное время установления равновесия. Выразите значение этого параметра через параметры  $\alpha$ ,  $\beta$  и характеристики стержня с зажимами. Получите формулу для расчета температурного коэффициента сопротивления  $\alpha$ .

*Решением уравнения (4) является функция (вам доказывать это не требуется)*

$$(T - \bar{T}) = (T - \bar{T})_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (5)$$

## Часть 2. Стационарный режим.

**2.1** Используя имеющееся оборудование, измерьте зависимость силы тока через графитовый стержень от приложенного к нему напряжения. Измерения проведите «в двух направлениях»:

- при увеличении напряжения от минимального до максимального значения (нагревание);
- при уменьшении напряжения от максимального до минимального значений (остывание).

*Так как при протекании тока температура стержня изменяется, то перед каждым снятием показаний следует выждать не менее 30-40 секунд. Следите, чтобы показания мультиметра стабилизировались после изменения приложенного напряжения.*

Напоминаем: один из критериев оценивания – диапазон изменения измеряемых параметров, стремитесь сделать его максимально широким. Не забудьте привести принципиальную электрическую схему регулировки напряжения, использованную вами при измерениях.

Для повышения точности измерения используйте мультиметр как для измерения силы тока через стержень, так и для измерения напряжения на нем. Для этого рекомендуем использовать следующую измерительную схему (рис. 2), позволяющую простым переключением ключа измерять напряжение, как на графитовом стержне, так и на резисторе с известным сопротивлением.

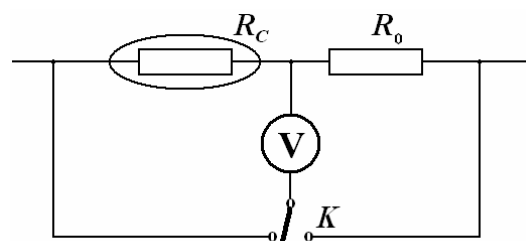


Рис.2

**Использовать мультиметр в качестве амперметра или омметра не рекомендуется (Made in China).**

**Школьный амперметр используйте в качестве индикатора наличия тока в цепи и для предварительных измерений.**

Укажите диапазон мультиметра, на котором проводились измерения. Укажите, какое сопротивление Вы использовали в качестве  $R_0$ .

**1.2** Постройте график полученной вольтамперной характеристики графитового стержня. Качественно объясните полученную зависимость.

**1.3** Постройте график зависимости сопротивления графитового стержня  $R_C$ , от мощности теплоты  $P$ , выделяющейся на нем при прохождении электрического тока. Выделите линейные участки на полученных экспериментальных зависимостях. Рассчитайте сопротивление стержня при комнатной температуре  $R_{C0}$  и численное значение параметра  $\gamma$ . Не забудьте об оценке погрешности!

### Часть 3. Остывание.

Для измерения малых изменений сопротивления предпочтительнее использовать мостовую схему (рис. 3). Ключ может находиться в двух положениях:

1 - режим измерений;

2 – режим разогрева.

Изменяя положение движка реостата, можно добиться того, чтобы напряжение на вольтметре было равно нулю (или близко к нему), в этом случае мост называется сбалансированным. В качестве резистора  $R_0$  возьмите резистор с меньшим сопротивлением, он упрощает балансировку моста.

При изменении сопротивления графита  $R_C$  напряжение на вольтметре становится отличным от нуля. Можно показать (вам этого делать не требуется), что напряжение на вольтметре в этом случае пропорционально изменению сопротивления графитового стержня.

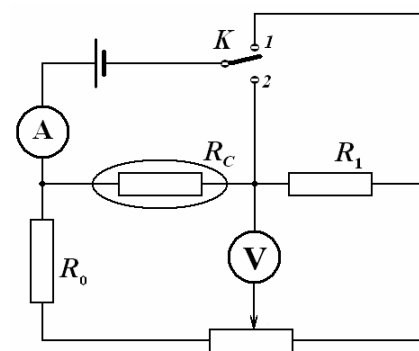


Рис.3

**3.1** Не разогревая стержень переключите ключ в режим измерений (положение 1). С помощью движка реостата добейтесь, чтобы показания мультиметра были близки к нулю (как можно точнее).

Переключив ключ в положение 2, разогрейте стержень (выждав не менее 1 минуты). После этого быстро переключите ключ в положение 1 и проведите измерения зависимости показаний вольтметра от времени.

Укажите диапазон мультиметра, на котором проводились измерения.

Подсказка. Не удивляйтесь, если показания вольтметра не стремятся к начальному значению, полученному при балансировке моста – примите, как неизбежность!

**3.2** Постройте график полученной зависимости, дайте ему качественное объяснение.

**3.3** Проверьте выполнимость законов (4) –(5). Определите с максимально возможной точностью значение характерного времени установления теплового равновесия  $\tau$ . Не забудьте об оценке погрешности!

### Часть 4. Итоги.

**4.1** Используя полученные экспериментальные данные, оцените (без оценки погрешности) значение температурного коэффициента сопротивления графита  $\alpha$ .

**4.2** Оцените, на сколько градусов нагревался графитовый стержень (максимальный нагрев) в ваших измерениях.