



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК ВНУТРИ	
И. Н. Данилов	ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА	3

Старшая школа

А. Г. Некрасов	ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛА КАРНО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ <i>L-MICRO</i>	7
Е. И. Вараксина А. А. Попова	ДИДАКТИЧЕСКИЙ РЕСУРС УЧЕНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЛИПСА»	13

Высшая школа

С. А. Герасимов	ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НЕЗАМКНУТЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, ИЛИ КАК ИЗМЕРИТЬ СИЛУ САМОДЕЙСТВИЯ?	22
В. В. Майер	ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ: КОНСПЕКТ ЛЕКЦИИ ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА	30

Компьютер в эксперименте

С. В. Марков ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПЕРЕМЕННОГО
ТОКА НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ
AD9833 ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ
С АДРЕСНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ ЛЕНТАМИ 41

Е. И. Вараксина ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС
О. Л. Соколова ПО ФИЗИКЕ В УЧЕБНОМ ПРОЕКТЕ ПО ИНФОРМАТИКЕ .. 52

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 67

ABSTRACTS 68

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акагов, 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 ГППИ, Глазов

Оргкомитет конференции:

М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Ю. В. Иванов	к.п.н., доцент, Глазов
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, ФГБОУ ВО «ГППИ». 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 12.05.21. Подписано в печать 15.06.21. Дата выхода в свет: 28.06.21.
Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 146. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Современный вариант знаменитого опыта Г. Герца по поляризации электромагнитных волн (Mayer V V and Varaksina E I 2021 Modern demonstration experiments for H Hertz's experimental study *Eur. J. Phys.* **42** 025201).

УДК 372.853

А. Г. Некрасов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛА КАРНО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *L-MICRO*

Предложена методика проведения урока, посвященного изучению цикла Карно. На уроке используется цифровая лаборатория *L-micro*.

Ключевые слова: урок, учебное исследование, цикл Карно, лаборатория *L-micro*.

Тема: «Цикл Карно», 10 класс. **Форма:** урок–исследование. **Цели:** развивать у учеников интерес к техническому прогрессу, уважение к научным достижениям ученых и инженеров; изучить принцип работы идеального теплового двигателя, работающего по замкнутому циклу Карно; показать значимость применения тепловой машины в жизни человека.

1. Учебная теория

При соприкосновении тел с различной температурой T_1 и T_2 более горячее тело (в дальнейшем нагреватель) передаст более холодному (холодильник) некоторое количество тепла Q (рис. 1).

При этом, естественно, уменьшается интенсивность хаотических тепловых движений молекул горячего тела. В свою очередь, интенсивность молекулярного движения в холодном теле возрастает. Процесс перехода тепла от горячего тела к холодному необратим, и можно ожидать, сколь угодно долго, и ни разу не обнаружить случая, когда (для систем с достаточно большим числом молекул) тепло само собой передастся от более холодного тела к более горячему.

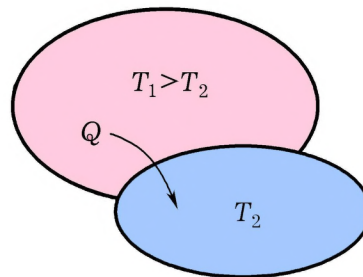


Рис. 1

Возникает проблема, а нельзя ли некоторую часть передаваемого тепла превратить в работу, то есть за счет энергии хаотических тепловых движений создать необходимые для техники направленные механические движения макроскопических тел (машин, механизмов). Сразу очевидно, что при этом нельзя превратить в работу все отнятое от нагревателя тепло, а лишь некоторую его часть ηQ , где η есть так называемый коэффициент полезного действия теплового

двигателя (КПД). Как показывает практика, первые такие тепловые двигатели XIX века (а это паровая машина) имели весьма низкий КПД, менее 10%. Потребовалось тогда выяснить причину столь низких значений КПД: дело ли в конкретных несовершенствах разработанных машин, или достижение более высоких значений КПД невозможно вообще и противоречит законам физики. Ответ на этот вопрос, еще до полной разработки теоретических основ статистической физики, был получен французским инженером Сади Карно, представившим мысленно идеальную циклическую работу теплового двигателя и подсчитавшего величину максимально возможного значения КПД идеального двигателя, если в качестве рабочего тела используется идеальный газ. Весьма прозорливо С. Карно сконструировал свой идеальный цикл из двух изотерм и двух адиабат — процессов полностью обратимых.

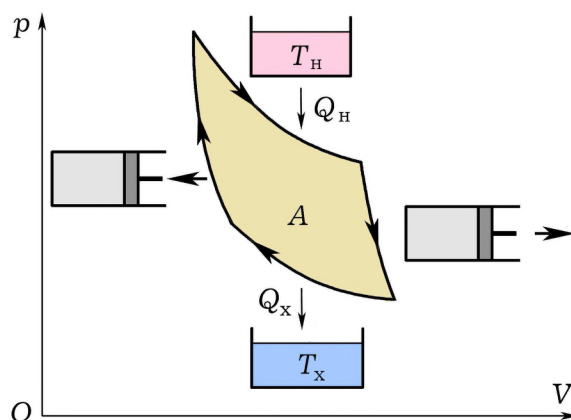


Рис. 2

Итак, рассмотрим цикл Карно, в котором участвуют четыре тела: рабочее тело (идеальный газ), нагреватель с температурой T_H , холодильник с температурой T_X и поршень (рис. 2).

На первом участке цикла идеальный газ приводится в соприкосновение с нагревателем, и при соприкосновении с нагревателем и при возможно малом перепаде температур изотермически нагревается, получая некоторое количество тепла Q_H и превращая его в работу расширения.

Затем, на втором участке, рабочее тело отключается от нагревателя и, адиабатически расширяясь, производит еще дополнительную работу за счет уменьшения своей внутренней энергии и понижения температуры до значения бесконечно близкого к температуре холодильника T_X .

На третьем участке газ изотермически сжимается, производя отрицательную работу, то есть заставляя работать поршень, и при

этом отдает обратимым путем холодильнику некоторое количество тепла Q_x . Этот процесс доводится до такой точки (состояния), чтобы рабочее тело могло из нее вернуться в исходное состояние строго по адиабате.

На последнем адиабатическом участке рабочее тело отсоединяется от холодильника, и поршень возвращает часть полученной работы, ровно столько, сколько он получил на втором участке цикла, и восстанавливается первоначальная энергия и температура рабочего тела.

По окончании цикла его можно повторять сколь угодно раз, получая каждый раз одну и ту же работу $A = Q_n - Q_x$. КПД цикла вычисляется по формуле $\eta = A/Q_n = (Q_n - Q_x)/Q_n$.

Однако приведенные выше рассуждения носят ограниченный характер, а именно, что это идеальная машина, а рабочее тело — идеальный газ. Эту проблему можно снять, если попытаться провести цикл Карно с использованием лаборатории *L-micro*. Тогда нам нет необходимости ограничиваться применением в качестве рабочего тела только идеальным газом.

2. Учебный эксперимент

Эксперимент по моделированию цикла Карно основан на использовании лаборатории *L-micro* «Газовые законы и свойства насыщенных паров» [2].

Установка (рис. 3) представляет собой герметический резервуар 1, составляющий единую конструкцию с датчиком измерения объема 3. Объем резервуара изменяется при движении внутри него поршня 2, осуществляемого вручную за счет вращения винта 4. С поршнем жестко связана подвижная часть датчика изменения объема. Давление газа измеряется датчиком абсолютного давления 5, который присоединяется к цилиндру с помощью вакуумного шланга 6. Объем резервуара меняется в пределах 30–110 мл. Подготовка к эксперименту осуществляется в соответствии с руководством [2]. Датчик давления подключается к разъему 1 измерительного блока, а датчик объема — к разъему 2.

Поршень необходимо установить в среднее положение, после чего присоединить шланг к датчику абсолютного

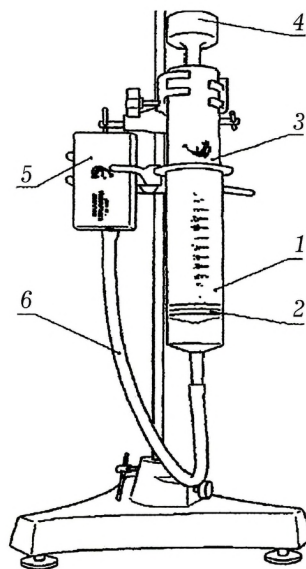


Рис. 3

давления. С помощью рукоятки винта уменьшить объем до нужного значения (пока не загорится индикаторная лампочка на датчике объема). Запустить программу *L-микро*, нажав на кнопку «Молекулярная физика», выбрать раздел «Газовые законы и свойства насыщенных паров», а в нем — эксперимент «Изотермический процесс». Выбираем вариант представления данных в p - V координатах при проведении цифровых измерений. При нажатии кнопки «настройка» можно увидеть начальные показания давления и объема.

На начальном этапе эксперимента снимем изотерму при расширении нагретого воздуха в объеме резервуара. Для нагревания воздуха резервуар помещают в сосуд с водой, нагретой до $\sim 80^\circ\text{C}$. Изотерму снимают при увеличении объема воздуха в резервуаре.

Затем резервуар очень быстро помещают в сосуд с водой комнатной температуры и сразу продолжают быстро выкручивать винт так, чтобы давление падало незначительно. Именно потому, что процесс происходит быстро с понижением температуры газа, можно надеяться на его адиабатичность. Процесс адиабатного расширения продолжают до тех пор, пока давление газа не прекратит уменьшаться.

Далее, уменьшая объем с помощью винта, снимаем изотермический процесс при комнатной температуре. Снятие изотермы необходимо проводить до того значения объема, после которого можно будет адиабатически вернуться в исходное состояние газа.

Для осуществления этого адиабатного процесса необходимо резервуар вынуть из сосуда и снова поместить в сосуд с горячей водой. При этом быстро уменьшают объем воздуха до такой величины, пока кривая не совпадет с исходной точкой начального состояния. На экране должна получиться примерно следующая картина (рис. 4).

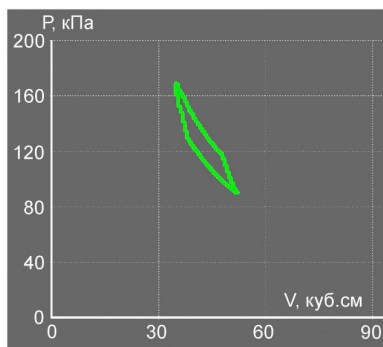


Рис. 4

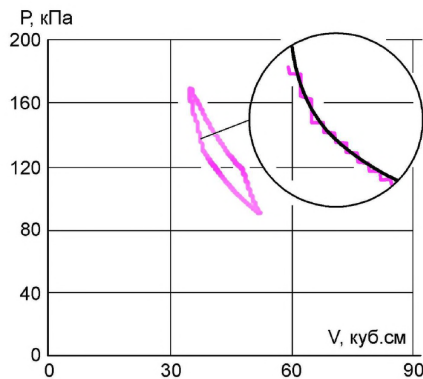


Рис. 5

Если с изотермами не возникает вопроса, то на получаемых адиабатах необходимо остановиться подробнее. Прежде всего, надо проверить выполнимость уравнения адиабаты $pV^\gamma = \text{const}$ (где

$\gamma = 1,4$ — показатель адиабаты для воздуха) для точек, принадлежащих адиабате.

На рис. 5 в качестве примера изображена полученная в эксперименте адиабата. Любой процесс изменения макроскопических параметров (V, T, p) можно представить как последовательность бесконечно малых изотермических участков, что имеет важное значение для понимания квазистатического процесса и хорошо заметно на рис. 5 при увеличении. Таким образом, получен замкнутый цикл Карно, представленный на рис. 4. Для учебных целей это хорошая демонстрация «реального» цикла Карно.

3. Анализ экспериментальных результатов

Рассмотрим полученный в эксперименте цикл Карно (рис. 4). Программное обеспечение позволяет снять точки графика и представить графическую информацию в виде табличной. По данным таблицы можно построить график (рис. 6) и произвести необходимые расчеты.

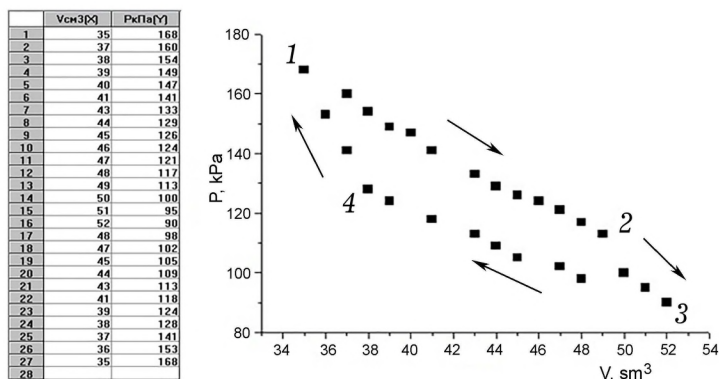


Рис. 6

На рис. 6 стрелками показано направление процесса. Участок 1–2 изотермическое расширение газа при $t \approx 80^\circ\text{C}$. Участок 2–3 адиабатное расширение. Участок 3–4 изотермическое сжатие при $t \approx 20^\circ\text{C}$. И, наконец, участок 4–1 адиабатное сжатие.

По данным рис. 6 имеем: $p_1 = 168$ кПа, $V_1 = 35$ см³; $p_2 = 117$ кПа, $V_2 = 48,4$ см³; $p_3 = 90$ кПа, $V_3 = 52$ см³; $p_4 = 128$ кПа, $V_4 = 37,8$ см³.

Рассчитаем работы на изотермах: $p_1V_1 = 5,88$ Дж, $p_2V_2 = 5,66$ Дж, $p_3V_3 = 4,68$ Дж, $p_4V_4 = 4,84$ Дж. Видим, что для точек 2 и 3 $p_1V_1 \approx p_2V_2$ и $p_3V_3 \approx p_4V_4$.

Оценим работы на адиабатах: $p_2V_2^\gamma \approx 0,1$ Дж, $p_3V_3^\gamma \approx 0,091$ Дж. Расхождение порядка 9%.

Для точек 4 и 1 соответственно имеем: $p_4 V_4^\gamma \approx 0,083$ Дж, $p_1 V_1^\gamma \approx 0,097$ Дж. В этом случае отличие составляет около 14%. Для учебных целей эти расхождения вполне приемлемы.

Рассчитаем работу на участках 1–2 и 3–4:

$$A_{1-2} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \approx 1,85 \text{ (Дж)}, \quad A_{3-1} = p_3 V_3 \ln \frac{V_4}{V_3} \approx -1,544 \text{ (Дж)}.$$

По первому закону термодинамики количество теплоты, полученной рабочим телом от нагревателя $Q_H = A_{1-2}$. Количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику, равно $Q_X = A_{3-1} < 0$. Работа газа за цикл $A = Q_H - |Q_X| = 1,85 - 1,544 = 0,306$ Дж. КПД цикла

$$\eta^{\text{эксп}} = \frac{A}{Q_H} = \frac{0,306}{1,85} \cdot 100\% = 16,5\%.$$

Теоретический КПД рассчитаем по формуле:

$$\eta^{\text{теор}} = 1 - \frac{T_X}{T_H} = 1 - \frac{293}{353} = 0,17.$$

Экспериментальное значение КПД не должно превышать теоретическое значение. В нашем случае наблюдается примерное равенство значений КПД. А это значит, что данная учебная работа по моделированию цикла Карно может быть рекомендована не только в качестве демонстрации, но и в качестве учебно-исследовательской работы. Последнее вполне соответствует критериям в преподавании физики в свете идей проекта «Образование».

ЛИТЕРАТУРА

1. Дик Ю. И., Ильин В. А. Большой справочник. Физика для школьников и поступающих в вузы. — М.: Дрофа, 2008. — 735 с.
2. Хоменко С. В., Чарушин А. В. Газовые законы и свойства насыщенных паров. Руководство по выполнению работ. — М.: МГИУ, 2007. — 30 с.
3. Мякишев Г. Я. Физика. 10 кл.: Учеб. для общеобразоват. организаций с прил. на электрон. носителе: базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский. — М.: Просвещение, 2014. — 416 с.

ГБОУ СОШ № 447 Курортного района Санкт-Петербурга Поступила в редакцию 22.12.20.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Danilov I. N. Electric current inside a galvanic cell. A simple demonstration experiment is described, showing that a current flows inside a loaded galvanic cell in the direction from the negative pole of the source to the positive one. A homemade magnetic needle made of neodymium magnets has been used as a current indicator. *Keywords:* current source, electromotive force, electric current in closed circuit.

Nekrasov A. G. Study of the Carnot cycle using L–micro. The method of conducting a lesson dedicated to studying the Carnot cycle is proposed. The lesson uses the L–micro digital laboratory. *Keywords:* lesson, educational research, Carnot cycle, L–micro laboratory.

Varaksina E. I., Popova A. A. Didactic resource of students' project «Optical properties of ellipse». The necessity of organizing project activity of an interdisciplinary nature when studying mathematics is justified. Simple tasks of one of the possible projects devoted to the experimental study of the optical properties of ellipse are proposed. *Keywords:* mathematics, physics, educational project, didactic resource, ellipse.

Gerashimov S. A. Experiments with unclosed electric current, or how to measure the self–force? The self-force by means of which an unclosed system acts on itself can be found and measured in a usual laboratory. For a system consisting of thin magnetized disk and unclosed conductor, the obtained value of the self-force is several orders of magnitude greater than known value. *Keywords:* magnetic field, electric current, weight, magnetization, unclosed conductor.

Mayer V. V. Elements of the theory of optical devices: lecture notes for undergraduate students. The content of the lecture on the discipline «General and experimental physics. Optics» is presented in a summary form. The lecture is developed for bachelor course of pedagogical university. *Keywords:* optical devices, visual observations, magnifying glass, microscope, telescope, diffraction nature of the image, resolution.

Markov S. V. Infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer for demonstration experiments with addressable LED strips. The paper presents an affordable design of an infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer. The generator is designed for the educational study of electrical vibrations in elements included in the AC circuit, the phenomenon of electro–magnetic induction and self-induction together with address ring LED strips. *Keywords:* AD9833 digital frequency synthesizer, infra–low–frequency alternator, electrical oscillations in AC circuits, electromagnetic induction, self–induction, microcontroller board ArduinoUNO, address LED strip.

Varaksina E. I., Sokolova O. L. Physics digital educational resource in a computer science educational project. The content of interdisciplinary students' project in computer science is proposed. The result of the productive activity of teachers and students is a digital educational resource designed for physics lessons on the introduction and formation of the concept of harmonic wave. *Keywords:* computer science, physics, educational project, digital educational resource, harmonic wave, Lazarus.