

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени В.П. Астафьева»**

Институт математики, физики и информатики  
Кафедра физики  
Специальность 050203.65 «Физика» с дополнительной специальностью  
050202.65 «Информатика»

ДОПУСКАЮ К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой физики

---

«\_\_\_» июня 2015г

Выпускная квалификационная работа

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ТУРЫ В ФИЗИЧЕСКИХ ОЛИМПИАДАХ  
ШКОЛЬНИКОВ.**

Выполнил студент группы 58  
А.О. Яковлева \_\_\_\_\_  
Форма обучения очная

Научный руководитель:  
кандидат физико-математических наук, доцент  
В.А. Орлов \_\_\_\_\_  
Рецензент:  
кандидат технических наук, доцент  
С.В. Бортновский \_\_\_\_\_

Красноярск 2015

Содержание:

I. История олимпиадного движения .....	3
II. Содержание экспериментальных заданий .....	10
III. Экспериментальная олимпиадная часть в профильной школе .....	39
IV. Заключение .....	59
V. Список литературы .....	60

## Введение

Предметное олимпиадное движение школьников было всегда популярно и находило поддержку в обществе. Ученик-олимпиец пользовался особым уважением, имел преимущества при получении высшего образования. Отрадно заметить, что репутация предметных олимпиад, особенно олимпиад по физике, остается незапятнанной на протяжении многих десятилетий.

К сожалению, все чаще участие в предметных олимпиадах становится самоцелью и детей целенаправленно готовят к соревнованиям даже в ущерб образовательному процессу. Вместе с тем, имеются целые педагогические школы, который нашли очень разумный компромисс и достаточно успешны не только в соревнованиях, но и в подготовке массового ученика.

Конечно, качественное методическое обеспечение факультативных занятий по подготовке в предметным соревнованиям – большая редкость. Очень часто учитель ограничивается нарисовыванием расчетных задач и не уделяет внимание задачам качественным и экспериментальным. Вместе с тем, соревнования по физике не мыслимы без экспериментального тура, где дети демонстрируют свои прикладные умения, смекалку, терпение... К такого рода заданиям так же требуется подготовка ученика, которая хлопотнее, чем решение задач у доски. Действительно, необходимо подобрать оборудование, научить ребенка с ним обращаться, а это невозможно сделать за время эпизодических факультативных занятий. Для этого требуется системность. Да и квалификация учителя, наличие времени для подготовки таких занятий – немаловажные факторы. Таким образом очевидна **актуальность работы**, направленной на искоренение перекоса при подготовке олимпийцев в “теоретическую” сторону.

Промежуточной **целью** в повышении качества естественнонаучного образования и коррекции профориентации в сторону инженерных специальностей мы считаем достижение разумного баланса между теоретической и экспериментальной подготовкой учеников.

Мы считаем, что первой помощью учителю в организации экспериментальной подготовки учеников может быть подготовка обширной подборки олимпиадных экспериментальных заданий с возможными решениями и подробным описанием оборудования.

Таким образом **главная задача** настоящей работы: создание задачника-решебника экспериментальных заданий олимпиадного уровня, который школьный учитель сможет использовать при подготовке своих учеников к участию в олимпиадах по физике разного уровня.

## I. ИСТОРИЯ ОЛИМПИАДНОГО ДВИЖЕНИЯ.

Олимпиада — распространенная форма работы с одаренными детьми. Трудно найти район или город страны, где не проводятся предметные олимпиады школьников. Сложность и оригинальность задач требует обдуманного подхода, при подготовке участника олимпиады на всех этапах.

Почему такая форма работы необходима, и олимпиадное движение должно получить максимальное распространение? Выпускной экзамен по физике не является обязательным, это приводит к большому снижению знаний по этому предмету у выпускников школ. Важность физико-инженерного образования - обучение физике максимально большого числа учеников. Участие в олимпиадах играет большую роль в воспитании молодых людей. Это является поддержкой учителя, источником его идей и примером для подражания.

Олимпиады школьников в нашей стране имеют богатую историю. История школьных физических олимпиад началась в 1938 году. Первая олимпиада школьников была проведена в феврале 1962 года по предложению Московского физико-технического института. В ней приняло участие больше 6500 школьников из 58 городов и поселков. Олимпиада проводилась в один тур, во время студенческих зимних каникул, студентами и аспирантами в родных городах. Всю работу по созданию и организации олимпиады возглавлял комитет ВЛКСМ физтеха. В этом же году учеными Сибирского отделения АН СССР была проведена первая Всесибирская олимпиада учащихся средних школ. В 1963 году выездную олимпиаду школьников провел Московский государственный университет. В этой олимпиаде приняли участие школьники европейской части СССР и республик Закавказья. Олимпиады МФТИ и МГУ были

физико-математические. С 1964 года начали проводиться единые Всероссийские олимпиады. Организацию их проведения взяло на себя Министерство просвещения РСФСР. Эти олимпиады получили название Всероссийских физико-математических олимпиад. На их заключительные туры приглашались также команды всех союзных республик.

Всесоюзные олимпиады школьников по физике, математике и химии начали проводиться с 1967 года (Всесоюзные олимпиады). Начиная с XI Всесоюзной олимпиады в план соревнований по физике были включены не только вычислительные, но и экспериментальные задачи.

К середине 70-х годов XX века сложились принципы проведения Всесоюзных олимпиад. В этот период в организации олимпиад начали участвовать не только инициативные вузы, но и государственные органы: Министерство просвещения СССР, министерства просвещения союзных республик и другие. Это был огромный шаг вперед, показывающий значение олимпиады на государственном уровне. При Министерстве просвещения СССР был создан Центральный оргкомитет Всесоюзных олимпиад по математике, физике и химии. Первым председателем Центрального оргкомитета был академик И. К. Кикоин, который внес огромный вклад в олимпиадное движение в нашей стране. С 1988 года Центральный оргкомитет возглавляет член-корр. РАН, ректор Московского физико-технического института Н. В. Карлов. Для проведения Всесоюзных олимпиад и создания методических материалов при Центральном оргкомитете были организованы Методические комиссии по предметам, которыми руководили ученые и профессора вузов.

Всесоюзные олимпиады проводились до начала 90-х годов XX в. Последняя XXVI олимпиада по физике была проведена в 1992 году на базе Московского физико-технического института (г. Долгопрудный). В действительности это была уже Всероссийская олимпиада, хотя

официально она называлась Межреспубликанской. . В мае 1992 года в Госкомитете РФ по народному образованию было принято решение проводить Всероссийские олимпиады на тех же принципах, что и Всесоюзные олимпиады. Таким образом, проводимая Всероссийская олимпиада по физике стала продолжением Всесоюзной олимпиады.

На последний, финальный, Всероссийский, этап олимпиады отбираются школьники, которые показали лучшие результаты на предыдущих этапах. До 2008 года проводился федеральный окружной этап (ранее называвшийся зональным) в 7 округах: Северо-западный регион, Центральный, Приволжский, Уральский, Сибирский, Дальневосточный, Южный, а также в Москве и Санкт-Петербурге.

Московская олимпиада школьников по физике имеет много обычаев, традиций. В течение многих лет в жюри работали известные учёные и преподаватели физического факультета МГУ — С. Э. Хайкин, Г. С. Ландсберг, С. Г. Калашников, А. Б. Млодзеевский, С. П. Стрелков, В. И. Иверонова, С. Т. Конобеевский, В. С. Фурсов, К. Ф. Теодорчик, И. А. Яковлев, Д. В. Сивухин, Э. И. Адирович, Б. И. Спасский, М. П. Шаскольская, И. А. Эльцин, В. Г. Зубов, В. П. Шальнов, Г. А. Бендриков, Б. Б. Буховцев, В. В. Керженцев, Г. Я. Мякишев, В. И. Григорьев, В. Д. Кривченков, Г. Е. Пустовалов, В. К. Петерсон, В. А. Погожев и другие. В проведении первых олимпиад принимали участие многие студенты и аспиранты МГУ - М. М. Бонгард-Полонский, М. Е. Герценштейн, Н. Н. Константинов, Е. А. Либерман, Дж. М. Мышкис, М. И. Подгорецкий, А. Г. Свешников, А. И. Старобинский, И. М. Тернов, Р. В. Хохлов. Многие из них потом стали известными учёными и преподавателями. За последние 25 лет, в жюри олимпиады работали несколько десятков преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов физического факультета МГУ и ряда московских вузов. Это А. В. Андрианов, К. С. Бедов, А. И.

Буздин, К. С. Ванаг, С.Д. Варламов, М. П. Виноградов, Е. А. Вишнякова, Д. Ю. Григорьев, К. В. Дмитриев, А. Р. Зильберман, В.И. Зинковский, Р. Ю. Компанец, С. С. Кротов, А. К. Кулыгин, Д. А. Купцов, В. О. Милицын, О. Ю. Овчинников, В. К. Петерсон, В. А. Погожев, И. Ю. Потеряйко, В. В. Птушенко, Г. Е. Пустовалов, М. Ю. Ромашка, С. Б. Рыжиков, А. В. Селиверстов, А. И. Семёнов, М. В. Семёнов, Р. А. Сеннов, П. В. Синило, Ю.В. Старокуров, О. Ю. Шведов, А. А. Якута.

В последнее время в организации олимпиады принимают участие учителя из регионов. Их уровень профессионализма очень высок. Члены оргкомитета и методической комиссии олимпиады С. Д. Варламов, М. Ю. Замятнин, М. Л. Карманов, О. Ю. Шведов включены в состав методической комиссии по физике Всероссийской олимпиады.

Победители Всероссийской олимпиады школьников представляют Россию на разных международных олимпиадах. Самой крупной и важной является International Physics Olympiad (IPhO). Можно сказать, что IPhO – это аналог спортивных Олимпийских игр.

На IPhO, и на других международных олимпиадах российские школьники показывают стабильные, высокие результаты и всегда в призовых местах.

Отбор участников от России проводится в форме учебно-соревновательных сборов. Сборы участников в команду России на Международную физическую олимпиаду, так же служат для отбора и подготовки школьников для участия в IPhO.

На первые летние учебно-тренировочные сборы приглашаются победители 10 класса Всероссийской олимпиады школьников по физике. По их результатам отбираются 16 человек, которые приглашаются на зимние учебные сборы. По результатам зимних сборов и Всероссийского тура олимпиады следующего года, отбирается 8 человек, которые приглашаются на последние летние сборы. По их результатам собирается

сборная команда России на IPhO, которая состоит из пяти человек. Трое остальных едут в качестве сборной команды России на Международную олимпиаду Туймаада в Якутию.

За годы проведения олимпиады ее победителями стали несколько тысяч учеников 7-х – 11-х классов, многие из них сейчас являются кандидатами и докторами наук и активно занимаются научной и педагогической деятельностью в разных высших учебных заведениях страны, в том числе в МГУ. Победители и призеры олимпиады обычно поступают на различные факультеты МГУ имени М.В.Ломоносова, в МФТИ и в другие ведущие физико-математические и технические вузы страны.

#### Список прошедших олимпиад:

	Год	Место проведения	Ко л-во стран	Первое место в неофициальном зачете	командном
	1967	Варшава, Польша	5		
	1968	Будапешт, Венгрия	8		
	1969	Брно, Чехословакия	8		
	1970	Москва, СССР	8	СССР	
	1971	София, Болгария	7		
	1972	Бухарест, Румыния	9		
	1974	Варшава, Польша	8		
	1975	Гюстров, ГДР	9	СССР	
	1976	Будапешт, Венгрия	10		
0	1977	Чехословакия	12		
1	1979	Москва, СССР	11	СССР	
2	1981	Варна, Болгария	14		
3	1982	Malente, ФРГ	17		
4	1983	Бухарест, Румыния	16		
5	1984	Сигтуна, Швеция	18		
6	1985	Югославия	20		

7	1986	Лондон, Великобритания	21	СССР
8	1987	Йена, ГДР	25	
9	1988	Австрия	27	
0	1989	Варшава, Польша	30	
1	1990	Голландия	32	
2	1991	Гавана, Куба	31	СССР
3	1992	Хельсинки, Финляндия	38	
4	1993	Вильямсбург, США	42	
5	1994	Пекин, Китай	46	
6	1995	Канберра, Австралия	51	
7	1996	Осло, Норвегия	55	
8	1997	Садбери, Канада	56	Россия
9	1998	Рейкьявик, Исландия	56	Китай
0	1999	Падуя, Италия	62	Россия
1	2000	Лестер, Великобритания	63	Китай
2	2001	Анталия, Турция	65	Россия
3	2002	Индонезия	66	Китай
4	2003	Тайбэй, Тайвань	54	США
5	2004	Пхохан-си, Южная Корея	71	Китай
6	2005	Саламанка, Испания	72	Тайвань
7	2006	Сингапур	93	Китай
8	2007	Исфахан, Иран	71	
9	2008	Ханой, Вьетнам	82	
0	2009	Мерида, Мексика	70	
	2010	Загреб, Хорватия		

1				
2	2011	Бангкок, Таиланд		
3	2012	Таллин, Эстония		
4	2013	Копенгаген	83	Китай
5	2014	Астана, Казахстан	82	Китай
6	2015	Индия		
7	2016	Швейцария		
8	2017	Молдова		

История олимпиадного движения в России дает возможность увидеть, как расставлялись приоритеты в системе образования России на протяжении более чем полувека. По ней можно увидеть, какие предметы и считались главными, а какие — второстепенными, какие новые предметы входили в жизнь, а какие теряли свои позиции, и с чем это было связано.

Менялись подходы к установлению содержания образования в средней школе, которое является заказом общества государству. История олимпиадного движения и показывает все эти подходы.

## II. СОДЕРЖАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ.

Уровень сложности олимпиадных задач по физике, направлен на достижение целей. Выявляются способные участники, которые отлично владеют школьной программой.

Задачи разделены по сложности и требуют для решения разного количества времени. Задачи затрагивают все разделы школьной программы. Они имеют комплексный характер, что позволяет ставить оценки в зависимости от подходов и навыков. Учащиеся должны сами определять законы физики, разбивать задачу на подзадачи, грамотно решать эти подзадачи, и затем обобщать решение самой задачи из подзадач. Чтобы удачно написать олимпиадную работу, учащемуся не требуются знания, которые выходят за пределы школьной программы, но, по статистике олимпиад, далеко не каждому школьнику это удается. Так как требуется творческий подход, логическое мышление, умение грамотно выполнить каждую часть решения. Умения, чтобы справиться с заданиями олимпиады приходят с опытом! Который формируется на отборочных этапах.

### **Экспериментальные задачи по механике.**

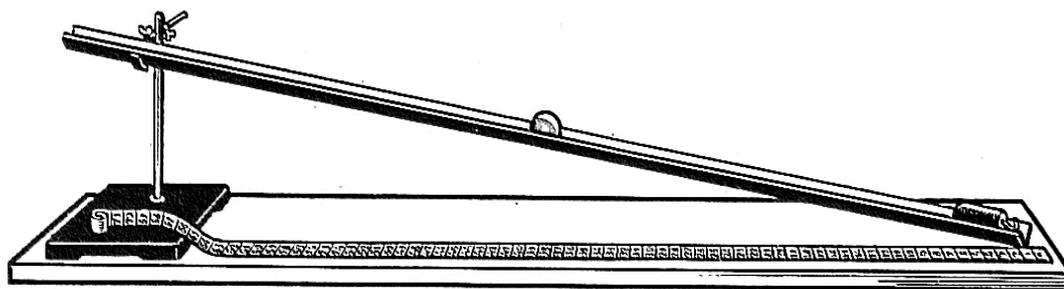
#### **1. Скатывающиеся шарики.**

Стальной шарик отпускают без начальной скорости на поверхность стального наклонного желоба, и он скатывается по желобу с некоторой высоты.

Задание: найдите зависимость скорости от высоты, с которой шарик скатывается. Считать  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Оборудование: стальные шарики 10–12 мм (3 шт), штатив, желоб прямой 1 м, насадка на желоб, которая изменяет траекторию движения шарика, листы бумаги (3 шт), копирка, линейка.

Решение: Закрепляем желоб на штативе с помощью креплений, в наклонном состоянии. К желобу присоединяется насадка, которая изменяет траекторию движения шарика. Наклон желоба такой, чтобы касательная, проведенная к желобу в конце участка, принимала горизонтальное положение. Конец участка размещается на некоторой высоте. Отпускаем шарики в различных местах наклонного участка желоба, без начальной скорости. Оторвавшись от желоба, шарик пролетает некоторое расстояние по горизонтали. С помощью листов бумаги и копирки отмечаем места падения шариков. Для каждой высоты шарик запускается несколько раз. Результаты усредняются. Скорость, полученная центром шарика при скатывании с высоты  $h$ , меньше величины  $\sqrt{2gh}$ . Связано это с тем, что шарик движется не поступательно, а катится, то есть его кинетическая энергия связана и с поступательным, и с вращательным движением.



## 2. Взвешивание.

Задание: измерьте массу железного блина.

Оборудование: динамометр 0–4 Н, капроновая нить длиной 1 м, линейка, штатив с кронштейнами, железный блин массой 1,2 кг.

Решение: Прикрепляем блин к концу нити, второй конец закрепляем на штативе. При этом блин не должен касаться стола, а висеть. Динамометром тянем нить горизонтально. С помощью линейки измеряем данные и находим тангенс угла  $\alpha$ , который и составляет наклонный участок нити с вертикалью. Если динамометр показывает значение силы  $F$ , то масса предмета равна  $M = (F/g) \operatorname{tg} \alpha$ .

### 3. Взвешивание.

Задание: измерьте массу маркера.

Оборудование: динамометр 0–4 Н, капроновая нить длиной 1 м, линейка, 2 штатива с кронштейнами, маркер массой 2 г.

Решение: Один конец нити закрепляем на одном штативе. Динамометр закрепляется на втором штативе. Подвешиваем маркер на середину нити. При этом маркер не должен касаться стола. Нить провисла. С помощью линейки измеряем данные и находим тангенс угла  $\alpha$ , который теперь составляют участки нити с горизонталью. Если динамометр показывает значение силы  $F$ , то масса предмета равна:  $M = 2(F/g) \operatorname{tg} \alpha$ .

### 4. Пластилин.

Задание: Найти массу и плотность кусочка пластилина.

Оборудование: 2 стаканчика, линейка, вода — по необходимости, «миллиметровая» бумага, нитка.

Способ решения: Вылепливаем из пластилина кубик. Измеряем его стороны с помощью линейки. Измерение внешних размеров кубика позволяет узнать объем воды, который она вытесняет, плавая.

5. Определить коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора.

Примечание: Капля жидкости удерживается на кончике иглы силой поверхностного натяжения  $F_{\text{пн}}$  пропорциональной коэффициенту. При увеличении размеров капли наступает момент, когда  $F_{\text{пн}}$  достигает своего максимального значения и при дальнейшем увеличении массы капли происходит ее отрыв. Поэтому масса капли пропорциональна.

Оборудование: Шприц, стакан с водой и мыльным раствором, пустой стакан. Известно, что для воды при комнатной температуре он равен  $= 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

Решение: наберите в шприц  $V = 1 \text{ мл}$  воды и определите сколько капель  $N$  вытечет при полном перемещении поршня. Искомый  $V_0 = V/N$

аналогично найдем объем капли мыльного раствора  $V_M$

Масса капли равна произведению ее объема на плотность жидкости  $m = \rho V$ . Плотности жидкостей практически одинаковые, поэтому отношение масс капель пропорционально отношению их объемов.

$$m_M/m_0 = V_M/V_0$$

а так как масса капли пропорциональна , то получим соотношение:

$$m_M/m_0 = \quad / \text{или} = V_M/V_0$$

6. Определить количество теплоты, выделяющееся при скольжении тела по наклонной плоскости без начальной скорости.

Оборудование: наклонная плоскость, тело известной массы, линейка, секундомер.

Решение: Количество теплоты, которое выделяется при соскальзывании тела с наклонной плоскости, будет равно  $Q = -\Delta E$ ,

где  $\Delta E$  – изменение механической энергии тела.

$$\Delta E = E_2 - E_1; E_2 = Ek_2 (Ep_2 = 0), \text{ а } E_1 = Ep_1 (Ek_1 = 0).$$

Таким образом,

$$Q = mgh - mv^2/2, (1)$$

где  $h$  – высота наклонной плоскости (измеряется линейкой), скорость тела у основания наклонной плоскости  $v = at$ .

Длина плоскости  $l = at^2/2$ , отсюда  $l = vt/2$ , т.е.

$$v = 2l/t. (2)$$

Длину  $l$  наклонной плоскости измеряем линейкой, а время движения тела по ней – секундомером. Подставляя значения скорости из формулы (2) в формулу (1), окончательно получим:

$$Q = m(gh - 2l^2/t^2).$$

#### 7. Определить массу водяной капли.

Оборудование: ведро с водой, сосуд с широким горлышком, несколько 10-копеечных монет (масса одной монеты 2 г), пипетка, мягкий карандаш.

Решение: Опускаем сосуд в ведро так, чтобы горлышко находилось над водой. Теперь наполняем сосуд монетами, пока он не начнет плавать в вертикальном положении. Поместим в сосуд еще одну-две монеты, и снаружи, карандашом отметим уровень воды. Вынимаем из сосуда одну монету, равновесие нарушается и сосуд немного всплывает. Добавляя из пипетки по каплям в сосуд воду и считая число капель (пусть оно равно  $n$ ), добьемся того, чтобы сосуд опустился до прежнего уровня. Масса воды  $m_B$ ,

добавляемой в сосуд, равна массе копейки  $m_k = 1$  г, Тогда масса одной капли будет равна

$$m = m_B/n = m_k/n.$$

Попробуйте это обосновать теоретически.

## 8. Игла

Приборы и оборудование: шприц с иглой, линейка, миллиметровая бумага, штатив с лапкой, стаканчик с водой.

Задание: определить диаметр (внутренний) иголки для шприца. Осторожно, не уколитесь!

Способ решения: Закрепляем линейку в штативе. Из шприца выдавливаем воду параллельно линейке, то есть струя направлена вертикально вверх.

Напрактиковавшись, добиваемся того, что капли взлетают на одну и ту же высоту. Зная объем воды в шприце, время выдавливания воды и высоту подъёма воды, находим поперечное сечение отверстия в игле. Так же можно найти скорость струи, зная высоту падения и дальность полёта по горизонтали, а затем, зная время, вычислить площадь поперечного сечения отверстия в игле.

## 9. Трение.

Оборудование: деревянный брусок, грузы массы 100 г — 2 шт., нить, миллиметровая бумага.

Задание: измерить коэффициент трения между поверхностью деревянного бруска и листом бумаги. Поверхность должна быть горизонтальной, без наклона!

Способ решения: Прикрепляем груз к середине нити. Один конец нити крепится к бруску. Часть нити между грузом (грузами) и бруском размещается параллельно столу. Поднимаем груз за второй конец нити и располагаем не над столом, а рядом с его краем. Теперь меняем угол наклона нити, добиваясь скольжения деревянного бруска. Угол наклона нити, при котором начинается скольжение, определяем с помощью «миллиметровой» бумаги.

#### 10. Центр масс.

Задание: найти расстояние от центра масс длинного круглого цилиндра до его оси симметрии. Наклонять стол нельзя!

Оборудование: цилиндр круглого сечения диаметром 5 см – 10 см и высотой 30 см – 40 см, «миллиметровая» бумага 0,4 м или мягкая рулетка 1 м. Цилиндр всё время должен находиться вблизи середины стола, край стола нельзя использовать!

Решение: Стоящий на столе цилиндр, толкаем в горизонтальном направлении. Выбираем точку приложения силы так, чтобы цилиндр перешел из горизонтального движения к опрокидыванию. Находим на цилиндре две точки, чтобы разность расстояний до нижнего основания была наибольшей, и затем находим центра масс.

#### 11. Гидростатическое взвешивание.

Задание: измерить плотности материалов, из которых сделаны два предмета произвольной формы.

Оборудование: две монеты из разных материалов, с маленькими отверстиями в них, тонкая нить - длиной 1м, стакан с водой, "миллиметровая" бумага, штатив с деревянной рейкой, ножницы, рейку от

штатива отделять запрещено. Поверхность стола считаем горизонтальной. Плотность воды известна: 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Способ решения: Отрезаем от нити два участка по 5-10 см и привязываем их к монетам, отверстия были сделаны заранее. Подвешиваем монеты к оставшемуся длинному участку нити так, чтобы он делился точками, в отношении 1:1:1. Свободные концы длинной нити крепим к рейке так, чтобы участки нити между точками крепления занимали горизонтальное положение и создавали углы в 45°. Один угол будет немного меньше, а другой - немного больше. Для точности используем "миллиметровую" бумагу, измеряя ею расстояние от стола до точки крепления. Миллиметровка прикрепляется к рейке параллельно плоскости, в которой находится нить (длинная). С помощью миллиметровки измеряем тангенсы углов, которые образуют нити с горизонталью. Следующим действием будет помещение монеты в стакан с водой так, чтобы монета была полностью погружена в воду, но не доставала до дна. Потом снова измеряются тангенсы углов и вычисляется их отношение ( $\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2}$ ). В таком положении монет, сила натяжения нити меньше  $mg$  на величину выталкивающей силы Архимеда. Одна из мер предосторожности, которая позволит не потерять точности при измерениях: следует опустить монету в воду так, чтобы на ней и на нити не было воздушных пузырьков.

## 12. Сила и деформация .

Задание: найти зависимость деформации теннисного шарика от его взаимодействия с жестким столом.

Оборудование: теннисные шарики (3 шт), копирка, штатив с креплениями, деревянная рейка длиной 1,5 м, бумажные салфетки, кусок мраморной полированной плиты, динамометр.

Примечание: Величина деформации характеризуется диаметром места соприкосновения стола и шарика. Копирка поможет зафиксировать результаты.

### **Экспериментальные задачи по молекулярной физике.**

#### **1. Вода и пар.**

Задание: Поставьте пластмассовый стакан калориметра доньшком вверх, затем поместите на него металлический стаканчик с кипятком! Нужно снять зависимость температуры остывающей воды от времени. Диапазон от 85 °С до 60 °С. Постройте график.

Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · К), удельная теплота испарения воды 2200 кДж/кг.

Оборудование: Калориметр — металлический и пластмассовый стаканчики; горячая вода; термометр; часы; нитки; миллиметровая бумага; кусочек фольги; штатив.

Способ решения: Стенки открытого металлического стаканчика хорошо проводят тепло, то есть при высокой температуре воды заметны потери теплоты. Они происходят как через стенки стаканчика, так и испарения воды сквозь открытую поверхность. Сначала регистрируем зависимость температуры воды от времени, с открытой поверхностью. Затем снимаем зависимость температуры от времени, с закрытой фольгой поверхностью. Обработав полученные графики, увидим общие тепловые потери, которые создаются испарением воды.

#### **2. Сосуды с газом.**

Задание: В коробке, прикреплённой к столу, — находится два сосуда, соединённых короткой трубкой. Один из них внутри ящика сообщается с атмосферой, из другого трубка выведена наружу. В одном из сосудов

находится поршень, который перемещается вдоль стенок сосуда без трения. Нужно найти объемы каждого из сосудов и нарисовать схему. Оборудование: Шприц на 20мл; пластиковая трубка с затычкой, которая нужна для изготовления манометра; баночка с зеленой жидкостью; зажим; тройник и резиновые муфты; «Чёрный ящик» с выходящей из него трубкой; метр; липкая лента.

Примечание: длинная пластиковая трубка использовалась в качестве сосуда с поршнем без трения и второй сосуд - резиновый шарик, в пластиковой коробочке с отверстиями в стенках для сообщения с атмосферой. Гибкие стенки резинового шарика играли роль поршня, который перемещается без трения вдоль стенок сосуда. Размеры были подобраны так, что когда шарик занимал всю коробочку, его резиновые стенки ещё не были растянуты.

Решение: Берем пластиковую трубку, затычку и зеленую жидкость. Изготавливаем из этого самодельный манометр. Кладем его на стол, вдоль метра. Вход манометра подключаем к одной из трёх трубочек. К двум другим трубочкам подключаем шприц и Чёрный Ящик, через короткие пластиковые трубки. Трубка со шприцом, дополнительно снабжается зажимом. Шприц можно отключать от трубки, заполнять воздухом или избавляться от воздуха путём перемещения поршня и опять подключаться к трубке. То есть можно изменять количество воздуха. Измерив количество воздуха, и регистрируя показания манометра, видим, что в некотором случае показания манометра не изменяются и отвечают равенству давлений внутри и снаружи. Отметив начальное положение, когда внутренний объём сосуда с поршнем равен нулю. Следом отмечаем момент, когда растёт давление внутри. Строим график зависимости показаний манометра от объёма. По наклонам участков определяем отношения объёмов сосудов в Чёрном ящике.

### 3. Измерение атмосферного давления .

Задание: измерить атмосферное давление.

Оборудование: термометр, тонкая стеклянная трубка длиной 15 см, открытая с одного конца и соединённая со стеклянным шариком с другого конца, пластиковая гибкая трубка длиной 1 м, пластиковый стакан с водой, мерная лента, горячая вода, липкая лента. Нужно измерить давление воздуха в помещении с максимально возможной точностью.

Способ решения: Часть 1. Нагреваем стеклянный шарик в горячей (83 °С) воде, затем открытый конец стеклянной трубки опускаем в воду. В результате охлаждения трубки и воздуха внутри неё до комнатной температуры (23 °С), вода втягивается в трубку. Размеры трубки и шарика такие, что стеклянная трубка целиком заполняется водой, а в шарик вода не попадает. Это позволяет найти отношение внутренних объёмов шарика и стеклянной трубки :  $(V_1 + V_2)T_{\text{комн}} = V_1(T_{\text{комн}} + 60^\circ)$ ;  $V_1 V_2 \approx 5$ .

Часть 2. С помощью нагрева и охлаждения шарика, поместим небольшой столбик воды внутрь стеклянной трубки. Он отделяет воздух внутри шарика и трубочки от воздуха снаружи. Начальный объём воздуха, равен:  $V_0 = V_1 + l L V_2$  . Здесь  $L$  —длина цилиндрического участка стеклянной трубки, а  $l$  — длина цилиндрической части, заполненной воздухом и присоединенной к шарикю. Получаем устройство для измерения давления. Изготавливаем вторую часть установки из пластиковой трубки и воды. Располагаем горизонтально пластиковую трубочку и заполняем водой на половину длины, так, чтобы вода находилась в середине трубки, а концы должны остаться пустыми. Измеряем длину столбика воды с помощью линейки. Затем один конец пластиковой трубочки соединяем с открытым концом стеклянной трубочки, в которой уже находится столбик воды. Если пластиковую трубку привести в вертикальное положение, то увеличим или уменьшим

давление воздуха в стеклянном шарике. Это вспомогательное давление, созданное в трубке столбом воды длиной  $h$ , равно  $\rho gh$ . Температура воздуха внутри шарика остаётся постоянной, поэтому давление  $P$  и объём  $V$  будут  $= \text{const}$ . Измерив перемещение столбика воды в трубке  $x$ , находим давления воздуха  $P_0$  в комнате.  $V_1 + 1 L V_2 P_0 = V_1 + 1 - x L V_2 (P_0 + \rho gh)$ .

#### 4. Теплоёмкость монеты.

Задание: измерить удельную теплоёмкость материала монеты 5 копеек массой 5 грамм.

Оборудование: термометр, горячая и холодная вода, цилиндрические стаканчики — стеклянный и алюминиевый, штатив, нить, миллиметровая бумага, монета— её масса 5 г, бумажные салфетки. В монете просверлено отверстие.

Решение: Нагревать воду с помощью монеты, перенося её из сосуда с горячей водой в сосуд с прохладной водой, лучше когда начальная температура прохладной воды будет близка к комнатной. Второй важный момент: нагревать нужно меньшее количество воды, массу которой можно узнать с большой точностью. Для этого подойдет алюминиевый стаканчик небольшого объёма. Его поперечное сечение меньше сечения стеклянного стакана, его масса и теплоёмкость тоже меньше величин, которые характеризуют стеклянный стакан. Диаметр монеты такой, что она свободно входит в стаканчик. Размеры стаканчика легко найти с помощью миллиметровки. Стаканчик с прохладной водой нужно заполнить до такого уровня, чтобы монета погружалась в стаканчик полностью. Воды в стаканчике должно быть столько, чтоб термометр полностью погружался под воду. Глубину воды в стаканчике можно найти с помощью полоски бумаги. Но при помощи бумаги возможна большая ошибка измерений. Другой способ измерения воды в стаканчике – с помощью рычажных

весов. В качестве рычага весов можно использовать согнутый в полоску лист бумаги в качестве опоры — карандаш. На таких весах можно уравновесить пустой стаканчик и вычислить его массу. Так как стакан алюминиевый, то можно сразу оценить его теплоёмкость  $C_{\text{стак}} = 3RM/\mu$  (закон Дюлонга и Пти) молярная масса алюминия  $\mu = 27$  г/моль. Затем монета передвигается на рычаге дальше от оси, а в стаканчик наливается вода в таком количестве, чтобы восстановить баланс весов. При таком способе измерений массы воды и массы стаканчика точность результата существенно выше. В стеклянный стакан с термометром наливается горячая вода и стакан укутывается бумажными салфетками, чтобы уменьшить теплообмен с окружающей средой. Когда показания термометра установились, его переносят в сосуд с прохладной водой. После охлаждения термометра он переносится в алюминиевый стаканчик. Перенос теплоты монетой циклическая, и каждый цикл включает в себя несколько действий: 1) Монета на нитке на 3–5 секунд помещается в сосуд с горячей водой. 2) Достаем монету и вытираем от капель воды, бумажной салфеткой. 3) Монета переносится в полиэтиленовый стаканчик и погружается в воду на несколько секунд. 4) Монета вынимается и опять вытирается салфеткой. Затем цикл будет повторяться и повторяться с 1 по 4. Вытирание монеты от капель уменьшит ошибки, которые связанные с дополнительной теплотой, передаваемой из стакана в стакан вместе с этими каплями, если от них не избавляться. Сосуды нужно поставить близко друг к другу, чтобы не терять времени. Первые переносы монеты и наблюдения за термометром показывают, что за один цикл не удаётся нагреть воду настолько, чтобы можно было измерить нагрев точно с помощью грубого термометра ( $0,5^\circ$ ). После 10–12 переносов вода в алюминиевом стаканчике нагревается на 5–6 градусов. Теперь термометр опять переносится в сосуд с горячей водой, а затем в стакан с остывшей горячей водой. Измеряется температура. При вычислениях перенесённого

количества теплоты нужно брать среднее значение температуры. Осталось найти теплоёмкость самого термометра.

#### 5. Измерение удельной теплоёмкости.

Оборудование: термометр, стаканчики, «миллиметровая» бумага, штатив, нитка, горячая и холодная вода, часы. Груз — гирька известной массы, несколько одинаковых монет по 5 копеек.

Задание: измерить удельные теплоёмкости груза и монетки.

Решение: Для нахождения массы воды в стаканчике можно определить объём с помощью миллиметровки. В крышке стаканчика имеется отверстие для термометра. Если наблюдать за изменением температуры в закрытом стаканчике, то скорость изменения температуры внутри зависит от теплоёмкости содержимого стаканчика. Стоит заправить стаканчик одинаковым количеством горячей воды, и провести несколько наблюдений. При этом в стаканчик можно помещать гирьку или пятаки. При заданной разнице температур внутри и снаружи мощность тепловых потерь будет одинакова, по разнице времени охлаждения стаканчика с содержимым можно вычислить избыточную теплоёмкость, которая появилась в результате помещения в стаканчик груза или монет.

#### 6. Измерение удельной теплоты плавления .

Оборудование: термометры — электронный и обычный, стаканчики для горячей и холодной воды, кусок сплава (олово и свинец), спички, шприц без иглы, «миллиметровая» бумага, штатив с лапкой. Масса 10 см проволоки составляет 1,35 г.

Задание: Определить удельную теплоту плавления  $\lambda$  (Дж/грамм) выданного образца сплава. Температура плавления сплава 230 °С.

Решение: Нужно заранее определить, какую часть проволоки расплавить на первом этапе (0,35 г), а какую на контрольном (1 г). С помощью шприца в стаканчик наливается известное количество воды, например 5 мл. Термометром измеряем температуру воды в стаканчике. Удерживаем над стаканом кусочек тонкой проволоки. Снизу к проволоке подносится горящая спичка. Как только сплав нагреется до температуры плавления, капелька сплава падает в воду. Расплавив несколько сантиметров проволоки, нужно выяснить, насколько поднялась температура воды. После расплавления около 3 см проволоки температура воды поднимется всего на  $1^{\circ}$ . Отсюда следует, что, на контрольном этапе нужно использовать электронный термометр, кроме этого, нужно взять меньшее количество воды, чтобы температура воды поднялась повыше. Всего при 1 мл воды для нагрева и остывания в ней 7 см расплавленной проволоки температура должна бы подняться на  $10^{\circ}$ , но она поднимается примерно на  $8^{\circ}$ . Это значит, что нужно учитывать теплоёмкость стаканчика.

## 7. Свеча.

Измерить удельную теплоту сгорания свечи.

Оборудование: свеча, спички, стаканчик алюминиевый, вода — при необходимости, термометр, весы и разновес, штатив, нитки, «миллиметровая» бумага.

Решение: Нужно измерить массу стаканчика и воды, массу свечи, и повышение температуры при нагреве. Теплоёмкость алюминиевого стаканчика находится по известной формуле Дюлонга и Пти. Миллиметровку или бумагу можно использовать для теплоизоляции боковой поверхности стаканчика и для изготовления крышки на стакан с нагретой водой. Желательно использовать воду с начальной температурой меньшей

температуры окружающего воздуха, чтобы тепловые потери при нагреве были меньше.

#### 8. Легкоплавкое вещество.

Задание: Нужно измерить температуру плавления, удельную теплоту плавления и удельную теплоёмкость выданного слитка.

Оборудование: слиток легкоплавкого вещества массой 5 грамм, стаканчики, горячая, холодная вода, термометр, часы миллиметровка, нить, штатив. Здесь используется сплав Вуда, температура плавления этого сплава ниже  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то есть он плавится в горячей, не кипящей, воде.

Решение: Чтобы найти температуры плавления, нужно использовать временную зависимость температуры воды в стаканчике, вместе с водой где находится изучаемый сплав. Стаканчик со сплавом должен быть теплоизолирован сверху, чтобы не сказывалось испарение воды. Скорость потерь теплоты, связанная с испарением, сильно зависит от температуры, а потери теплоты через дно и стенки не сильно зависят. Мощность этих потерь пропорциональна разности температур сосуда и окружающей среды. В этом эксперименте нужно перемешивать воду, чтобы во всём сосуде она была одинаковой. Для определения удельной теплоёмкости вещества, можно взять известные способы, которые описаны в решениях других задач.

### **Экспериментальные задачи по электричеству.**

#### 1. Измерение сопротивлений.

Оборудование: батарейка, один миллиамперметр, соединительные провода и три резистора. Один с точно известным сопротивлением  $200\text{ }\Omega$ , а сопротивления двух других резисторов неизвестны.

Найти: неизвестные сопротивления двух резисторов.

Решение: Подключаем измерительный прибор к батарееке,. Получается ожидаемый результат — прибор зашкаливает. Его нужно подключать последовательно с резисторами. Способов подключения резисторов множество, можно подключить к батарееке сначала только известный резистор и последовательно с ним измерительный прибор. Затем к батарееке подключаются оставшиеся резисторы (с неизвестными сопротивлениями). Для одного из них ток, показываемый прибором, мал, а для другого очень большой, что прибор зашкаливает. Этот резистор позволяет нам проверить, насколько хороша батареика. Для такой проверки, измерительный прибор подключается к батарееке, через резистор с известным сопротивлением, а потом уже к выводам батарееки подключается резистор с неизвестным малым сопротивлением. Результат — показания прибора не изменяются, это значит что внутреннее сопротивление батарееки много меньше сопротивления любого из резисторов. Теперь подключаем этот резистор параллельно прибору и последовательно с резистором (с известным сопротивлением) — показания прибора уменьшаются в 2 раза. Это значит, что сопротивление этого резистора примерно равно внутреннему сопротивлению прибора. Подключаем теперь этот резистор последовательно в цепь с прибором и резистором с известным сопротивлением. Показания прибора уменьшаются на 8%. Отсюда следует, что сопротивление резистора и внутреннее сопротивление прибора равны примерно по 20 Ом. Для измерения сопротивления третьего резистора подключаем его параллельно резистору с известным сопротивлением. Показания прибора вырастают примерно на 10%. Это значит, что неизвестное сопротивление равно примерно 2000 Ом.

## 2. Звезда.

В «чёрном ящике» с тремя выводами находятся три резистора.

Оборудование: чёрный ящик с тремя выводами, вольтметр, миллиамперметр, батарейка с неизвестными параметрами, неизвестный резистор. Приборы показывают правильные значения измеряемых величин, но они не идеальны, то есть внутреннее сопротивление миллиамперметра не равно нулю, а внутреннее сопротивление вольтметра не бесконечно большое.

Определить сопротивления резисторов, если схема их соединения «звезда» .

Решение: Собираем цепь из последовательно соединенных вольтметра, амперметра и батареи. Сила тока в такой цепи есть:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{r + \frac{V_1}{I_1}}, \quad (1)$$

здесь  $\varepsilon$  - ЭДС батареи,  $r$  - сумма внутренних сопротивлений амперметра и батареи,  $V_1$  - показания вольтметра.

Теперь параллельно вольтметру подключаем неизвестный резистор. И вновь измеряем силу тока. Получим уравнение:

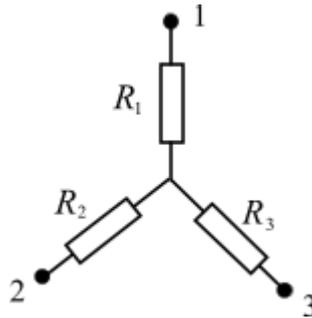
$$I_2 = \frac{\varepsilon}{r + \frac{V_2}{I_2}}, \quad (2)$$

Объединяя уравнения (1) и (2) в систему решаем их и находим значения ЭДС батареи и сумму: ее внутреннее сопротивление + внутреннее сопротивление амперметра.

Затем убираем вольтметр и неизвестный резистор, а вместо них поочередно подключаем к выводам черного ящика и измеряем силу тока. В результате имеем следующие уравнения:

$$\begin{cases} I_{1-2} = \frac{\varepsilon}{r + R_1 + R_2}, \\ I_{1-3} = \frac{\varepsilon}{r + R_1 + R_3}, \\ I_{2-3} = \frac{\varepsilon}{r + R_2 + R_3}. \end{cases} \quad (3)$$

Решаем эту систему уравнений относительно неизвестных сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$ .



### 3. Ёмкость.

Задание: Определить неизвестную ёмкость конденсатора.

Оборудование: конденсатор неизвестной емкости  $C_1$ , конденсатор  $C_2$ , ёмкость которого известна, батарейка, длинная нихромовая проволока, намотанная на деревянную линейку четырьмя длинными витками, резистор с неизвестным, но большим сопротивлением, микроамперметр, соединительные провода.

Внимание! Не подключайте измерительный прибор непосредственно к батарейке — он может выйти из строя!

Решение: Конденсатор подключается к батарейке. При этом пластины конденсатора заряжаются: одна пластина приобретает заряд  $+Q$ , а другая пластина  $-Q$ . Теперь этот заряженный конденсатор отключаем от батарейки и подключаем к стрелочному прибору, стрелка отклонится от положения равновесия на некоторый угол. Если стрелка прибора

отклоняется до упора, то конденсатор нужно заряжать до напряжения меньшего ЭДС батарейки. Нихромоую проволоку можно использовать в качестве делителя напряжения. В таком случае напряжение на выводах конденсатора можно сделать меньше, чем ЭДС батареи, и добиться того, чтобы стрелка не отклонялась до упора. Этот способ измерения называется баллистическим. Так как время протекания тока через катушку стрелочного прибора мало, и стрелка за счёт кинетической энергии поворачивается на значительный угол. Если считать, что трения в системе стрелочного прибора нет, то момент количества движения, пропорционален заряду, прошедшему за маленькое время через катушку прибора. При этом кинетическая энергия вращения, приобретённая стрелкой и катушкой, пропорциональна квадрату заряда  $Q^2$ . Максимальный угол отклонения стрелки совпадает с тем, что вся кинетическая энергия прибора перешла в энергию упругой деформации возвращающей пружины  $Kx^2/2$ . То есть угол отклонения будет пропорционален  $Q$ . Подбирая коэффициенты деления напряжения, для известного и неизвестного конденсаторов, следует добиваться одинаковых углов отклонения стрелки от начального положения в обоих случаях. Нелинейность прибора не будет сказываться на результате. Чтобы точнее определять максимальное отклонение стрелки, можно закрыть листком часть шкалы, и отмечать высунувшуюся стрелку. Перемещая лист бумаги можно найти положение максимального отклонения. Идеальным было бы так - стрелка белая, а листок бумаги чёрный.

#### 4. Неизвестный элемент.

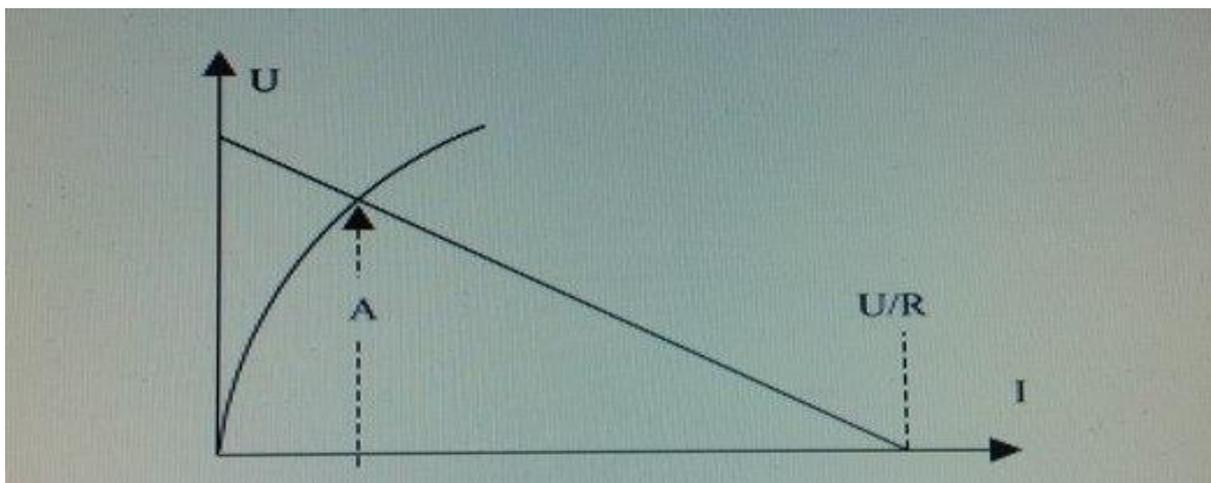
Внутри Чёрного Ящика находится батарейка, последовательно с ней включён неизвестный элемент  $\mathcal{E}$ . Нужно получить зависимость напряжения  $\mathcal{E}$  от протекающего через него тока и постройте график.

Оборудование: Черный ящик, несколько резисторов (4–5 штук), универсальный измерительный прибор — тестер, соединительные провода.

Примечание: прибор очень точный — погрешность при измерении напряжения и тока не больше 1%, при измерении сопротивления — не больше 2%. Сопротивление прибора при измерении напряжения просто огромное (миллионы Ом), при измерении тока — маленькое. [A = лампочка]

Решение: Для начала давайте измерим сопротивления резисторов, которые находятся вне ящика. Следом установите ЭДС батарейки внутри ящика, и максимальный ток короткого замыкания (пока батарейка ещё свежая). Видим, что подключая амперметр к чёрному ящику, ток начинает быстро увеличиваться, а потом уменьшаться. Это значит, что сопротивление элемента, зависит от величины тока. Измерения с максимальным током желательно проводить быстро, чтобы не села батарейка. Теперь по очереди подключаем к черному ящику наши резисторы, и измеряем падение напряжения на них. Можете соединить резисторы последовательно или параллельно друг другу. Каждое внешнее сопротивление, которое подключено к батарейке последовательно с неизвестным элементом, имеет свою нагрузочную линию. На рисунке она прямая. Для каждого сопротивления находим максимальный ток  $U/R$ , а затем на нагрузочной линии ставится точка A, которая и обозначает ток, полученному для конкретного значения сопротивления резистора. Таких точек много и ВАХ элемента получается в явном виде. Догадаться, что неизвестный элемент — это лампочка, несложно! Стоит проверить ВАХ на соответствие формуле  $I \sim U^{0,6}$ . После этого нетрудно догадаться какой ток потечёт через чёрный ящик при подключении к батарейке с ЭДС 4,5В. Возможных значений тока два: первое значение - последовательный включению батарей, со сложением сил, а второе значение -

последовательный встречному варианту включения батарей, и их силы вычитаются.



#### 5. Омметр .

Измерение сопротивления двух резисторов.

Оборудование: две однотипные батарейки, соединённые последовательно, два резистора с неизвестными сопротивлениями, ещё один резистор с известным сопротивлением 60 кОм, универсальный вольтметр-амперметр, провода.

Найти: Отношение разности сопротивлений этих резисторов к величине меньшего из них и оценить погрешность полученного значения. Неизвестные резисторы мало отличаются (примерно на 5%). Их сопротивления — 2 кОм и 2,1 кОм. Точно известно сопротивление третьего резистора — в 30 раз меньше или больше. Можно сделать мостик из двух батареек и двух резисторов. Подключаем известный резистор, смещаем отклонение в мостике.

Решение: С помощью вольтметра убедимся, что батарейки имеют одинаковые ЭДС, и при подключении к ним резисторов напряжение не меняется. Батарейки хорошо спаяны своими выводами, рассоединять их не нужно. При подключении последовательно батареек, амперметра и

неизвестного резистора, можно получить значения токов для каждого из резисторов. Эти значения будут очень близкими друг к другу. Прибор не дает найти их разницу с хорошей точностью. Для повышения точности нужно замкнуть две батарейки и два неизвестных резистора в кольцо. Прибор в режиме самой большой чувствительности, подключим к месту соединения батареек и к месту соединения двух резисторов. Прибор показывает значительное отклонение. Теперь параллельно одному из неизвестных резисторов подключаем резистор с известным сопротивлением. В первом случае показание прибора становится больше, а во втором случае показание прибора уменьшаются.

#### 6. Резисторы .

Оборудование: две батарейки, универсальный измерительный прибор «АВОметр школьный», планка с двумя резисторами 1 и 2, сопротивления которых неизвестны, резистор с известным сопротивлением 10 Ом, провода.

Задание: измерить разность сопротивлений 1 и 2.

Примечание: измерительный прибор не идеальный!

Решение: Измерить с помощью АВОметра не удастся, так как батарейка в приборе села. Обойдемся без Омметра. При измерении тока через последовательно включённые в цепь батарейку, прибор - зашкаливает. Отсюда следует, что нужно использовать мостовой метод подключения прибора. Одной из составляющих моста - две последовательно включённые батарейки. Второй составляющей - два последовательно включённых резистора. Теперь прибор показывает ток, не зашкаливая. Попробуем поменять положение резисторов — ток изменил знак, но с той же величиной — это значит, что батарейки имеют

одинаковые характеристики. А если включить в цепь последовательно с неизвестными резисторами и резистор с известным сопротивлением 10 Ом, то разбаланс моста чуть-чуть изменится. Вариантов подключения измерительного прибора и трёх резисторов в мост очень много. Получив данные, и проанализировав их, можно вычислить разность неизвестных сопротивлений.

### 7. Измерение сопротивлений.

Даны: батарейка, миллиамперметр, соединительные провода и три резистора. Один с точно известным сопротивлением 200 Ом, а сопротивления двух других резисторов неизвестны.

Найти: неизвестные сопротивления двух резисторов.

Решение: Измерительный прибор нужно подключать последовательно с резисторами. Способов подключения резисторов много, например, можно подключить к батарейке сначала только известный резистор и последовательно с ним измерительный прибор. Затем к батарейке подключаются оставшиеся резисторы с неизвестными сопротивлениями. Узнаем, что для одного из резисторов ток очень мал, а для другого слишком большой, что прибор зашкаливает. Внутреннее сопротивление батарейки значительно меньше сопротивления любого из резисторов. Теперь подключаем резистор параллельно прибору и последовательно с неизвестным резистором — показания прибора уменьшаются почти в 2 раза. Значит сопротивление этого резистора примерно равно внутреннему сопротивлению прибора. Теперь подключаем этот резистор последовательно в цепь с прибором и неизвестным резистором. Показания прибора уменьшаются на 8%. Получается, что сопротивление резистора и внутреннее сопротивление прибора равны где-то по 20 Ом. Чтобы измерить большое неизвестное сопротивление третьего резистора нужно

подключить его параллельно резистору с известным сопротивлением. При этом показания прибора вырастают примерно на 10%. Значит неизвестное сопротивление равно примерно 2000 Ом.

#### 8. Неидеальный миллиамперметр.

Нужно найти сопротивление миллиамперметра на каждом из диапазонов его чувствительности 5 мА и 50 мА.

Оборудование: батарейка, миллиамперметр, несколько резисторов их сопротивления считать точно заданными: 200 Ом, 110 Ом, 30 Ом, 12 Ом, провода, соединительная панель с пружинными контактами.

Решение: Сначала нужно проверить батарейку. Подключим последовательно батарею, миллиамперметр на пределе 50 мА и резисторы. Резистор с самым маленьким сопротивлением не берем. Прибор показывает что-то около 10–15 мА.

Теперь к батарейке дополнительно подключаем резистор с самым маленьким сопротивлением. Показания прибора не изменились — отсюда следует, что батарейка хорошая. Этот же резистор с самым маленьким сопротивлением подключаем параллельно к миллиамперметру. Показание прибора сильно уменьшаются..

Подбирая величину шунтирующего сопротивления, добиваемся того, что показания прибора в случае с шунтом и без позволяют провести измерение с маленькой ошибкой. Прибор в обоих случаях должен показывать больше половины от максимального значения тока, на выбранном пределе измерений. Такие измерения позволяют вычислить внутренние сопротивления миллиамперметра, что и является ответом.

## 9. Спрятанный конденсатор.

Нужно измерить ёмкость выданного конденсатора и измерить его свойства.

Оборудование: конденсатор, который спрятан внутри картонного цилиндра, один из его выводов заранее припаян к минусу батарейки, и его не разрешается отключать! батарейка, вольтметр «школьный», резистор 1 кОм, часы, соединительные провода.

Решение: Не сказано, какие электрические параметры, кроме ёмкости, нужно измерить. Попробуем найти величину сопротивления утечки конденсатора, узнать зависимость ёмкости от разности потенциалов на обкладках этого конденсатора.

Сначала с помощью вольтметра измерим ЭДС батарейки.

Зарядим конденсатор, подключив его к выводу батарейки. Поддержим их соединёнными около минуты, чтобы наверняка. Затем отключим конденсатор от батарейки и подключим его к выводам вольтметра. Вольтметр показывает напряжение, которое совпадает с ЭДС батарейки. Показания вольтметра медленно уменьшаются, совсем не быстро. Это говорит о том, что произведение ёмкости конденсатора на величину внутреннего сопротивления вольтметра много больше 100 секунд. Подключим параллельно конденсатору резистор 1 кОм. Разряд начинает идти быстрее, но всё равно не слишком быстро. По временной зависимости показаний вольтметра, мы можем оценить постоянную времени разряда, через известный резистор по формуле:  $\tau = RC$ . Получается около 100 секунд, то есть ёмкость конденсатора порядка 0,1 Фарад.

Чтобы оценить внутреннее сопротивление утечки, нужно зарядить конденсатор от батарейки и отключить его. Подождём около 10–20 минут. И опять подключим конденсатор к вольтметру. Напряжение, которое показывает вольтметр, заметно, но не намного, меньше ЭДС батарейки. С

помощью этого эксперимента, так же можно оценить сопротивление саморазряда конденсатора.

10. Измерение сопротивлений резисторов, включённых в электрическую цепь.

Оборудование: батарейка плоская; универсальный измерительный прибор; потенциометр - резистор сопротивлением 1 кОм, у него сделаны три вывода — от концов резистора и от подвижного контакта, при повороте рукоятки меняется положение подвижного контакта и величины сопротивлений между выводом от этого контакта и крайними выводами, оставаясь в сумме равными 1 кОм; колодка с контактами — на колодке припаяны: «чёрный ящик», с полупроводниковым диодом, параллельно, но к диоду присоединён резистор R1, последовательно с ним подключён резистор R2, резистор 100 Ом — его сопротивление считать точным, и такой же диод, как находящийся внутри ящика; провода.

Задание: Определить сумму сопротивлений  $R1 + R2$ , а также сопротивление каждого из резисторов R1 и R2.

Решение: Построим вольтамперную характеристику диода, который мы взяли в качестве оборудования. Затем строим вольтамперную характеристику чёрного ящика. При запертом диоде, по вольтамперной характеристике мы можем вычислить суммарное сопротивление  $R1 + R2$ . По вольтамперной характеристике, полностью открытого диода, устанавливаем величину сопротивления резистора, подключенного параллельно диоду, и также величину резистора, включённого последовательно с ними.

## 11. Исследование полупроводникового диода.

Задание: снять вольтамперную характеристику диода, определить напряжение, при котором ток через диод составит 0,1 мкА.

Оборудование: диод неизвестного типа, батарейка 1,5 В с держателем, потенциометр 1 кОм, резисторы 1 кОм, 10 кОм, 39 кОм, мультиметр электронный.

Диод подключён к измерительной схеме с помощью зажимной панели. Если изменять подаваемое на диод напряжение при помощи потенциометра, нужно будет определить зависимость тока через диод, от приложенного напряжения в большом диапазоне токов. Нужно придумать способ измерения нужных величин с использованием выданных резисторов (их сопротивления можно измерить тем же мультиметром с точностью не хуже 1%).

Справочные данные: Когда проводятся измерения напряжений, вольтметр имеет сопротивление 1 Мом, одинаковое на разных пределах, его значение можно считать точным. В режиме измерения токов уменьшение напряжения при максимальном значении измеряемой величины составляет = 0,2 В. Сопротивление 1 кОм — это ровно 1000 Ом, 1 МОм — ровно 1 миллион Ом.

Пожалуйста, не нужно подключать прибор к батарейке напрямую, когда измеряете ток — прибор будет испорчен! Не подключайте диод напрямую к батарейке — последовательно с диодом должен быть подключён какой-нибудь из выданных Вам резисторов!

## 12. Измерение ёмкости конденсатора.

Задание: измерить ёмкость электролитического конденсатора.

Оборудование: конденсатор большой ёмкости, подключенный к зажимному устройству, батарейка (приблизительно 4.5 В), мультиметр

стрелочный, секундомер, резистор с известным сопротивлением 152 кОм, соединительные провода.

Найти: Нужно измерить с максимально возможной точностью ёмкость выданного конденсатора. Ток полного отклонения прибора в режиме измерения напряжений 50 мкА — его сопротивление в режиме измерения напряжений 20 кОм (1 кОм — ровно 1000 Ом, 1 мкА — миллионная часть Ампера). Класс точности прибора взять 1,5%.

Способ решения очевиден: нужно заряжать и разряжать конденсатор от батарейки через резистор с известным сопротивлением.

### **Экспериментальные задачи по оптике.**

#### **1. Коэффициент преломления стекла.**

Задание: Измерение величины коэффициента преломления стекла, из которого сделана призма.

Оборудование: Можно использовать миллиметровку и карандаш для рисования, солнечный свет. Еще может понадобится липкая лента, булавки, нитки, линейка. Другие приспособления и приборы использовать нельзя!

Решение: С помощью одного листа бумаги, карандаша, линейки и булавок - проводим линии, которые находятся параллельно двум граням призмы, образующим острый угол около  $30^\circ$ – $40^\circ$ . То есть можно определить значение этого угла и его тригонометрических функций с большой точностью. Если лист бумаги имеет обычные размеры 200 мм, то точность установки иголок может быть достигнута около 1 мм. Затем с такой же точностью на бумаге проводим линии, параллельные лучам света, которые преломляются в стекле, на этом самом угле призмы возле его вершины. Очень легко подобрать такое расположение для входящего и

преломлённого лучей, чтобы они были симметричны рядом расположенным граням угла призмы. Внутри призмы свет идёт перпендикулярно биссектрисе угла, который образован этими гранями. Если сделать расположение угла призмы и лучей света так как сказано выше, то это позволит получить простую формулу для расчёта. В результате первоначальные данные для вычислений коэффициента преломления позволяют получить ответ с точностью до второго знака после запятой.

Лучше, измерить коэффициент преломления при помощи предоставленного оборудования в принципе невозможно! Потому что дисперсия света приводит к различным значениям коэффициента преломления для света с разными длинами волн.

## 2. Косая линза.

В коробочке с двумя отверстиями находится часть плоско-выпуклой линзы.

Задание: не разбирая коробочку, определите параметры этой линзы: её фокусное расстояние  $F$  и расстояние  $L$  от главной оптической оси до метки (крестика) на плоской поверхности линзы.

Оборудование: коробочка с частью линзы, источник света — лазерная указка, миллиметровая бумага, липкая лента.

Внимание!!! Запрещается направлять луч света лазера в глаза!!! Не держите лазер включённым длительное время.

Решение: Расстояние от метки до оптической оси составляет 12 см. Фокусное расстояние линзы равняется 27 см. Это были вырезанные кружочки из пластиковой линзы Френеля. Потому как отверстия в коробочке были разного диаметра, одно около 5 мм в диаметре, а другое примерно 1,5 см в диаметре, возможный диапазон углов для направления

света лазера на кусок линзы был ограниченным. Построение лучей, основанные на свойстве прямолинейности распространения света, дали большие погрешности. Если найти такое расположение линзы, лазера и экрана, когда луч света собирался на экране в пятно наименьшего размера, то получаются результаты намного близкие к правде.

### 3. Линза.

Задание: Измерить коэффициент преломления налитой в мензурку жидкости и определить фокусное расстояние выданной линзы.

Оборудование: мензурка с неизвестной жидкостью, линза, свечка, спички, полупрозрачное стекло на подставке, липкая лента, миллиметровая бумага.

Комментарии: выданная линза рассеивающая и имеет небольшую оптическую силу порядка минус 1 дптр.

Решение: Мензурка с налитой в неё прозрачной жидкостью используется как цилиндрическая собирающая линза. Чтобы получить очень чёткое изображение горящей свечи, нужно обозначить грани по высоте, на участке мензурки, через который проходит свет. Для этого нужно использовать два бумажных кольца на поверхности мензурки. Сделайте их из листа бумаги. Ширину зазора, между бумажными кольцами, намотанными на мензурку, сделайте меньше 1 см. С одной стороны от мензурки на одной высоте с зазором устанавливается горящая свеча, а с другой стороны от мензурки вертикально установите листок бумаги, на котором и получите перевернутое изображение свечи. Если изменять расстояние от свечи до мензурки, то можно добиться четкого изображения свечи на бумаге. Наилучшее расстояние расположение свечи, мензурки и бумаги такое, при котором размер изображения будет совпадать с размером источника света, то есть расстояния от изображения до мензурки и от свечи до мензурки будут одинаковы! Диаметр цилиндра можно измерить с помощью миллиметровки. После того как нашли

оптическую силу цилиндрической линзы, можно вычислить коэффициент преломления света для неизвестной жидкости.

Фокусное расстояние рассеивающей линзы можно найти, поместив её на пути света, идущего от свечи к мензурке. Причем общая оптическая сила стеклянной линзы и жидкой цилиндрической линзы будет меньше оптической силы одной цилиндрической линзы.

#### 4. Фонарь.

Оборудование: фонарик, два оптических элемента — прозрачный и отражающий, штатив с лапкой, миллиметровая бумага.

Задание: Определите тип оптических элементов и определите у каждого из них его главный параметр.

Внимание! Ничего не рисуйте на выданных элементах и не царапайте, не ломайте и вообще не меняйте их начального состояния.

Решение: Фонарик закрепляется в штативе на средней высоте над столом. Изучаемый объект, горизонтально укладывается прямо под фонариком. Меняя положение своей головы, обнаруживаем, что в нескольких положениях его глаз видно свет, который отразился от поверхности элемента не перпендикулярно к ней. Причём свет разложен в спектр. Используя миллиметровку, можно найти углы, под которыми будут видны основные цвета: красный, зелёный, синий. Длины волн, которые соответствуют этим цветам, нам известны. Отсюда и можно определить период дифракционной решётки, которая дает разложение белого света в спектр.

### III. Экспериментальная олимпиадная часть в профильной школе.

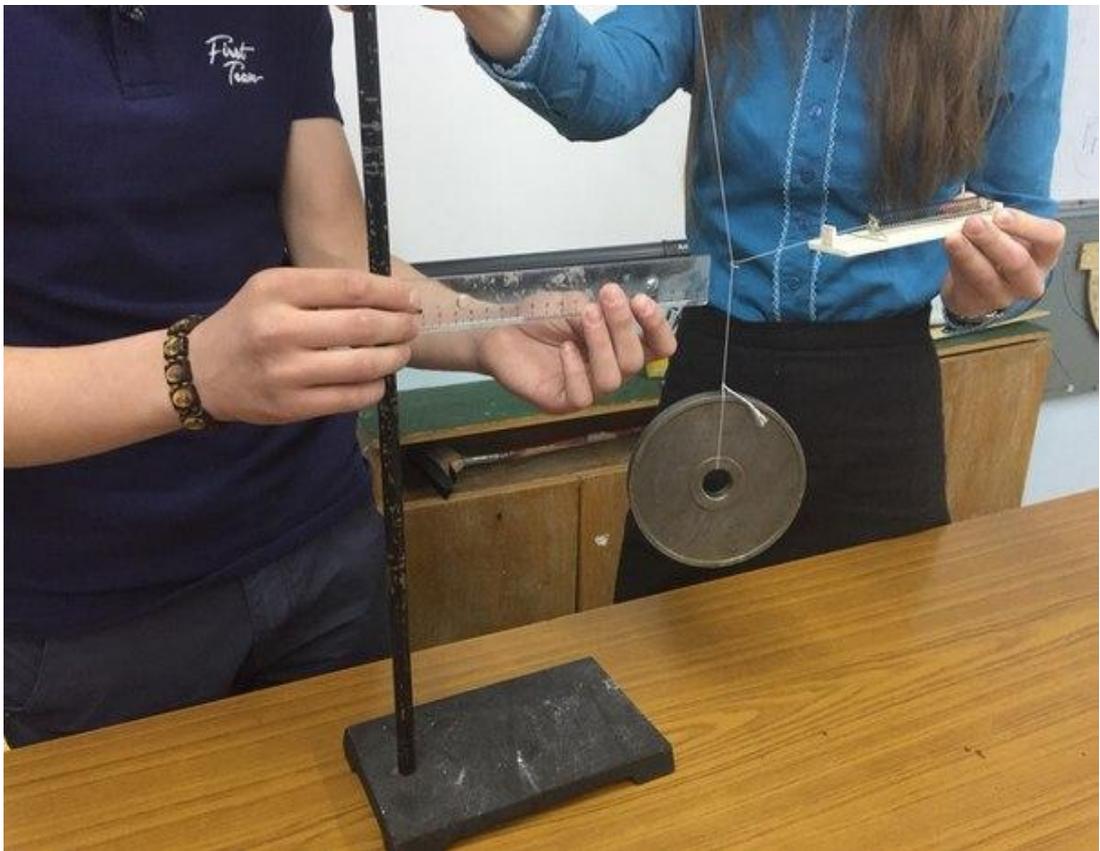
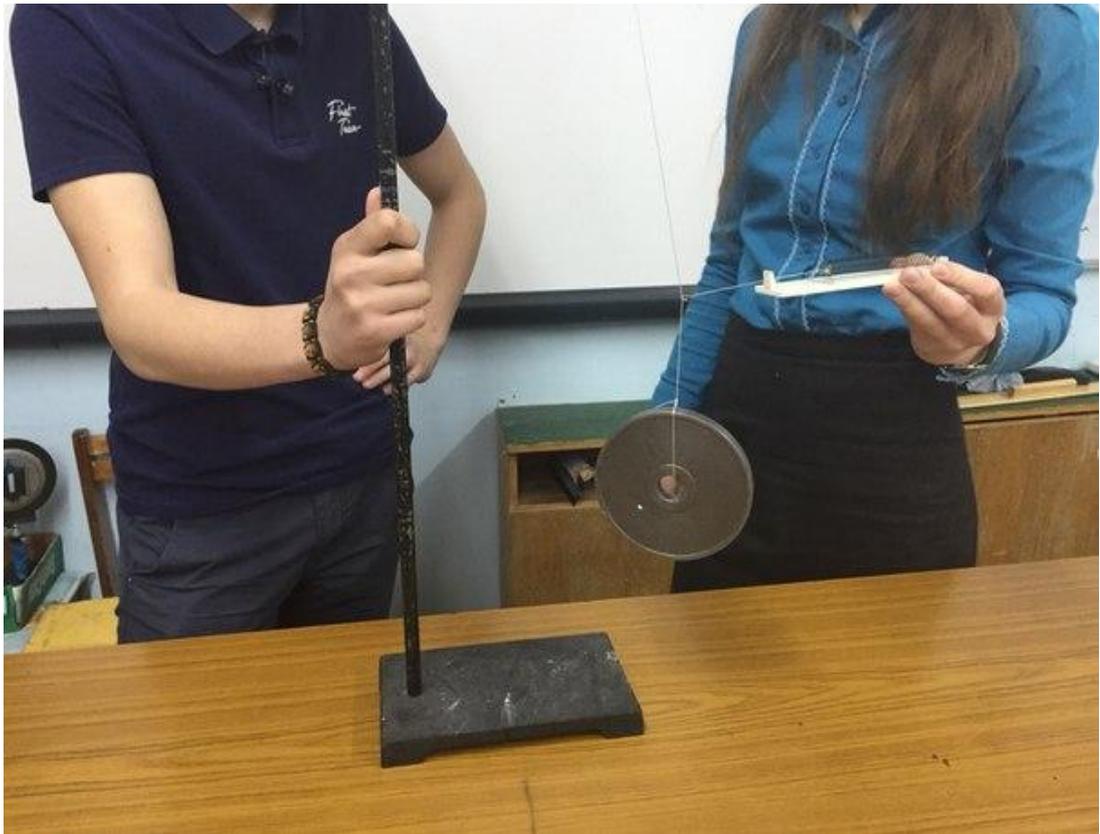
#### 1. Взвешивание.

Задание: измерьте массу железного блина.

Оборудование: динамометр 0–4 Н, капроновая нить длиной 1 м, линейка, штатив с кронштейнами, железный блин массой 1,2 кг.

Решение: Прикрепляем блин к концу нити, второй конец закрепляем на штативе. При этом блин не должен касаться стола, а висеть. Динамометром тянем нить горизонтально. С помощью линейки измеряем данные и находим тангенс угла  $\alpha$ , который и составляет наклонный участок нити с вертикалью. Если динамометр показывает значение силы  $F$ , то масса предмета равна  $M = (F/g) \operatorname{tg} \alpha$ .





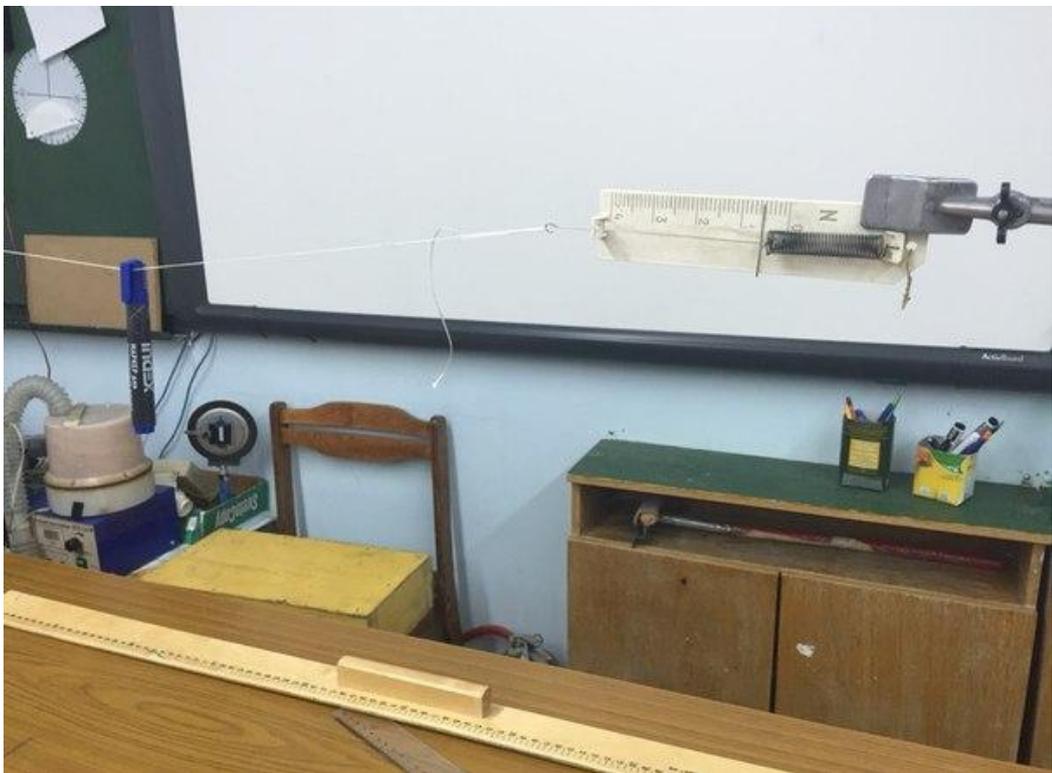
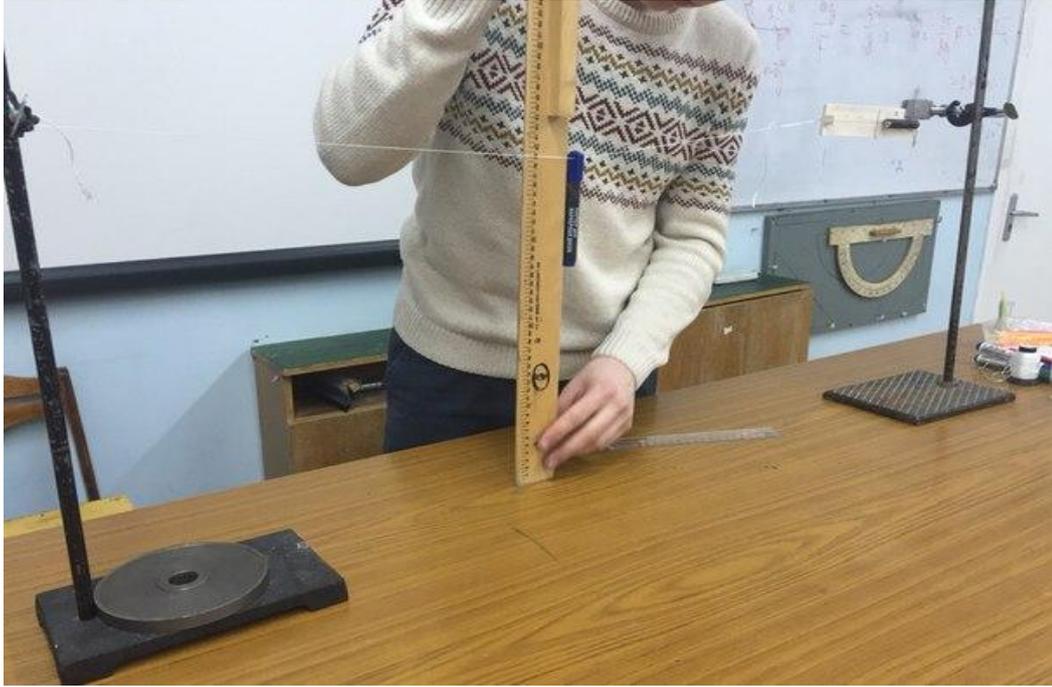
## 2. Взвешивание.

Задание: измерьте массу маркера.

Оборудование: динамометр 0–4 Н, капроновая нить длиной 1 м, линейка, 2 штатива с кронштейнами, маркер массой 2 г.

Решение: Один конец нити закрепляем на одном штативе. Динамометр закрепляется на втором штативе. Подвешиваем маркер на середину нити. При этом маркер не должен касаться стола. Нить провисла. С помощью линейки измеряем данные и находим тангенс угла  $\alpha$ , который теперь составляют участки нити с горизонталью. Если динамометр показывает значение силы  $F$ , то масса предмета равна:  $M = 2(F/g) \operatorname{tg} \alpha$ .



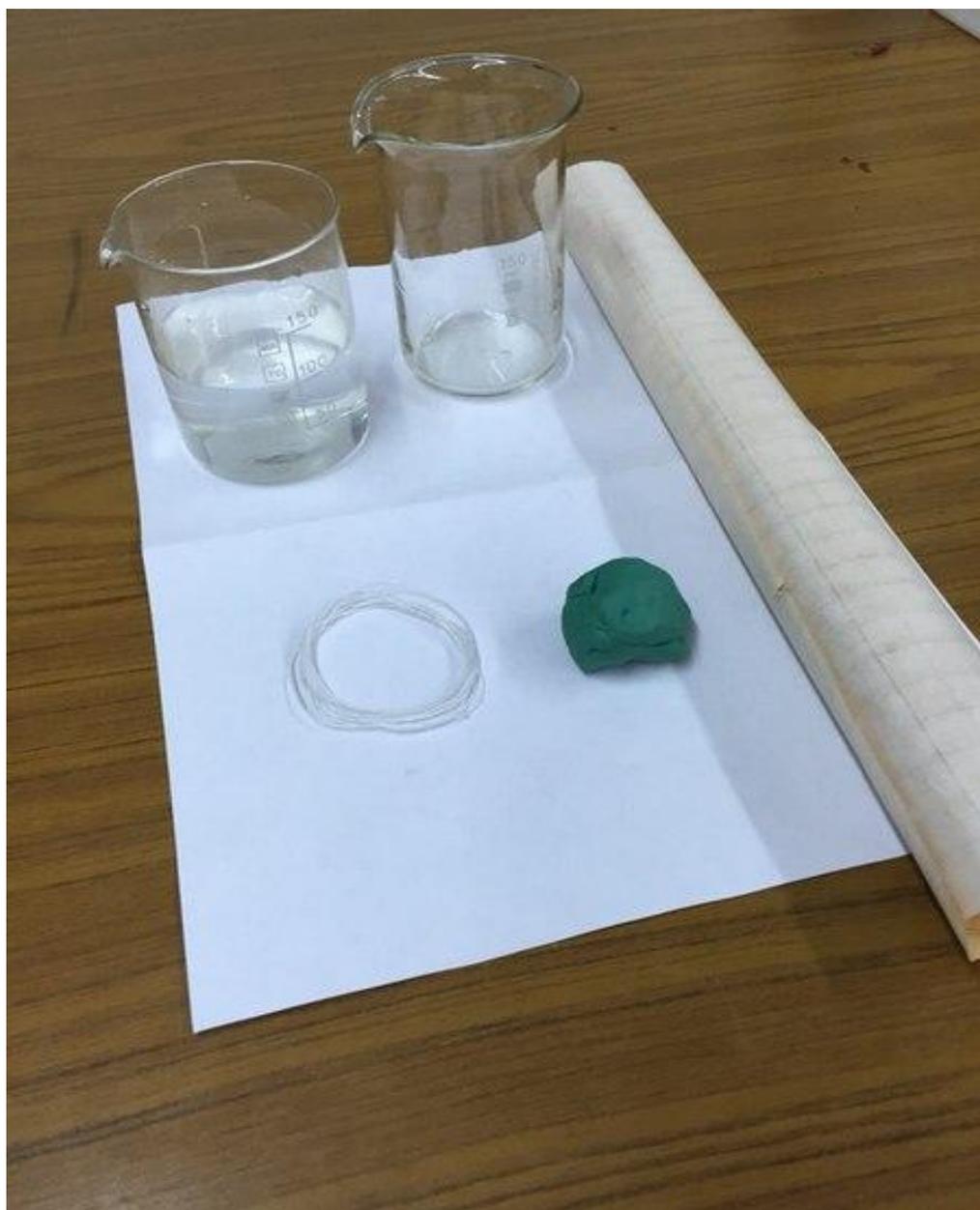


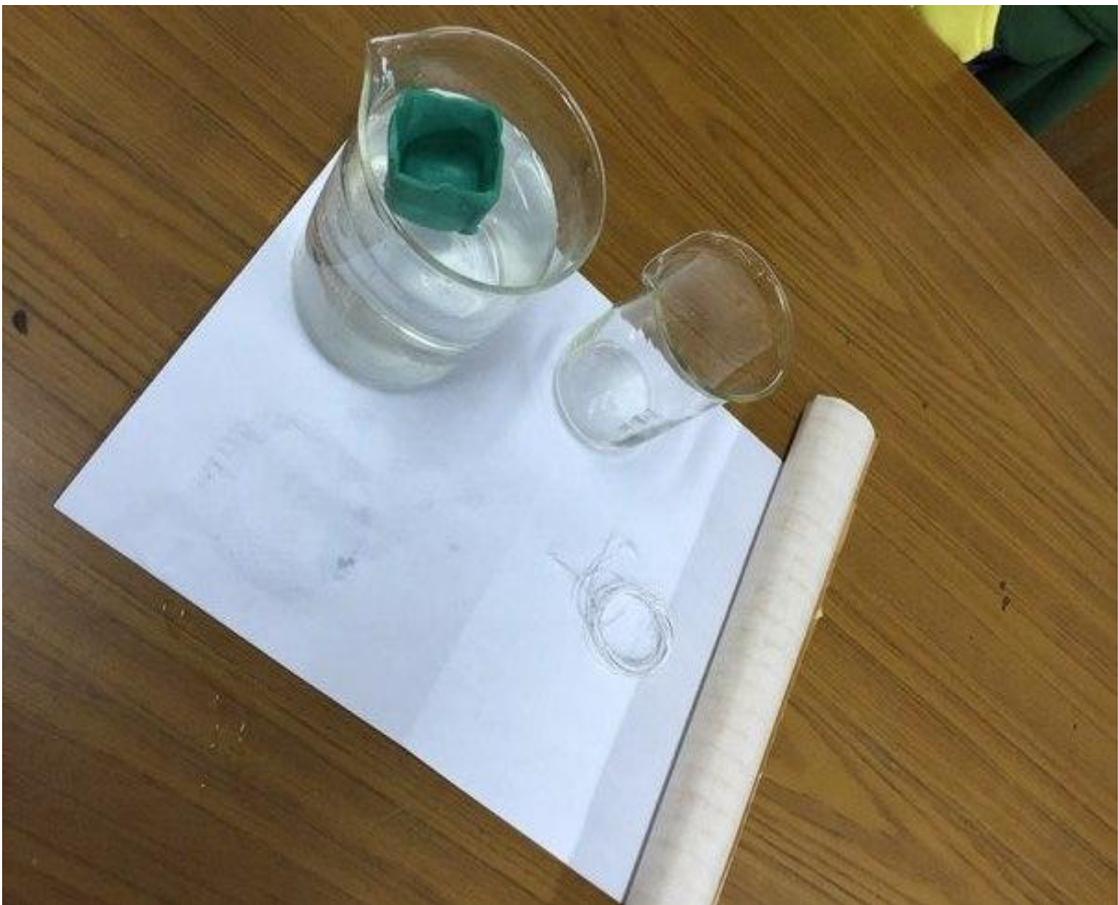
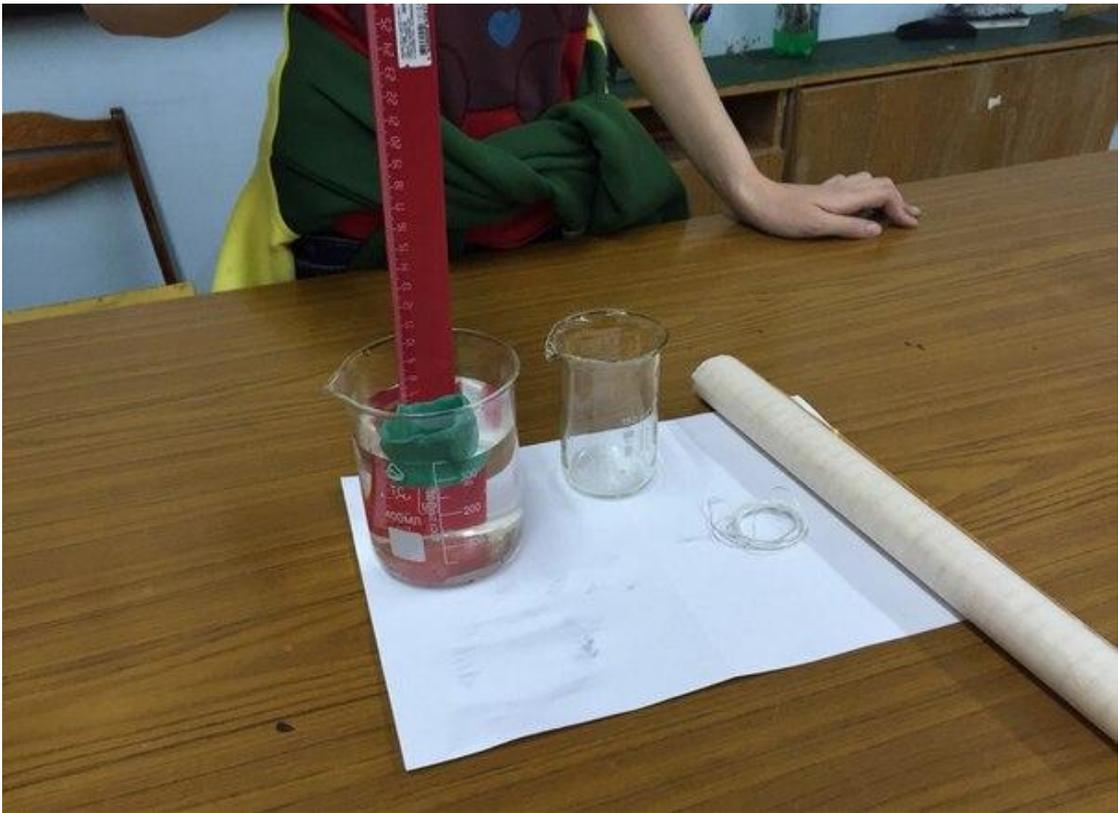
### 3. Пластилин.

Задание: Найти массу и плотность кусочка пластилина.

Оборудование: 2 стаканчика, линейка, вода — по необходимости, «миллиметровая» бумага, нитка.

Способ решения: Вылепливаем из пластилина кубик. Измеряем его стороны с помощью линейки. Измерение внешних размеров кубика позволяет узнать объем воды, который она вытесняет, плавая.





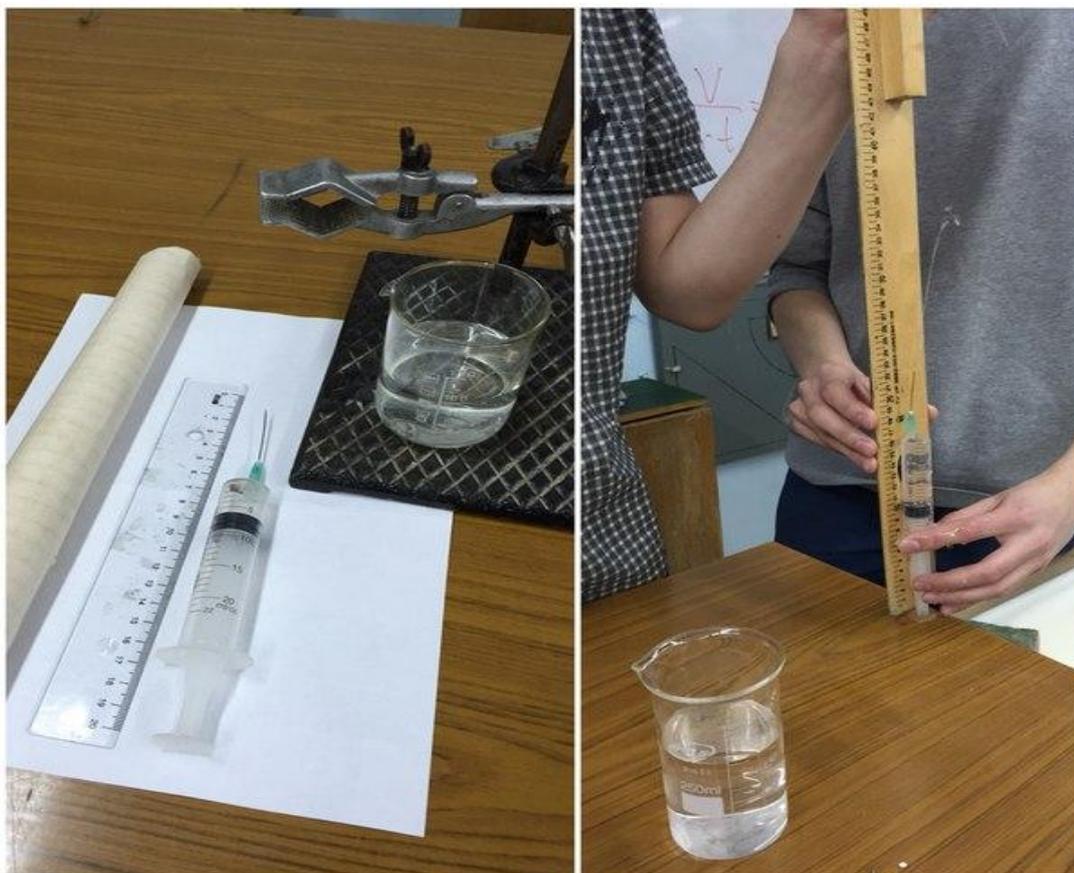
#### 4.Игла.

Приборы и оборудование: шприц с иглой, линейка, миллиметровая бумага, штатив с лапкой, стаканчик с водой.

Задание: определить диаметр (внутренний) иголки для шприца. Осторожно, не уколитесь!

Способ решения: Закрепляем линейку в штативе. Из шприца выдавливаем воду параллельно линейке, то есть струя направлена вертикально вверх.

Напрактиковавшись, добиваемся того, что капли взлетают на одну и ту же высоту. Зная объем воды в шприце, время выдавливания воды и высоту подъёма воды, находим поперечное сечение отверстия в игле. Так же можно найти скорость струи, зная высоту падения и дальность полёта по горизонтали, а затем, зная время, вычислить площадь поперечного сечения отверстия в игле.



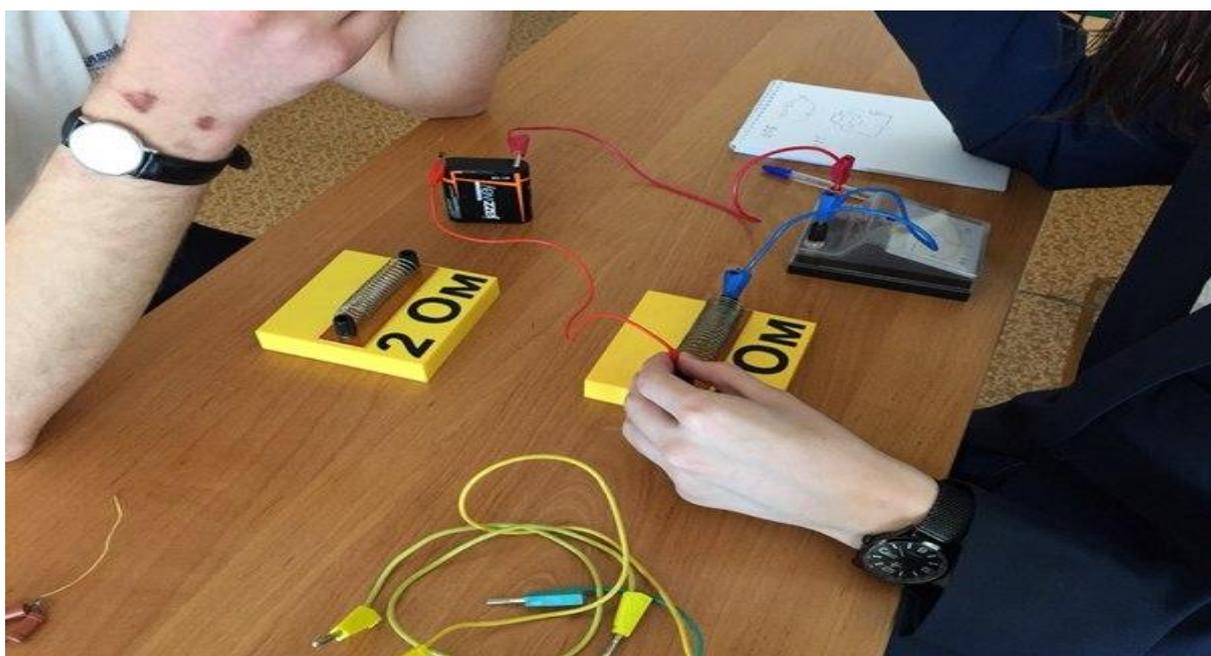
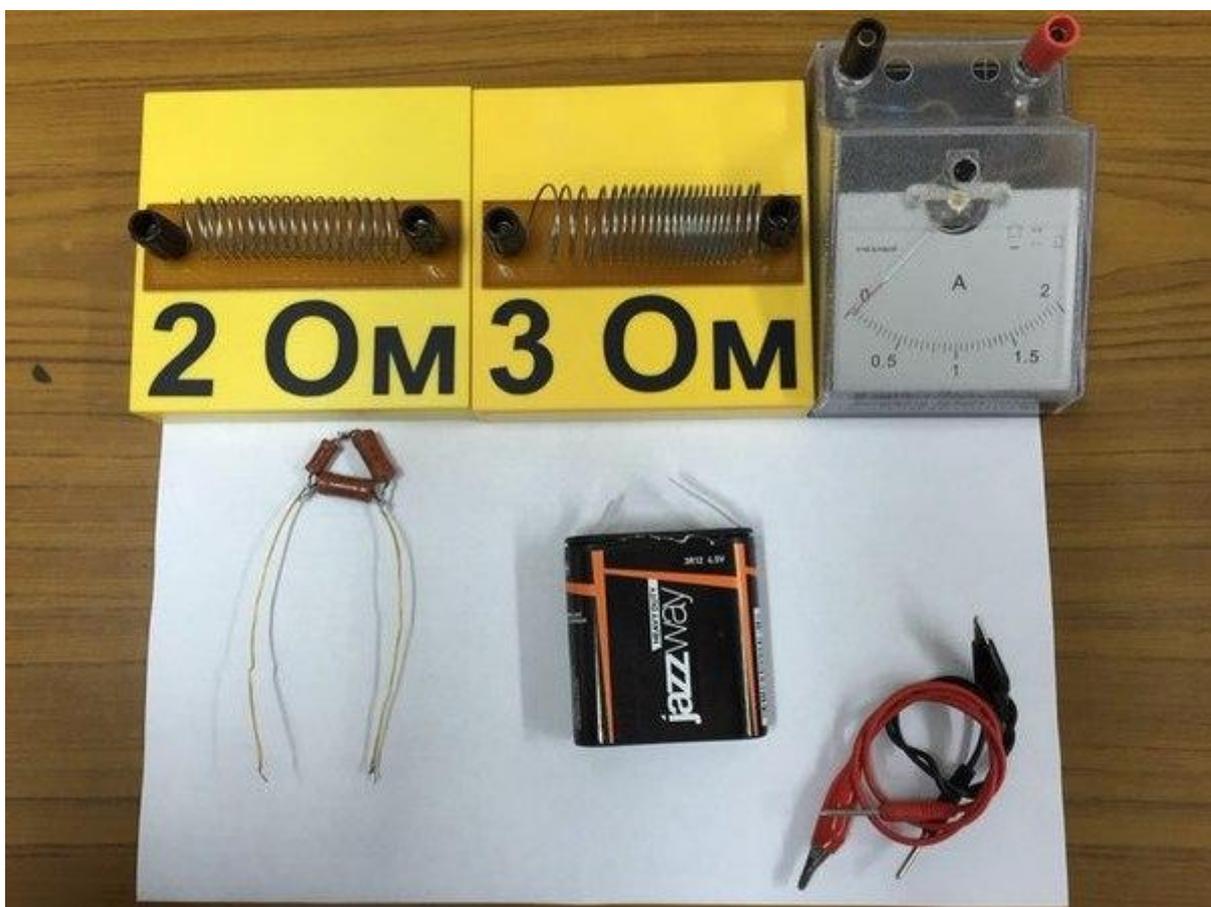
## 5. Измерение сопротивления.

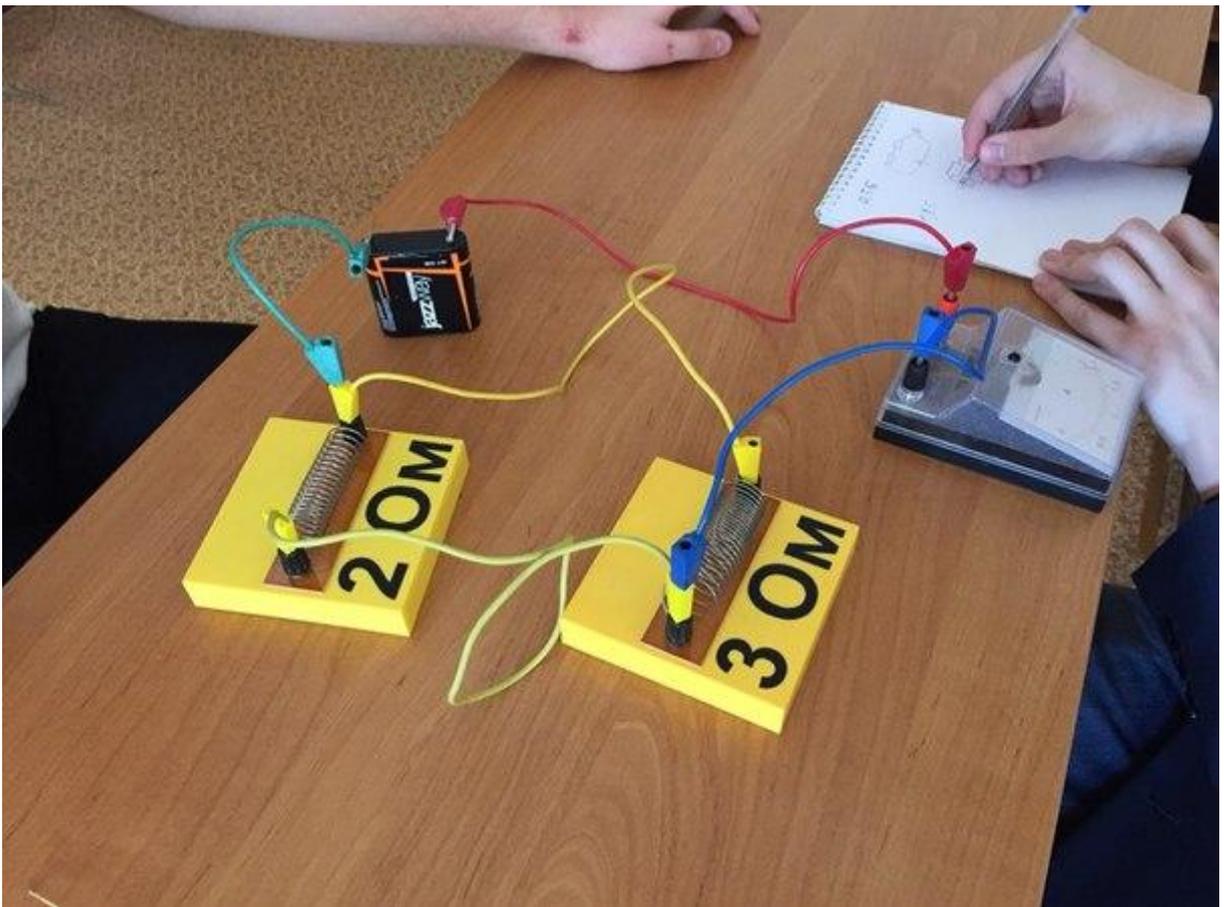
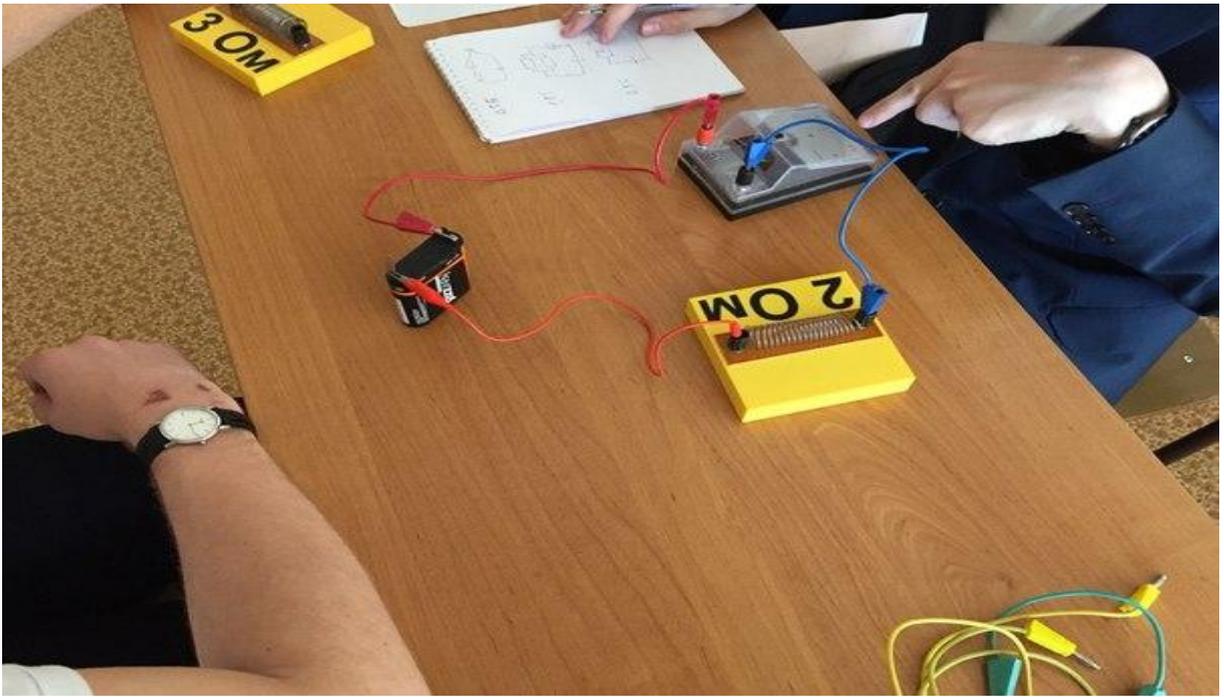
Оборудование: батарейка, один миллиамперметр, соединительные провода и три резистора. Один с точно известным сопротивлением 200 Ом, а сопротивления двух других резисторов неизвестны.

Найти: неизвестные сопротивления двух резисторов.

Решение: Подключаем измерительный прибор к батарейке,. Получается ожидаемый результат — прибор зашкаливает. Его нужно подключать последовательно с резисторами. Способов подключения резисторов множество, можно подключить к батарейке сначала только известный резистор и последовательно с ним измерительный прибор. Затем к батарейке подключаются оставшиеся резисторы (с неизвестными сопротивлениями). Для одного из них ток, показываемый прибором, мал, а для другого очень большой, что прибор зашкаливает. Этот резистор позволяет нам проверить, насколько хороша батарейка. Для такой проверки, измерительный прибор подключается к батарейке, через резистор с известным сопротивлением, а потом уже к выводам батарейки подключается резистор с неизвестным малым сопротивлением. Результат — показания прибора не изменяются, это значит что внутреннее сопротивление батарейки много меньше сопротивления любого из резисторов. Теперь подключаем этот резистор параллельно прибору и последовательно с резистором (с известным сопротивлением) — показания прибора уменьшаются в 2 раза. Это значит, что сопротивление этого резистора примерно равно внутреннему сопротивлению прибора. Подключаем теперь этот резистор последовательно в цепь с прибором и резистором с известным сопротивлением. Показания прибора уменьшаются на 8%. Отсюда следует, что сопротивление резистора и внутреннее сопротивление прибора равны примерно по 20 Ом. Для измерения сопротивления третьего резистора подключаем его параллельно резистору с известным сопротивлением. Показания прибора вырастают

примерно на 10%. Это значит, что неизвестное сопротивление равно примерно 2000 Ом.





## **6. Неидеальный миллиамперметр.**

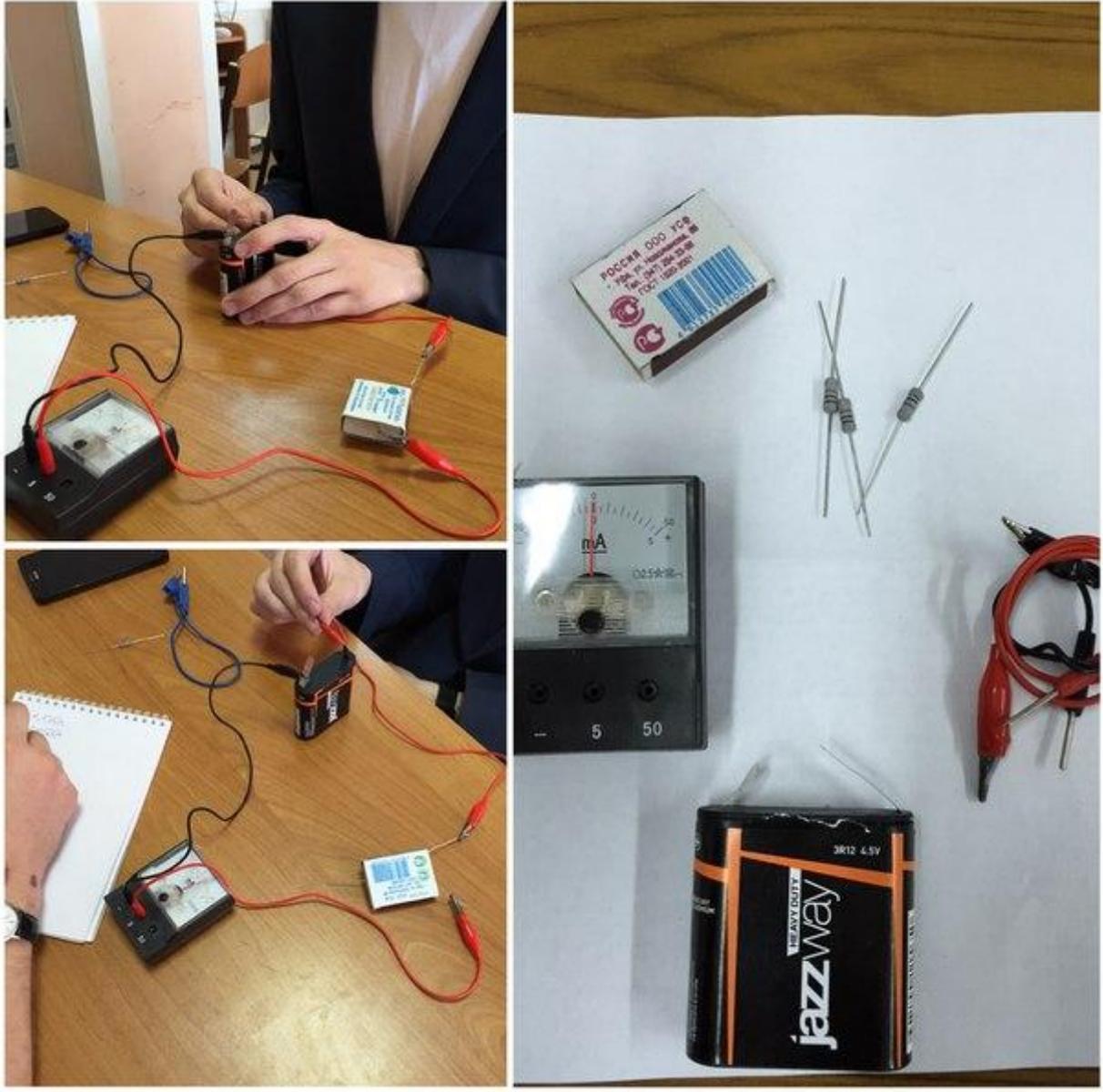
Нужно найти сопротивление миллиамперметра на каждом из диапазонов его чувствительности 5 мА и 50 мА.

Оборудование: батарейка, миллиамперметр, несколько резисторов их сопротивления считать точно заданными: 200 Ом, 110 Ом, 30 Ом, 12 Ом, провода, соединительная панель с пружинными контактами.

Решение: Сначала нужно проверить батарейку. Подключим последовательно батарею, миллиамперметр на пределе 50 мА и резисторы. Резистор с самым маленьким сопротивлением не берем. Прибор показывает что-то около 10–15 мА.

Теперь к батарейке дополнительно подключаем резистор с самым маленьким сопротивлением. Показания прибора не изменились — отсюда следует, что батарейка хорошая. Этот же резистор с самым маленьким сопротивлением подключаем параллельно к миллиамперметру. Показание прибора сильно уменьшаются..

Подбирая величину шунтирующего сопротивления, добиваемся того, что показания прибора в случае с шунтом и без позволяют провести измерение с маленькой ошибкой. Прибор в обоих случаях должен показывать больше половины от максимального значения тока, на выбранном пределе измерений. Такие измерения позволяют вычислить внутренние сопротивления миллиамперметра, что и является ответом.



## 7. Звезда.

В «чёрном ящике» с тремя выводами находятся три резистора.

Оборудование: чёрный ящик с тремя выводами, вольтметр, миллиамперметр, батарейка с неизвестными параметрами, неизвестный резистор.

Приборы показывают правильные значения измеряемых величин, но они

не идеальны, то есть внутреннее сопротивление миллиамперметра не равно нулю, а внутреннее сопротивление вольтметра не бесконечно большое.

Определить сопротивления резисторов, если схема их соединения «звезда» .

Решение: Собираем цепь из последовательно соединенных : вольтметра, амперметра и батареи. Сила тока в такой цепи есть:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{r + \frac{V_1}{I_1}}, \quad (1)$$

здесь  $\varepsilon$  - ЭДС батареи,  $r$  - сумма внутренних сопротивлений амперметра и батареи,  $V_1$  - показания вольтметра.

Теперь параллельно вольтметру подключаем неизвестный резистор. И вновь измеряем силу тока. Получим уравнение:

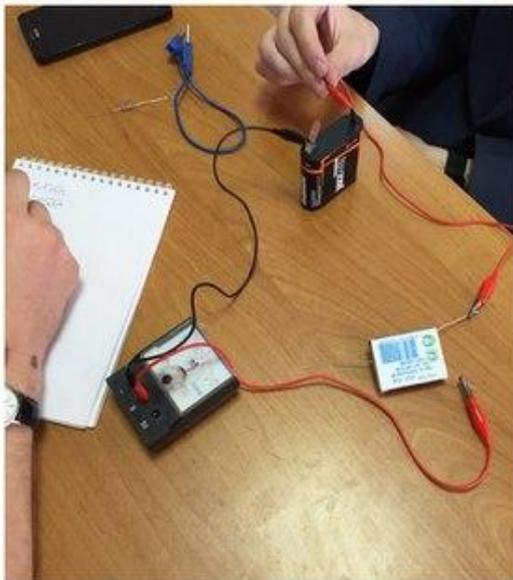
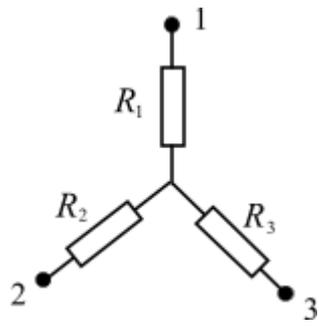
$$I_2 = \frac{\varepsilon}{r + \frac{V_2}{I_2}}, \quad (2)$$

Объединяя уравнения (1) и (2) в систему решаем их и находим значения ЭДС батареи и сумму: ее внутреннее сопротивление + внутреннее сопротивление амперметра.

Затем убираем вольтметр и неизвестный резистор, а вместо них поочередно подключаем к выводам черного ящика и измеряем силу тока. В результате имеем следующие уравнения:

$$\begin{cases} I_{1-2} = \frac{\varepsilon}{r + R_1 + R_2}, \\ I_{1-3} = \frac{\varepsilon}{r + R_1 + R_3}, \\ I_{2-3} = \frac{\varepsilon}{r + R_2 + R_3}. \end{cases} \quad (3)$$

Решаем эту систему уравнений относительно неизвестных сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$ .



## 8. Спрятанный конденсатор.

Нужно измерить ёмкость выданного конденсатора и измерить его свойства.

Оборудование: конденсатор, который спрятан внутри картонного цилиндра, один из его выводов заранее припаян к минусу батарейки, и его не разрешается отключать! батарейка, вольтметр «школьный», резистор 1 кОм, часы, соединительные провода.

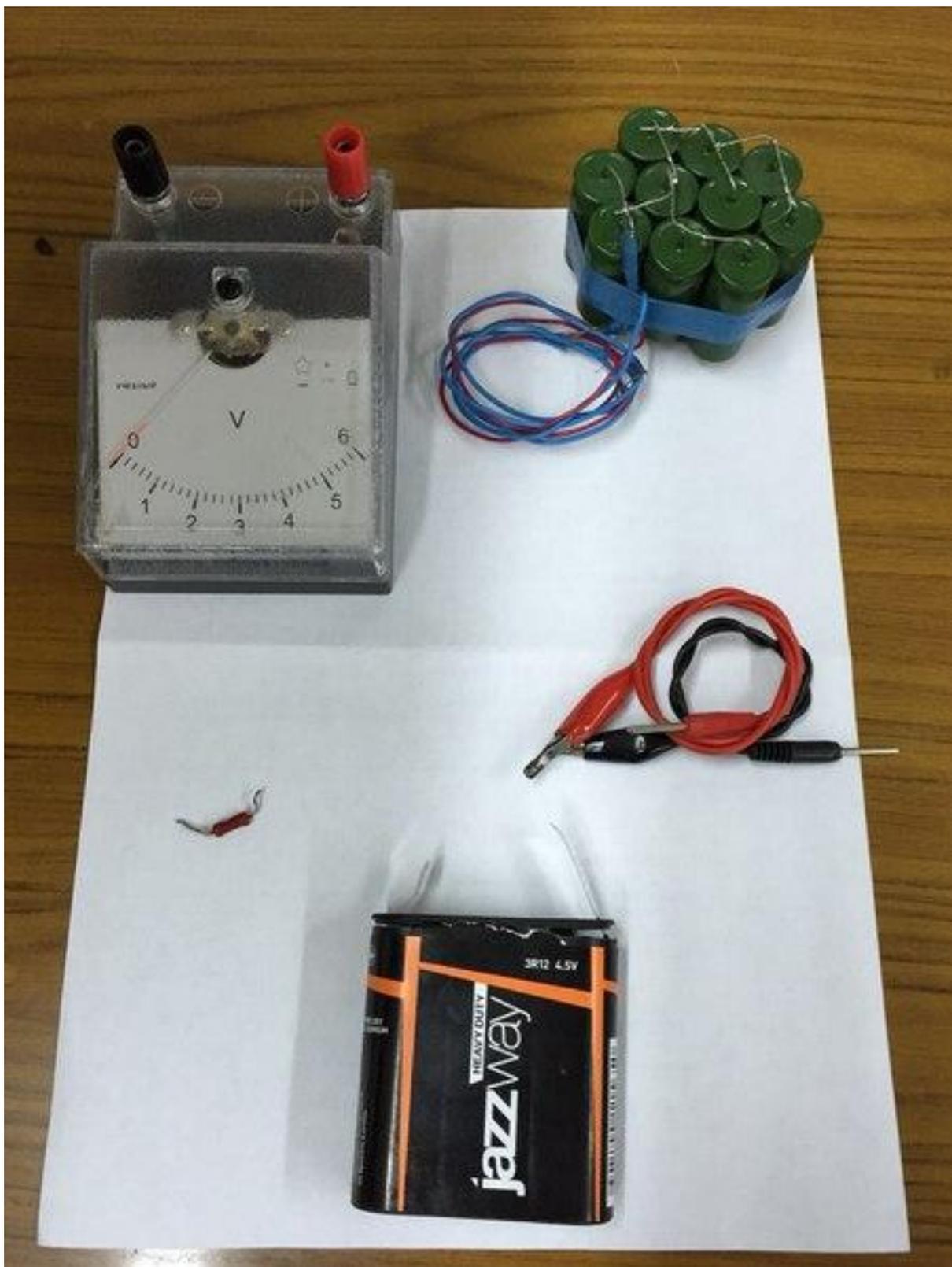
Решение: Не сказано, какие электрические параметры, кроме ёмкости, нужно измерить. Попытаемся найти величину сопротивления утечки конденсатора, узнать зависимость ёмкости от разности потенциалов на обкладках этого конденсатора.

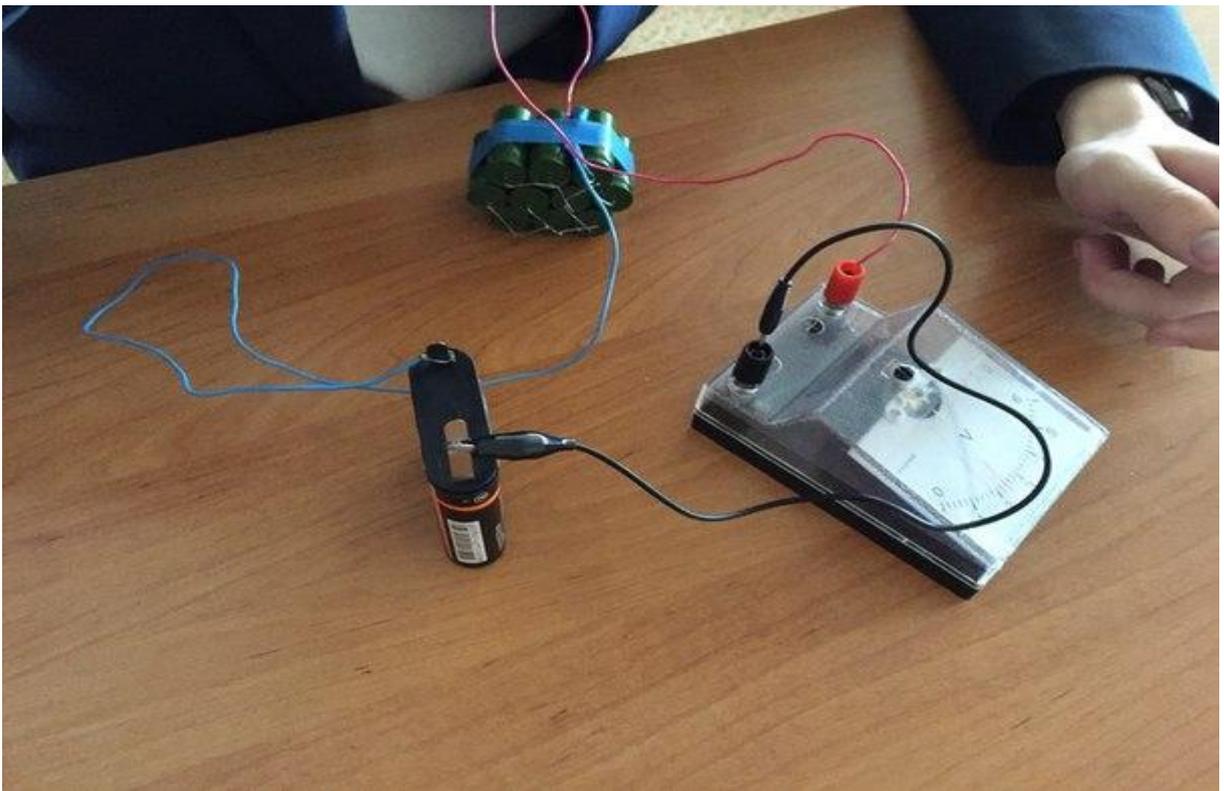
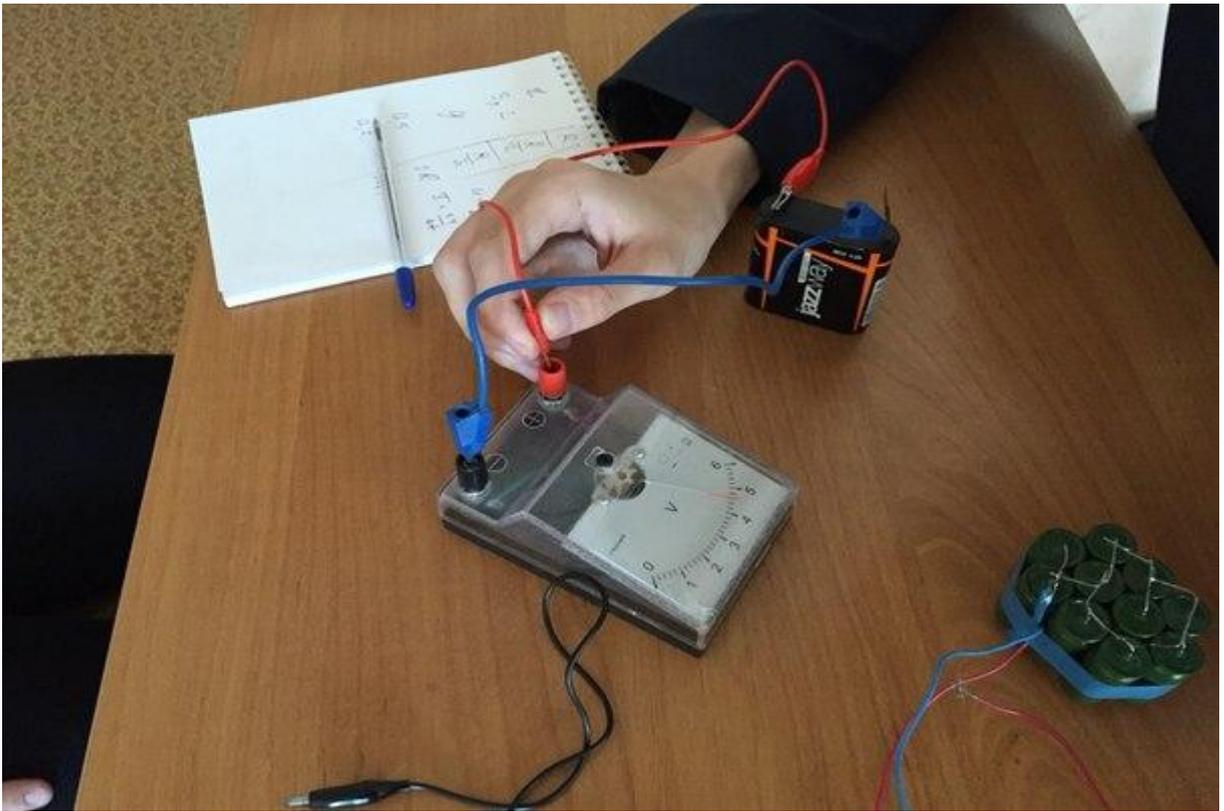
Сначала с помощью вольтметра измерим ЭДС батарейки.

Зарядим конденсатор, подключив его к выводу батарейки. Подержим их соединёнными около минуты, чтобы наверняка. Затем отключим конденсатор от батарейки и подключим его к выводам вольтметра. Вольтметр показывает напряжение, которое совпадает с ЭДС батарейки. Показания вольтметра медленно уменьшаются, совсем не быстро. Это говорит о том, что произведение ёмкости конденсатора на величину внутреннего сопротивления вольтметра много больше 100 секунд. Подключим параллельно конденсатору резистор 1 кОм. Разряд начинает идти быстрее, но всё равно не слишком быстро. По временной зависимости показаний вольтметра, мы можем оценить постоянную времени разряда, через известный резистор по формуле:  $\tau = RC$ . Получается около 100 секунд, то есть ёмкость конденсатора порядка 0,1 Фарад.

Чтобы оценить внутреннее сопротивление утечки, нужно зарядить конденсатор от батарейки и отключить его. Подождём около 10–20 минут. И опять подключим конденсатор к вольтметру. Напряжение, которое показывает вольтметр, заметно, но не намного, меньше ЭДС батарейки. С

помощью этого эксперимента, так же можно оценить сопротивление саморазряда конденсатора.





#### **IV. Заключение.**

Экспериментальный компонент в обучении школьников физики чрезвычайно важен, ведь истину или наше представление о ней мы проверяем на опыте. Особенно важно знакомство обучающихся с экспериментальной физикой в контексте актуального сейчас инженерного образования.

В настоящей работе мы предлагаем учителю обширную подборку описаний экспериментальных заданий с решениями, которые могут быть полезны при подготовки одаренных школьников к экспериментальным турам предметных олимпиад разного уровня.

Задания прошли успешную апробацию в профильном физико-математическом классе школы №145, вызвали неподдельный интерес у учащихся. Процедура апробации способствовала успешному выступлению учеников класса на городской олимпиаде по физике – 4 призовых места.

## Список литературы:

1. Всероссийская олимпиада – история движения. [http://a-elita.net/all\\_russian\\_olympiad/history/](http://a-elita.net/all_russian_olympiad/history/)
2. Олимпиадное движение в системе образования и в школе.  
Олимпиадное движения в школе. <http://www.afportal.ru/physics>
3. Олимпиадное движение. История. <http://www.physolymp.ru/history/>
4. История олимпиадного движения.  
<http://www.jyu.fi/tdk/kastdk/olympiads/>
5. Задачи московских физических олимпиад. А.И. Буздин; В.А.Ильин; Н.А. Свешников / Под. ред. С.С. Кротова. –М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1988.-192 с.- (Б-чка «Квант». Вып.60.) – 40 к.
6. Олимпиадные задачи по физике. М.И. Бакунов; С.Б. Бирагов / Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003г.
7. Всероссийские олимпиады по физике. 1992-2001: Под. ред. В 85 С.М. Козела; В.П. Слободянина.-М.: «Вербум-М», 2002.-392 с.
8. Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах.- М. : МЦМНО, 2008. – 161 Варламов С. Д., Зильберман А. Р., Зинковский В. И.