

ISSN 2307-5457	НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ
<i>Primus inter pares</i>	 <b>УЧЕБНАЯ ФИЗИКА</b>
Материалы XXVII Всероссийской научно-практической конференции	Июль - сентябрь 2022 №3
«Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения»	Издается с января 1997 года

## СОДЕРЖАНИЕ

### Основная школа

Е. И. Вараксина И. И. Мышкин	НОВИЗНА В УЧЕБНОМ ПРОЕКТЕ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МОДЕЛИ УНИПОЛЯРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ .....	3
---------------------------------	---	---

### Старшая школа

Б. А. Мукушев	ОБУЧЕНИЕ ШКОЛЬНИКОВ СОСТАВЛЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ .....	7
В. В. Майер К. М. Курбоналиев	УЧЕБНАЯ МОДЕЛЬ ТРУБЫ ГАЛИЛЕЯ Дидактическое исследование: физико-технический этап .....	17

### Высшая школа

С. М. Кокин С. Г. Стоюхин С. В. Мухин	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ» .....	28
В. В. Майер Е. И. Вараксина И. А. Васильев	ГЕНЕРАТОР И ИНДИКАТОР ДЛЯ УЧЕБНЫХ ОПЫТОВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ...	34

### Компьютер в эксперименте

С. В. Марков	ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ МИКРОСХЕМЫ ADE7757 И МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ ПЛАТЫ ARDUINO UNO ...	41
--------------	---	----

## Науковедение

Ю. А. Сауров	О ТЕМАХ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МЕТОДИКЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ .....	53
--------------	---	----

## Исследования

Е. И. Вараксина	ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА .....	61
-----------------	---	----

АВТОРЫ ЖУРНАЛА .....	67
----------------------	----

ABSTRACTS .....	68
-----------------	----

---

### Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

### Редакционный совет:

В. Е. Антонов	д.ф.-м.н., с.н.с., ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Л. Д. Григорьева	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
С. С. Назин	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
Э. В. Суворов	д.ф.-м.н., профессор, ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Я. А. Чиговская-Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГГПИ, Глазов

### Оргкомитет конференции:

М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

**Адрес редакции, издателя и типографии:** 427621, Удмуртия, Глазов,  
Первомайская, 25, Пединститут, Телефон: (341 41) 5-32-29.

*E-mail: kropa@bk.ru*

---

**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77-69506.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 01.11.22. Подписано в печать 19.12.22. Дата выхода в свет: 23.12.22.  
Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 153. Тираж 200 экз. Цена свободная.

**Первая страница обложки:** Определение напряжения, вырабатываемого электрофорной машиной, по длине искры между шаровыми электродами (см. статью: Майер В. В., Вараксина Е. И. Искровой вольтметр для измерения высокого напряжения // Учебная физика. — 2021. — № 3. — С. 3–10).

УДК 530.1:536.631

С. М. Кокин, С. Г. Стоюхин, С. В. Мухин  
**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**  
**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ**  
**МЕТАЛЛА МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ»**

Описана работа для студенческого лабораторного практикума по физике «Определение удельной теплоемкости металла методом охлаждения». Установка оригинальной конструкции создана на кафедре «Физика» РУТ (МИИТ).

*Ключевые слова:* удельная теплоемкость, термопара, эталонный образец, нагрев, охлаждение.

При организации лабораторного практикума по разделу «Молекулярная физика и термодинамика» порой приходится сталкиваться с проблемой ограниченности выбора имеющихся на кафедре соответствующих работ. Поставленная нами лабораторная работа «Определение удельной теплоемкости металла методом охлаждения» [1] является примером решения данной проблемы.

Понятие теплоемкости входит во все программы по физике, как в средней, так и в высшей школе, однако на возможную зависимость этого параметра от температуры, как правило, не обращается внимания. Но в реальной жизни эта зависимость может иметь существенное значение. В качестве примера ниже приведена таблица для значений удельной теплоемкости металла (меди) при различных температурах [2].

Таблица 1

Температура, °С	83	293	373	573	873	1173	1356
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	259	381	399	422	456	482	533

Следует отметить, что известная формула Дебая, определяющая зависимость теплоемкости от температуры, справедлива только для материалов с простыми кристаллическими решетками, для более сложных случаев она неприменима. В то же время получение значений теплоемкости при произвольной температуре для неизвестного материала является важной научно-технической задачей.

В рамках предлагаемой лабораторной работы студенту необходимо определить значение удельной теплоемкости «неизвестного» металла при некоторой (заданной преподавателем) температу-

ре (в диапазоне от  $+100\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+400\text{ }^\circ\text{C}$ ). В основу эксперимента положена методика [3], разработанная в 40-х годах XX века сотрудниками НИИФ МГУ Я. А. Туровским и Г. М. Бартевым.

Ключевые моменты методики проведения измерений и обработки полученных данных заключаются в следующем.

Тело, нагретое до температуры выше температуры окружающей среды, остывая, отдает окружающей среде определенное количество теплоты. По определению коэффициент теплоотдачи (теплопередачи) равен:

$$\alpha = \frac{\delta Q}{\Delta T dS}, \quad (1)$$

где  $\delta Q$  — тепловой поток сквозь элемент поверхности площадью  $dS$ , а  $\Delta T$  — тепловой напор (разность температур двух сред, между которыми происходит теплообмен). Исходя из этого определения, количество теплоты, отдаваемое со всей поверхности тела за единицу времени, можно определить как:

$$Q = \int_S \alpha (T_{\text{пов}} - T_0) dS, \quad (2)$$

где  $S$  — площадь поверхности,  $T_{\text{пов}}$  — температура поверхности тела,  $T_0$  — температура окружающей среды,  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи.

Поскольку удельная теплоемкость тела массой  $m$  определяется, как

$$c = \frac{\delta Q}{m dT}, \quad (3)$$

то, учитывая, что  $m = \rho V$ , где  $\rho$  — плотность вещества, а  $V$  — объем тела, можно определить количество теплоты, отданной телом в единицу времени еще и следующим образом:

$$Q = - \int_V c \rho \frac{\partial T}{\partial t} dV. \quad (4)$$

Формулы (2) и (4) описывают одно и то же количество теплоты, поэтому

$$\int_V c \rho \frac{\partial T}{\partial t} dV = - \int_S \alpha (T_{\text{пов}} - T_0) dS. \quad (5)$$

Выполнение лабораторной работы строго по методике, предложенной в [3], занимает достаточно много времени, превышающего академическую пару. Именно поэтому нами было предложено использовать ряд приближений, которые позволяют упростить процесс расчетов, сократить объем измерений, но, тем не менее, получить результаты вполне сопоставимые с известными табличными данными для исследуемых образцов.

*Приближение 1:* удельная теплоемкость и плотность вещества не зависят от объема, а коэффициент теплоотдачи постоянен по поверхности.

*Приближение 2:* малым изменением объема тела в процессе нагревания и охлаждения по сравнению с его общим объемом можно пренебречь.

С учетом этих приближений из равенства (5) получаем:

$$Vc\rho\langle\partial T/\partial t\rangle = -\alpha S\langle T_{\text{пов}} - T_0\rangle, \quad (6)$$

где  $\langle\partial T/\partial t\rangle$  представляет собой среднее значение скорости охлаждения образца по объему  $V$ , а  $\langle T_{\text{пов}} - T_0\rangle$  — среднее значение разности температур  $T_{\text{пов}}$  и  $T_0$  по поверхности  $S$ .

Для определения теплоемкости используются два образца: эталонный (зависимость удельной теплоемкости от температуры для которого известна) и исследуемый, «неизвестный». В рамках настоящей работы студенты проводят эксперимент с образцами, имеющими одинаковую форму, равные объемы и площади поверхности, поэтому для каждого из них можно записать:

$$\begin{aligned} Vc_{\varepsilon}\rho_{\varepsilon}\langle\partial T/\partial t\rangle_{\varepsilon} &= -\alpha_{\varepsilon}S\langle T_{\text{пов}} - T_0\rangle_{\varepsilon}, \\ Vc_x\rho_x\langle\partial T/\partial t\rangle_x &= -\alpha_xS\langle T_{\text{пов}} - T_0\rangle_x. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь индекс  $\varepsilon$  относится к эталонному образцу, а индекс  $x$  — к неизвестному. Из уравнений (7) следует:

$$c_x = c_{\varepsilon} \frac{\rho_{\varepsilon}\langle\partial T/\partial t\rangle_{\varepsilon}\alpha_x\langle T_{\text{пов}} - T_0\rangle_x}{\rho_x\langle\partial T/\partial t\rangle_x\alpha_{\varepsilon}\langle T_{\text{пов}} - T_0\rangle_{\varepsilon}}. \quad (8)$$

*Приближение 3:* считаем, что коэффициенты теплоотдачи для эталонного тела и исследуемого образца равны ( $\alpha_{\varepsilon} = \alpha_x$ ).

Необходимо отметить, что, вообще говоря, коэффициент теплоотдачи является сложной функцией геометрических характеристик тела, температуры, скорости течения окружающего воздушного потока, плотности вещества и так далее. Авторы методики [3] пытались достичь равенства коэффициентов теплоотдачи путем специальной обработки поверхностей обоих тел, хромируя

их непосредственно перед измерениями. Такое покрытие теряет свои свойства со временем, и в условиях учебной лаборатории оперативно восстановить его не представляется возможным. Но получаемые в рамках данной лабораторной работы результаты говорят о том, что приближение  $\alpha_3 = \alpha_x$  практически не влияет на величину погрешности в определении удельной теплоемкости исследуемого образца.

Теперь если сравнивать данные измерений при одинаковой температуре образцов, то выражение (8) можно записать в следующем виде:

$$c_x = c_3 \frac{\rho_3 \langle \partial T / \partial t \rangle_3}{\rho_x \langle \partial T / \partial t \rangle_x}. \quad (9)$$

В ходе работы студент нагревает исследуемый образец до температуры  $+300$  °С (это занимает примерно 30 минут), а затем (после отключения печки) проводит измерения зависимости спада со временем  $t$  температуры  $T_x$  исследуемого образца. Данные измерений отображаются в виде графика  $T_x(t)$ .

В методических указаниях приведена таблица зависимости спада со временем  $t$  температуры  $T_3$  эталонного образца; студент также строит соответствующий график  $T_3(t)$ .

Преподаватель указывает значение температуры  $T$ , для которой нужно рассчитать значение  $c_3$ , студент находит соответствующие значения  $t_x$  (по данным измерений) и  $t_3$  (по таблице), а затем, пользуясь построенными графиками, определяет скорости спада температуры образцов  $\langle \partial T / \partial t \rangle_x$  и  $\langle \partial T / \partial t \rangle_3$ , как тангенсы углов наклона касательных, построенных к кривым  $T_x(t)$  и  $T_3(t)$  в точках  $t_x$  и  $t_3$ , соответственно.

Значение удельной теплоемкости  $c_3$  эталонного образца (меди) при той же температуре  $T$  находится по приведенной в методичке таблице, значения плотности  $\rho_x$  и  $\rho_3$  считаются известными (указаны). Все это позволяет по формуле (8) рассчитать удельную теплоемкость исследуемого образца при температуре  $T$ .

Студенту предлагается самостоятельно (по известному значению плотности  $\rho_x$ ) выдвинуть предположение о том, из какого материала изготовлен исследуемый образец, и затем сравнить полученное в работе значение  $c_x$  с тем, которое приводится для этого материала в соответствующих таблицах.

Несколько слов о самой установке.

В качестве нагревательного элемента (печки) в ней используется керамический резистор типа ПЭВМ; исследуемый образец имеет форму цилиндра, диаметр которого подобран так, чтобы он входил внутрь резистора. Образец имеет полость, в которую вставляется керамический стержень с хромель-алюмелевой тер-

мопарой. Размер образца невелик, и можно считать, что в ходе эксперимента его температура во всех точках (в том числе — внутри, там, где находится термомпара) одинакова.

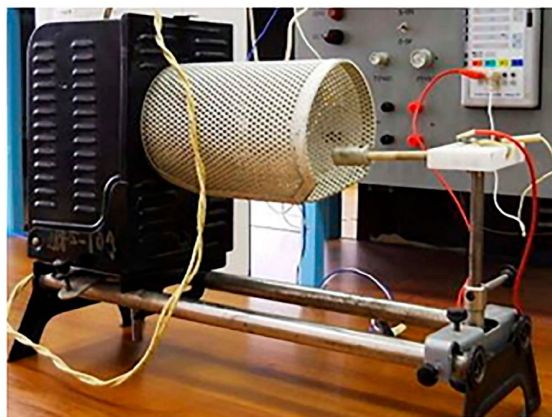


Рис. 1. Установка к лабораторной работе: вид сбоку

Для того, чтобы печка не разрушалась при быстром нагреве, к ней последовательно подключен конденсатор типа КБГ (параллельно которому — из соображений безопасности — подпаяно омическое сопротивление). Сама печка помещена в металлический защитный кожух (мы использовали кожух от ФОС). Нагретый образец, выведенный из печки, остывает в пространстве ограниченном защитной сеткой; процесс остывания (во время которого проводятся измерения) занимает 30–40 минут.

Фотографии установки приведены на рис. 1 и 2. На рис. 2 хорошо видны корпус ФОС 1, защитная сетка 2, цилиндрический образец 3 на конце керамического стержня 4 и сама печка в виде керамического резистора 5. Все эти элементы закреплены на едином рельсе 6, что делает удобным процесс перемещения образца.

Методические указания к выполнению лабораторной работы представлены в сборнике [4].

Определение температуры образца проводится с помощью термопары хромель–алюмель, градуировочные значения для которой приведены в методичке. Эти значения соответствуют случаю, когда свободные концы термопары находятся при  $0^{\circ}\text{C}$ . Для корректной работы студенту необходимо учесть поправку на реальное значение температуры воздуха в лаборатории (методическое пособие содержит развернутое описание того, как это делается, с несколькими числовыми примерами).



По данной работе отснят видеоролик (без комментариев преподавателя), который позволяет снять зависимость  $T_x(t)$  в домашних условиях с экрана компьютера, что дает возможность выполнить задание в режиме удаленного доступа (например, при карантине).

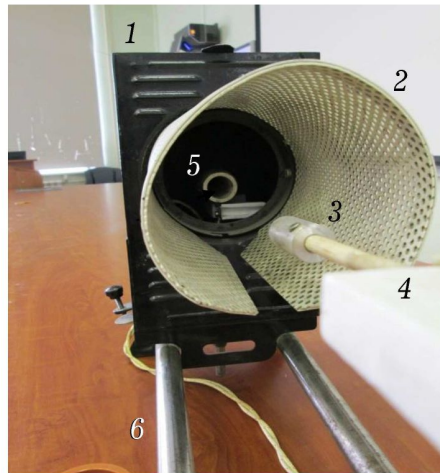


Рис. 2. Установка к лабораторной работе: вид спереди

Наш опыт говорит о том, что работа вызывает интерес у студентов, причем они вполне успевают выполнить ее за одно занятие.

При желании работа может быть расширена добавлением измерений спада температуры со временем для эталонного образца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кокин С. М., Стоюхин С. Г., Мухин С. В. Постановка лабораторной работы «Определение удельной теплоемкости металла методом охлаждения» // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 49–51.
2. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник. — М.: Атомиздат, 1968. — 484 с. (С. 180).
3. Туровский А. А., Бартенев Г. М. Определение теплоемкости металлов методом охлаждения // ЖТФ. — 1940. — Т. 10, вып. 6. — С. 514–524.
4. Методические указания к лабораторным работам «Определение коэффициента вязкости жидкости», «Определение молярной массы воздуха», «Определение удельной теплоемкости металлов методом охлаждения», «Измерение относительной влажности воздуха» // В Универе.ру. Учебные материалы для студентов. Режим доступа: URL: <https://vunivere.ru/work12501> (дата обращения: 14.07.2022).

Российский университет  
транспорта (МИИТ)

Поступила в редакцию 18.08.22.



## ABSTRACTS

**Varaksina E. I., Myshkin I. I. Novelty in a training project devoted to improve the model of a unipolar electric motor.** It is shown that didactic novelty in an educational physics experiment can be achieved by developing a demonstration version of a well-known individual experiment. *Keywords:* unipolar electric motor, demonstration model, didactic novelty.

**Mukushev B. A. Teaching schoolchildren to compose problems in physics.** The article reveals the genesis of educational physical problems and outlines methodological approaches to the creation of original problems in physics. *Keywords:* educational physical problems, creation of new problems, evolution of physical problems.

**Mayer V. V., Kurbonaliev K. M. Educational model of Galileo's telescope. Didactic research: the physics stage.** The physics stage of didactic research is presented. The purpose of the research is to develop an educational model of Galileo's telescope. The device is intended for use in a laboratory experiment of a general physics course at pedagogical university and as an object of research in a student's physics project. *Keywords:* Galileo telescope, didactic research, general physics, pedagogical university, laboratory experiment, school physics, student project.

**Kokin S. M., Stouykhin S. G., Mukhin S. V. The laboratory work «Determination of metal specific heat capacity by cooling method».** The paper describes the work for a student laboratory workshop on physics «Determination of the specific heat capacity of metal by cooling». The installation of the original design was created on the Department «Physics» of RUT (MIIT). *Keywords:* specific heat capacity, thermocouple, reference sample, heating, cooling.

**Mayer V. V., Varaksina E. I., Vasiliev I. A. Generator and indicator for educational experiments with electromagnetic radiation.** The design and technology of self-manufacturing of a micro-powerful generator and a sensitive indicator of electromagnetic radiation are described. The devices operate in the decimeter range allowed for amateur radio experiments (433 MHz). *Keywords:* electromagnetic radiation, decimeter range, 433 MHz, micro-power generator, sensitive indicator.

**Markov S. V. Measurement of active power in the alternating current single-phase network using the ADE7757 microchip and Arduino Uno microcontroller board.** It is proposed to use a specialized ADE7757 chip and an Arduino UNO microcontroller board in the training experiment to measure the active power consumption and AC electricity in the household electrical network. This material provides information about the connection of the measuring circuit to the microcontroller, the connection of the current-measuring shunt and the implementation of galvanic isolation of the microcontroller from the network. The source code for the Arduino UNO microcontroller board is also provided. *Keywords:* active power, alternating current, microcontroller Arduino Uno, digital electrical energy meter, electroplating, ADE7757, computer experiment.

**Saurov Yu. A. About the topics of cognitive activity in the methodology of teaching physics.** The article draws attention to the problems (topics) of scientific and methodological research that are relevant in the medium term. *Keywords:* scientific problems, methodological activity, research, design, management.

**Varaksina E. I. The main stages of scientific research of educational physical experiment.** The necessity to develop the direction of didactics of physics related to the development of the methodology of scientific research of educational physical experiment is substantiated. The didactic, physical, technical, methodological and pedagogical stages of such research are highlighted and briefly considered. *Keywords:* scientific research, educational physical experiment.