

Компьютер в эксперименте

В. В. Шамшутдинова	ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	
С. В. Обухов	ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДИФРАКЦИИ	
Ю. Б. Моржикова	ФРАУНГОФЕРА	50

Исследования

В. В. Майер	ЭКСПЕРТИЗА НОВЫХ УЧЕБНЫХ	
Е. И. Вараксина	ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	54

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	67
ABSTRACTS	68
СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ В 2022 ГОДУ	70

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 20.12.22. Дата выхода в свет: 23.12.22. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 154. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Простая лекционная демонстрация токов проводимости и смещения. Для визуализации токов в цепи с конденсатором использованы три одинаковые неоновые лампы.

УДК 372.853:531

В. В. Майер, Е. И. Вараксина
И. А. Васильев, Б. А. Хайдаров

ПРИБОРЫ ДЛЯ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО ФОТОГРАФИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Предлагается в качестве стробоскопического источника света генератор импульсов на таймере *NE555* с двумя фиксированными частотами вспышек сверхъяркого светодиода. Прибор предназначен для самостоятельных экспериментов школьников при изучении механики.

Ключевые слова: стробоскопический источник света, две фиксированные частоты вспышек, самостоятельные опыты школьников.

1. Введение

В статье рассмотрена научная проблема дидактики физики: какие приборы и экспериментальные установки обеспечат при минимальных затратах времени и материальных средств получение на школьных уроках и во внеурочной деятельности стробоскопических фотографий прямолинейно движущихся тел для введения и формирования основных понятий кинематики?

2. Стробоскопический метод изучения явлений кинематики

Представим, что прямолинейное движение тела по скамье изучается стробоскопическим методом. Суть этого метода состоит в том, что на траектории движения фиксируются положения движущегося тела через равные промежутки времени. Простейшая реализация стробоскопического метода осуществляется в опытах с капельницей, которая устанавливается на движущемся теле: капли из нее падают вниз через равные временные интервалы и обозначают на подложке положение тела в соответствующие моменты времени.

В наш век победившей электроники вместо капельницы и подложки естественно использовать электронные устройства. В учебном эксперименте применяются два варианта электронного стробоскопа: освещающий и самосветящийся [1–3].

Освещающий стробоскоп — это периодически вспыхивающий фонарь, прерывистый пучок света которого освещает движущееся

тело, измерительную линейку и другое оборудование, необходимое для создания исследуемого движения и измерения его параметров. Если объектив фотоаппарата открыть на все время движения тела, то получится стробоскопическая фотография, то есть серия изображений тела в те моменты времени, когда происходили вспышки света. Недостаток этого типа стробоскопа состоит в том, что помимо движущегося тела он освещает всю фотографируемую сцену, которая на фотографии получается, грубо говоря, во столько раз ярче изображений тела, сколько вспышек света произведено за время фотографирования. Это очень крупный недостаток, из-за которого стробоскопические фотографии получаются слабоконтрастными.

Самосветящийся стробоскоп представляет собой прерывистый источник света, помещенный непосредственно на движущееся тело. Понятно, что в этом случае яркость сцены и стробоскопического источника можно регулировать независимо друг от друга. Поэтому в учебных опытах по механике предпочтителен именно самосветящийся стробоскоп.

Проводятся опыты следующим образом. Скамью устанавливают так, чтобы было обеспечено необходимое для изучения движение тележки. На тележке закрепляют стробоскоп с источником питания. В предварительном опыте определяют примерную продолжительность исследуемого движения тележки. Устанавливают выдержку фотоаппарата равной найденному времени. Подбирают освещенность лаборатории так, чтобы при установленной выдержке фотосъемки получилось качественное изображение фотографируемой сцены. Наконец, приводят тело в движение и получают стробоскопическую фотографию движущегося тела на фоне нормально освещенной сцены.

Сейчас у любого школьника есть смартфон или планшет, а в кабинете физики имеется цифровой фотоаппарат. Фотокамеры этих устройств оптимально подходят для получения стробоскопических фотографий, если они обеспечивают выдержку, регулируемую в пределах от 0,5 до 2 с. Таким образом, осталось решить проблему самосветящегося стробоскопа, который можно расположить на легкоподвижной магнитной тележке.

3. Простой стробоскоп на популярном таймере

На рис. 1.1 приведена принципиальная схема стробоскопического источника световых вспышек на таймере *NE555* [1]. Он представляет собой генератор прямоугольных импульсов, собранный на микросхеме *NE555*. Это так называемый *таймер*, который характеризуется следующими параметрами: 1) напряжение питания от 4,5 до 16 В; 2) сила выходного тока до 200 мА; 3) частота импульсов не зависит от напряжения питания; 4) промежутки време-

ни задаются с погрешностью, не превышающей 1% от расчетного значения. Осциллограммы вырабатываемых генератором импульсов напряжения показаны на рис. 1.2. Светодиод *HL1*, дающий периодически следующие друг за другом кратковременные вспышки света, подключен к выходу U_2 генератора.

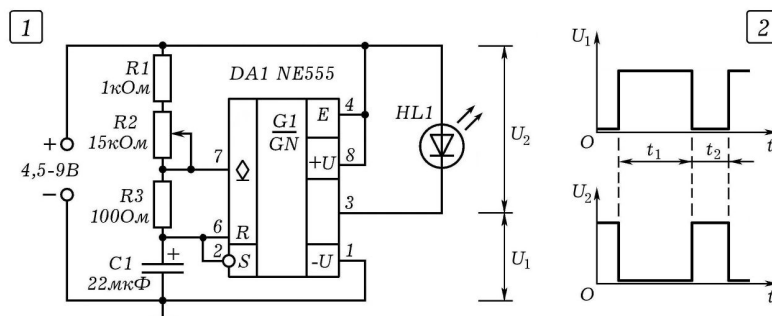


Рис. 1. Описанная в работе [1] принципиальная схема стробоскопа на таймере *NE555*. Частота вспышек плавно регулируется переменным резистором *R2*

Продолжительность паузы между вспышками света $t_1 = \ln 2 \cdot (R'_1 + R'_2)C'$, длительность вспышек $t_2 = \ln 2 \cdot R'_2C'$. Период световых вспышек определяется формулой:

$$T = \ln 2 \cdot (R'_1 + 2R'_2)C', \quad (1)$$

где $\ln 2 = 0,693$, $R'_1 = R_1 + R_2$, $R'_2 = R_3$, $C' = C_1$ (рис. 1). Отношение длительности вспышек к промежутку времени между ними равно:

$$n = \frac{t_2}{t_1} = \frac{R'_2}{R'_1 + R'_2}. \quad (2)$$

Чем больше это отношение, тем продолжительнее вспышки и тем длиннее светлые метки на фотографии траектории исследуемого движения.

Недостаток этого прибора состоит в плавной регулировке частоты вспышек посредством переменного резистора *R2*. Такая регулировка не позволяет установить частоту с требуемой в учебных опытах точностью и, следовательно, добиться воспроизводимости условий стробоскопического фотографирования. Использование частотомера для измерения частоты вспышек значительно усложняет экспериментальную установку и снижает возможности обучающихся для самостоятельного проведения на ней опытов. Мы предлагаем устранить указанный недостаток применением стробоскопического источника с фиксированной частотой вспышек.

4. Принципиальная схема стробоскопического источника света с фиксированной частотой вспышек

В курсе физики основной [4] и даже старшей школы [5] экспериментально изучаются сравнительно медленные движения тележек и шаров по горизонтальной и наклонной плоскостям и сравнительно быстрые движения тел в поле тяжести. Анализ этих механических движений показывает, что для получения информативных стробоскопических фотографий необходим источник, дающий вспышки света с фиксированными частотами 5 и 25 Гц.

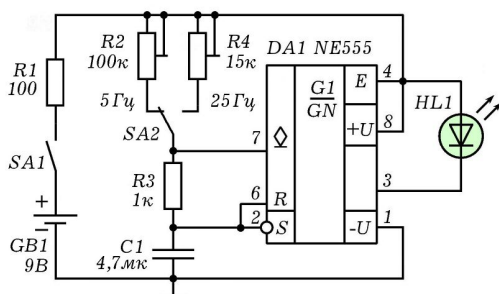


Рис. 2. Принципиальная схема стробоскопа с фиксированными частотами вспышек 5 и 25 Гц, которые устанавливаются при налаживании прибора подстроечными резисторами R_2 и R_4 . В процессе налаживания следует избегать уменьшения сопротивлений этих резисторов до нуля

На рис. 2 приведена принципиальная схема такого стробоскопа. На таймере $DA1$ собран генератор прямоугольных импульсов напряжения, которые поступают на светодиод $HL1$ и вызывают периодически следующие друг за другом вспышки света. Переключателем $SA2$ выбирают нужную в эксперименте частоту вспышек 5 или 25 Гц. Подстроечные резисторы R_2 и R_4 необходимы для точной установки требуемых частот при налаживании прибора. Для питания используется батарея $6F22$ на 9 В, так как она менее массивна и меньше по размерам, чем батарея $3R12$ на 4,5 В. Поэтому последовательно с выключателем $SA1$ источника питания установлен резистор R_1 , ограничивающий ток через светодиод $HL1$ и предотвращающий выход его из строя. Макет для проверки работоспособности этого прибора и проведения предварительных опытов удобно собрать на безопасной плате *BreadBoard*.

Таблица 1
Спецификация компонентов приборов

Компонент	Стробоскоп. Название компонента и его параметры
<i>DA1</i>	Таймер интегральный <i>NE555L-D08-T</i> .
<i>HL1</i>	Светодиод зеленый <i>BL-L522PGC</i> , видимый телесный угол 15° , диаметр линзы $d = 5$ мм, максимальная сила света 6000 мКд при токе 20 мА, длина волны 525 нм, максимальное прямое напряжение 4,5 В, цвет линзы бесцветный прозрачный (Ultra Pure Green).
<i>R1</i>	Резистор постоянный 100 Ом (коричневый–черный–коричневый).
<i>R2</i>	Резистор подстроечный 100 кОм, <i>3296W-1-104LF</i> (СП5–2ВВ), 25 оборотов.
<i>R3</i>	Резистор постоянный 1 кОм (коричневый–черный–красный).
<i>R4</i>	Резистор подстроечный 15 кОм, <i>3296W-1-104LF</i> (СП5–2ВВ), 25 оборотов.
<i>C1</i>	Конденсатор 4,7 мкФ керамический, тип <i>y5v</i> , рабочее напряжение 50 В, длина корпуса 4 мм, ширина — 2 мм.
<i>SA1</i>	Кнопка с фиксацией <i>PB21E06087-07</i> (аналог <i>PSW-3</i> и <i>PSM-6-0-0</i>).
<i>SA2</i>	Кнопка с фиксацией <i>PB21E06087-07</i> (аналог <i>PSW-3</i> и <i>PSM-6-0-0</i>).
<i>GB1</i>	Элемент питания 6F22 на 9 В (Крона).
Разъем	Разъем для элемента питания, тип ВАН-5 (Крона).
Панель	<i>DIP</i> панель 8 контактов узкая <i>SCS-8 (DS1009-8AN)</i> .

Компонент	Фотодатчик. Название компонента и его параметры
<i>VD1</i>	Фотодиод ФД256.
<i>R1</i>	Резистор постоянный 51 кОм (зеленый–коричневый–оранжевый).
<i>GB1</i>	Батарея гальванических элементов 4,5 В <i>Camelion 3R12 SR-1</i> .
Разъемы	Зажимы «Крокодил» с изолятором красный (2 шт.) и с изолятором черный (2 шт.), 3 А, 26,5 мм, <i>AG-103A-C</i> .

В этой схеме, в отличие от изображенной на рис. 1, электролитический времязадающий конденсатор $C_1 = 22$ мкФ заменен на более стабильный керамический конденсатор меньшей емкости $C_1 = 4,7$ мкФ и резистор $R_3 = 100$ Ом на $R_3 = 1$ кОм.

Не всегда удается найти конденсатор нужной емкости, поэтому приходится под имеющийся конденсатор подбирать подстроечные резисторы. Помогут в этом графики зависимости сопротивлений резисторов R_2 и R_4 от емкости конденсатора C_1 , приведенные на рис. 3. Эти графики построены по формуле (1), в которой $R'_1 = R_2$, $R'_4 = R_3$, а $C' = C_1$ (рис. 2). Подстроечные резисторы должны иметь такие максимальные сопротивления, которые примерно в два раза больше значений, найденных по графикам.

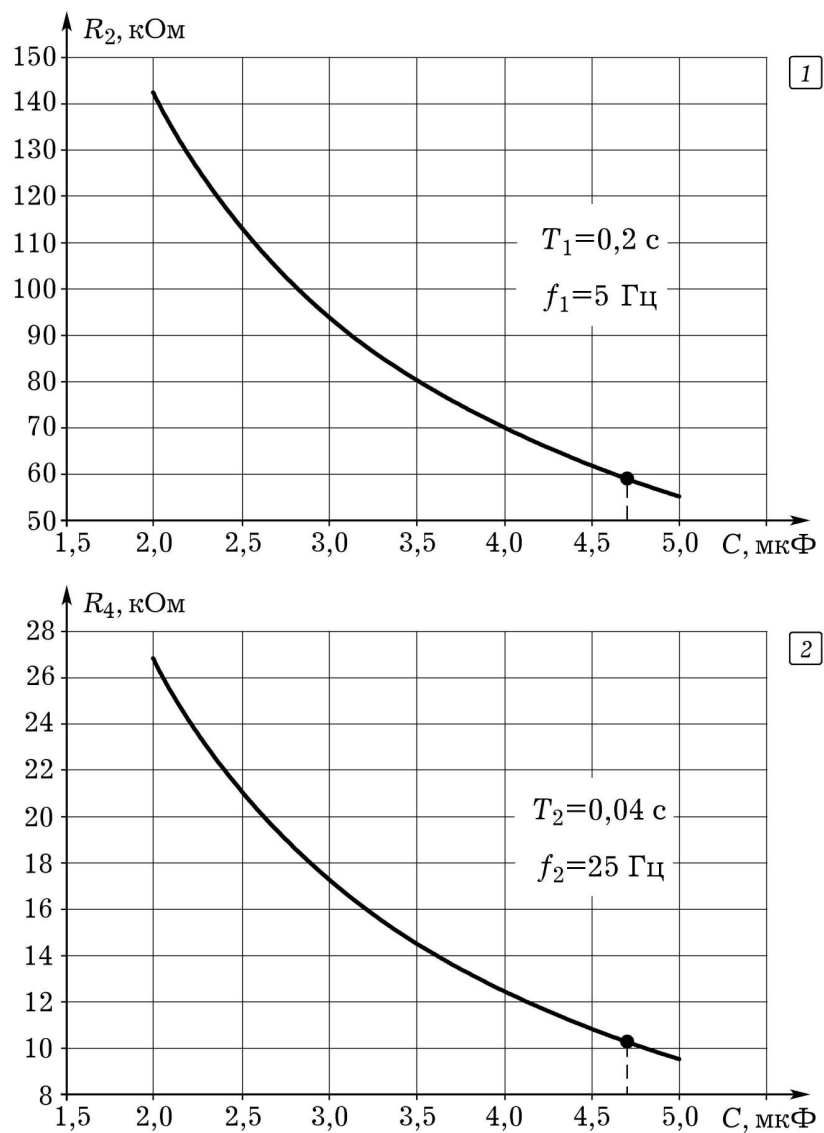


Рис. 3. Графики для определения сопротивлений подстроечных резисторов R_2 и R_4 по емкости C выбранного конденсатора C_1 (рис. 2)

5. Конструкция и налаживание самосветящегося стробоскопа

1. Самосветящийся стробоскоп предназначен для установки на движущееся тело, например, на легкоподвижную тележку. Поэтому целесообразно собрать этот прибор методом поверхностного монтажа на печатной плате размером 30×65 мм из фольгированного гетинакса (рис. 4). Ниже на рис. 5 приведена фотография готового стробоскопа.

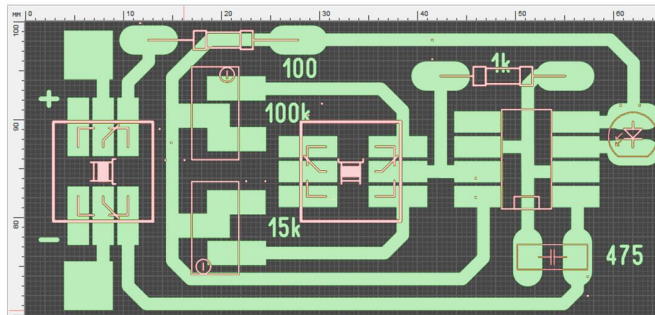


Рис. 4. Печатная плата стробоскопа (рис. 2), разработанная в программе *Sprint-Layout*

2. Исследование схемы, представленной на рис. 2, показало, что частота генератора $\nu = 1/T$, собранного на таймере *NE555*, соответствует найденному по формуле (1) расчетному значению с точностью, вполне достаточной для учебного эксперимента. Измерениями установлено, что сопротивления постоянных резисторов соответствуют их номиналам с приемлемой точностью. Этого нельзя сказать о емкостях доступных конденсаторов.

На схеме стробоскопа (рис. 2) указан конденсатор C_1 , емкость которого $C_1 = 4,7$ мкФ, нежелательно увеличивать, но можно уменьшать до 2 мкФ. По графикам (рис. 3) нужно определить значения максимальных сопротивлений подстроечных резисторов R_2 и R_4 , соответствующие выбранным частотам вспышек.

При налаживании стробоскопа перед включением питания движки подстроечных резисторов нужно установить примерно посередине пределов регулировки их сопротивлений. В противном случае выводы 4, 7 и 8 (рис. 2) таймера *DA1* могут оказаться замкнутыми накоротко. Мы не знаем, приведет ли это к выходу микросхемы из строя, так как не тестировали стробоскоп в таком режиме. Но если можно ожидать от начинающих экспериментаторов, что налаживать стробоскоп они станут методом *научного тыка*,

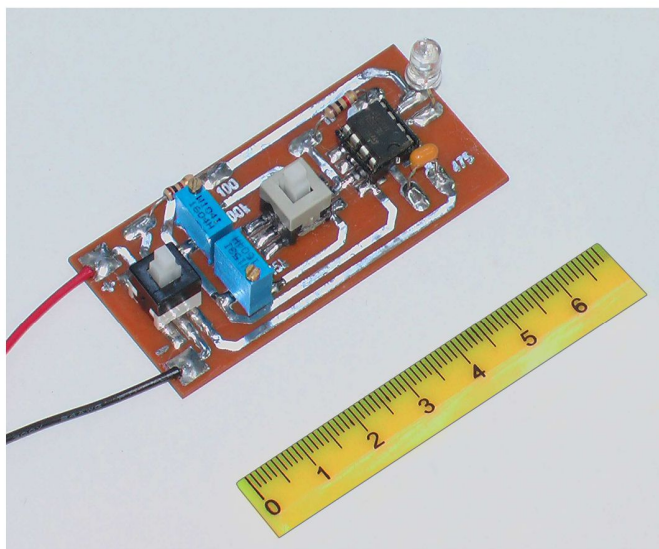


Рис. 5. Самосветящийся стробоскоп, собранный методом поверхностного монтажа: слева провода, идущие к источнику питания и выключатель $SA1$; далее подстроечные резисторы $R2$ и $R4$; в центре переключатель частот $SA2$; затем таймер $DA1$ и справа — светодиод $HL1$

то лучше последовательно с подстроечными резисторами $R2$ и $R4$ (рис. 2) включить постоянные резисторы сопротивлением примерно 1 кОм , как это показано на рис. 1.

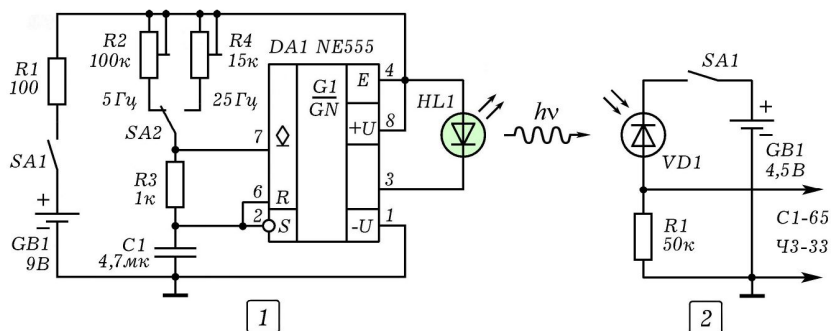


Рис. 6. Принципиальная схема установки для измерения частоты вспышек. Слева показана схема стробоскопа, справа — фотодатчика, сигнал с которого подается на частотомер и осциллограф. Подстроечными резисторами $R2$ и $R4$ устанавливают необходимые частоты вспышек стробоскопа

3. Для измерения частоты световых вспышек можно использовать фотодатчик, состоящий из последовательно соединенных фотодиода ФД256 и постоянного резистора $R = 50 \text{ кОм}$. На фотодатчик подают обратное напряжение от батареи 3R12 4,5 В. Так обеспечивается фотодиодный режим работы фотодатчика, который характеризуется прямой пропорциональностью зависимости силы фототока от интенсивности падающего на фотодиод света. На фотодиод направляют пучок прерывистого света от светодиода стробоскопа. Напряжение с фотодиода подают на осциллограф С1-65 и частотомер ЧЗ-33. Осциллограф обеспечивает визуальный контроль формы световых вспышек, а частотомер позволяет определить частоту их следования. Показания частотомера могут быть проверены генератором звуковой частоты, например, Г6-37.

Налаживание стробоскопа заключается в установке подстроечными резисторами $R2$ и $R4$ (рис. 2) значений частоты вспышек 5 и 25 Гц. Реализация описанного способа показала его простоту, надежность и эффективность.

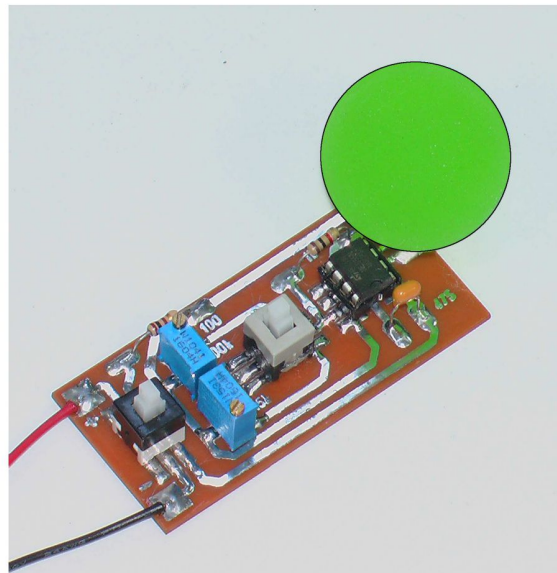


Рис. 7. На светодиод самосветящегося стробоскопа надет рассеивающий свет силиконовый шарик диаметром 30 мм. Такой прибор можно закрепить на тележке и использовать для исследования ее движений стробоскопическим методом

Готовый и настроенный самосветящийся стробоскоп (рис. 7) вместе с источником питания закрепляют двухсторонним скотчем на тележке набора «Механика». Чтобы на фотографиях получать стробоскопические изображения движущегося тела, а не светящейся точки, на светодиод надет красный или зеленый, под цвет световых вспышек, силиконовый шарик.

6. Заключение

В представленной здесь работе подробно описаны конструкция, технология изготовления и налаживание самосветящегося стробоскопа. Всего за время, прошедшее после публикации статей [1, 2], работавшие с нами школьники, студенты, учителя и преподаватели собрали и успешно использовали в практике обучения физике десятки подобных приборов. Это свидетельствует о востребованности, доступности, простоте и надежности рекомендованного здесь электронного стробоскопа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В. В., Вараксина Е. И. Электронные стробоскопы для учебных опытов // Потенциал. — 2010. — № 11. — С. 68–76.
2. Майер В. В., Вараксина Е. И. Стробоскопический метод в кинематике // Потенциал. — 2010. — № 12. — С. 65–71.
3. Майер В. В., Вараксина Е. И., Васильев И. А., Хайдаров Б. А. Стробоскопический источник света для школьных опытов по механике // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 54–56.
4. Перышкин А. В., Гутник Е. М. Физика: 9 класс: учебник. — М.: Дрофа, 2010. — 352 с.
5. Мякишев Г. Я. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М.: Просвещение, 2016. — 416 с.

Глазовский государственный
педагогический институт

Поступила в редакцию 16.02.22.

ABSTRACTS

To the jubilee of Professor Yuri Arkadyevich Saurov. The editorial board of the journal «Educational Physics» congratulates Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, corresponding member of the Russian Academy of Education Yuri Arkadyevich Saurov on his jubilee. *Keywords:* Yu. A. Saurov, physics education, methodology, experimental tasks.

Saurov Yu. A. About the historical mission of the journal «Educational Physics» to improve the practice of teaching. The prerequisites for the emergence and history of the development of the scientific and practical journal «Educational Physics» are considered. The importance of the journal for Russian physics education is shown. *Keywords:* physics education, Russian Academy of Education, scientific and practical journal.

Mayer V. V., Varaksina E. I., Khaidarov B. A. School demonstration experiments in the study of rectilinear motion. The set of «Mechanics» available in secondary schools and pedagogical universities is considered. The didactic potential of this set is analyzed in the experimental study of rectilinear motion in order to introduce the basic concepts of kinematics. *Keywords:* set «Mechanics», didactic potential, experimental study, rectilinear motion, kinematics concepts.

Mayer V. V., Varaksina E. I. Vasiliev I. A. Khaidarov B. A. Devices for stroboscopic photographing of mechanical movements. A pulse generator on a NE555 timer with two fixed flash frequencies of an ultra-bright LED is proposed as a stroboscopic light source. The device is designed for independent experiments of students in the study of mechanics. *Keywords:* stroboscopic light source, two fixed flash frequencies, independent students experiments.

Saranin V. A. Drop model of an atomic nucleus. On the basis of a principle of a minimum of energy stability of the charged spending drop in relation to its division half-and-half is investigated. The criterion of occurrence of instability which depends on a charge of a drop, its superficial tension and radius is found. From the same positions the drop model of an atomic nucleus and division of heavy kernels into two kernels-splinters is considered. *Keywords:* stability of the charged drop, an atomic nucleus, division of nucleus.

Mayer V. V., Varaksina E. I. Electromagnetic wave in two-wire line: an educational theory. The elementary theory of electromagnetic waves in two-wire line without resistance and radiation losses is briefly described. *Keywords:* two-wire line, linear capacitance and inductance, tele-

graphic equations, wave equation, electromagnetic wave, propagation velocity, wave resistance.

Mayer V. V., Varaksina E. I. Electromagnetic wave in two-wire line: a training experiment. Simple quantitative experiments on the propagation of electromagnetic waves in the decimeter range in two-wire line are described. In the experiments, a micro-powerful generator and a sensitive indicator of electromagnetic radiation with a frequency of 433 MHz are used. *Keywords:* two-wire line, electromagnetic wave, wavelength, propagation velocity.

Shamshutdinova V. V., Morzhikova Yu. B., Obukhov S. V. Virtual laboratory work on the study of Fraunhofer diffraction. We have proposed a complex of virtual laboratory works about the Fraunhofer diffraction on a single slit and a thin wire, on diffraction grating with enhanced functionalities. *Keywords:* laboratory practice, virtual work, physics, Fraunhofer diffraction, diffraction grating.

Mayer V. V., Varaksina E. I. Expertise of new educational physical experiments. The technology of carrying out an expert assessment of the possibility and expediency of using new educational physical experiments in school practice has been developed. *Keywords:* physical experiments, new educational experiments, expert evaluation, possibility and expediency, application in school.