

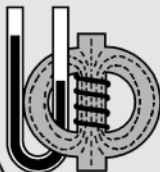
ISSN 2307-5457

*Primum  
inter pares*

Материалы XXIX Всероссийской  
научно-практической конференции

„Учебный физический эксперимент:  
Актуальные проблемы. Современные  
решения“

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ



**УЧЕБНАЯ  
ФИЗИКА**

Октябрь - декабрь 2024 №4

Издается с января 1997 года

## СОДЕРЖАНИЕ

### Основная школа

- В. В. Майер ОПЫТЫ С ЭЛЕКТРОФОРМ КАК СПОСОБ ВВЕДЕНИЯ  
Е. И. Вараксина ПОНЯТИЯ СВОБОДНЫХ И СВЯЗАННЫХ ЗАРЯДОВ ..... 3  
Ю. А. Корнев

### Старшая школа

- Ш. Г. Зиятдинов ЗАДАЧИ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ  
НА ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ В КУРСЕ  
ШКОЛЬНОЙ ФИЗИКИ..... 12

### Высшая школа

- С. В. Барышников ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ЗАРЯДА  
ЭЛЕКТРОНА К ЕГО МАССЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА ..... 24

- В. В. Майер ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ:  
Е. И. Вараксина СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕМОСТРАЦИОННОГО  
И. А. Васильев АНАЛИЗАТОРА ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА ... 31

### Исследования

- Е. Л. Казакова АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО  
О. В. Сергеева ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ  
ФИЗИКИ В ВУЗЕ ..... 51

- С. В. Костарев СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ  
Ю. С. Остроумова ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ В ПОДГОТОВКЕ ВОЕННЫХ  
С. Д. Ханин СПЕЦИАЛИСТОВ В НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ  
НАПРАВЛЕНИИ ..... 62

АВТОРЫ ЖУРНАЛА ..... 70

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ В 2024 ГОДУ ..... 71

---

---

**Редакция журнала:**

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

**Редакционный совет:**

И. В. Гребенев д.п.н., профессор, Нижний Новгород  
М. Д. Даммер д.п.н., профессор, Челябинск  
П. В. Зуев д.п.н., профессор, Екатеринбург  
О. В. Лебедева д.п.н., доцент, Нижний Новгород  
Ю. А. Сауров д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров  
А. П. Усольцев д.п.н., профессор, Екатеринбург

**Оргкомитет конференции:**

Н. Я. Молотков д.п.н., профессор, Тамбов  
Г. Г. Никифоров к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва  
А. Ю. Пентин к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва  
Ф. А. Сидоренко д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург  
Я. А. Чиговская–Назарова к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов  
Т. Н. Шамало д.п.н., профессор, Екатеринбург

**Перечень ВАК:** Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

**Адрес редакции, издателя и типографии:** 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.  
*E-mail: uch-fiz@mail.ru, kropach@bk.ru*

---

---

**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет 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.

**Подписной индекс:** 79876.

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

Сдано в набор 02.12.24. Подписано в печать 16.12.24.

Дата выхода в свет: 24.12.24.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 166. Тираж 200 экз. Цена свободная.

**Первая страница обложки:** Электромагнитная индукция в разных системах отсчета [Майер В. В., Вараксина Е. И. Демонстрационные опыты перед изучением основ специальной теории относительности // Физика в школе. — 2022. — № 2. — С. 29–35.].

*Научная статья*

ББК 74.262.23

УДК 378+372.853

В. В. Майер, Е. И. Вараксина, И. А. Васильев  
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ:  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО  
АНАЛИЗАТОРА ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

Изложены результаты дидактического исследования демонстрационной установки для введения основных понятий поляризации света. Установка включает светодиодный фонарь, поляризатор, фотодиодный датчик линейно поляризованного света и электронно–механический блок, обеспечивающий поворот двойной стрелки на валу сервомотора, соответствующий повороту плоскости поляризации света. Проектная деятельность студентов и школьников по созданию, налаживанию и исследованию подобной установки отличается наукоемкостью, имеет практическую значимость и способствует развитию инженерных компетенций обучающихся.

*Ключевые слова:* инженерные компетенции, физические основы робототехники, проектная деятельность, учебный эксперимент, поляризация света, фотодиодный датчик.

V. V. Mayer, E. I. Varaksina, I. A. Vasiliev  
PHYSICS FOUNDATIONS OF ROBOTICS:  
IMPROVING THE DEMONSTRATION ANALYZER  
OF LINEARLY POLARIZED LIGHT

The results of a didactic study of a demonstration installation for the introduction of basic concepts of light polarization are presented. The installation includes an LED flashlight, a polarizer, a photodiode sensor of linearly polarized light and an electronic unit that rotates a double arrow on the servo motor shaft corresponding to the rotation of the plane of polarization of light. It is shown that the project activities of students and schoolchildren for the creation, establishment and research of such an installation are characterized by knowledge intensity, have practical significance and contribute to the development of engineering competencies of students.

*Ключевые слова:* engineering competencies, physics fundamentals of robotics, project activities, educational experiment, polarization of light, photodiode sensor.

DOI: 10.62957/2307-5457-2024-4-31-50

## 1. Введение

В современном физическом образовании развитие инженерных компетенций обучающихся связывают, прежде всего, с освоением образовательной робототехники [1]. Вместе с тем исследователи подчеркивают важность преемственности в изучении робототехники и физики [2], а также необходимость преемственности инженерного образования в школе средствами учебного физического эксперимента [3, 4]. Анализ публикаций позволяет выявить три подхода к осуществлению взаимосвязи обучения физике и робототехнике. Первый определяется учебным исследованием физических явлений посредством готовых комплектов по робототехнике и их элементов [5, 6]. Второй подход характеризуется изучением физических явлений, которые используются в устройствах робототехники [5]. Третий подход направлен на развитие опытно-конструкторской проектной деятельности школьников и студентов [7, 8] по физике в области, связанной с образовательной робототехникой.

В статье [9] кратко представлена дисциплина «Физические основы робототехники», для которой специально разработаны *дидактические ресурсы проектной деятельности*. Однако среди них нет такого ресурса, который объединяет физику, электронику и механику с целью решения актуальной проблемы элементарного курса физики. В настоящей работе приведены результаты *исследования* возможности и целесообразности использования демонстрационного анализатора линейно поляризованного света [10] при изучении физических основ робототехники в инженерно-педагогическом университете. Статья содержит несколько серий заданий, предназначенных для выполнения звеном из двух обучающихся в течение двух четырехчасовых лабораторных занятий. Система этих заданий моделирует дидактический ресурс проектной деятельности школьников под руководством учителя физики.

## 2. Физические основы электронно-механического анализатора линейно поляризованного светового пучка

Первая серия заданий носит теоретический характер и имеет своей целью освоение физической сущности демонстрационной установки, предложенной в работе [10].

**Задание 1. Введение понятия линейно поляризованного света.** Раскройте основные трудности, которые школьники испытывают при введении понятия линейно поляризованного света [11]. Предложите способ преодоления этих трудностей.

**Вариант выполнения.** Понятие линейно поляризованного света (который в учебнике называется *плоскополяризованным*) вводит-

ся в курсе физики 11 класса при изучении световых волн. Основанием для введения нового для обучающихся понятия служат умозрительные опыты со светом, проходящим через кристаллы турмалина [11, с. 225–228]. Кроме того в учебнике говорится, что в опытах по поляризации вместо турмалина можно использовать поляроиды. Трудности у школьников возникают, когда они наблюдают простейшие опыты по поляризации, в которых изменение угла между главными направлениями поляризатора и анализатора вызывает изменение интенсивности проходящего через эти приборы света. Не спасает положение и известная механическая модель поляризатора и анализатора [12, с. 332–334]. Эти трудности можно преодолеть, если в демонстрационном опыте показать, что вращение поляризатора вокруг его оси приводит к соответствующему повороту направления поляризации световой волны.

**Задание 2.** Функциональная схема демонстрационной установки. Изобразите функциональную схему экспериментальной установки [10], позволяющей на учебном занятии показать, что при вращении поляризатора вокруг оси проходящего через него светового пучка поворачивается в том же направлении и на такой же угол анализатор датчика линейно поляризованного света.

**Вариант выполнения.** На рис. 1 дана функциональная схема указанной в задании демонстрационной установки, в состав которой входят: источник линейно поляризованного света (показан только поляроидный поляризатор 1 этого источника); фотодиодный датчик линейно поляризованного света, включающий поляроидный анализатор 2 с двойной стрелкой 3 и фотодиод 4; электронный блок 5, преобразующий постоянное напряжение датчика в напряжение питания электродвигателя; исполнительный механизм, состоящий из электродвигателя 6 и, например, фрикционного редуктора 7, приводящего во вращение анализатор фотодиодного датчика.

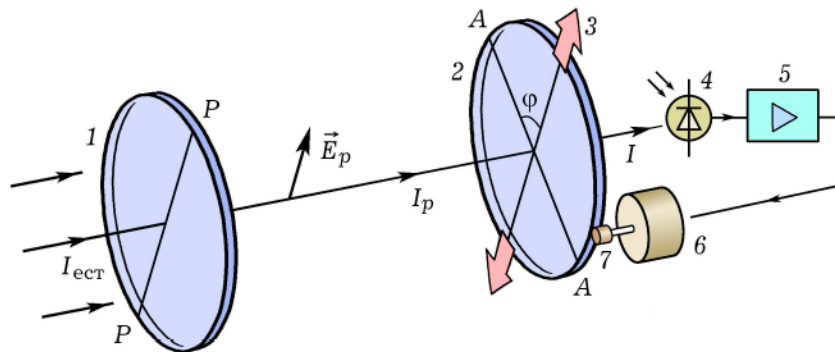


Рис. 1. Функциональная схема основных приборов демонстрационной установки для введения и обоснования понятия линейно поляризованного света



**Задание 3. Принцип действия установки.** Кратко опишите физические основы принципа действия установки для введения и обоснования понятия линейно поляризованного света (рис. 1).

**Вариант выполнения.** На поляризатор из источника, который на рис. 1 не показан, падает пучок естественного света интенсивностью  $I_{\text{ест}}$ . Из поляризатора выходит линейно поляризованный свет интенсивностью  $I_p$ , вектор напряженности электрического поля  $\vec{E}_p$  (*световой вектор*) которого ориентирован (колеблется) параллельно главному направлению  $PP$  поляризатора. Этот свет падает на анализатор, главное направление которого  $AA$  составляет угол  $\varphi$  с главным направлением  $PP$  поляризатора. Под этим углом, то есть параллельно  $PP$  и вектору  $\vec{E}_p$  на анализаторе закреплена двойная стрелка. Поворот поляризатора вокруг оси падающего пучка приводит к включению электродвигателя и синхронному повороту анализатора со стрелкой в том же направлении и на такой же угол.

**Задание 4. Интенсивность света, падающего на фотодиод.** Используя закон Малюса [13, с. 345–346], выясните, при каких условиях интенсивность  $I$  падающего на фотодиод света (рис. 1) практически линейно зависит от угла между главными направлениями поляризатора и анализатора.

**Вариант выполнения.** Пусть главное направление анализатора  $AA$  составляет некоторый угол  $\varphi$  с главным направлением  $PP$  поляризатора, и интенсивность падающего на анализатор линейно поляризованного света равна  $I_p$  (рис. 1). Если пренебречь потерями энергии на отражение и поглощение, то интенсивность вышедшего из анализатора света  $I$  определяется *законом Малюса*:

$$I = I_p \cos^2 \varphi. \quad (1)$$

На рис. 2 приведен график зависимости  $I = I(\varphi)$ , построенный в соответствии с формулой (1). По графику непосредственно видно, что вблизи угла  $\varphi_0 = 45^\circ$  эта зависимость практически линейна.

**Задание 5. Чувствительность фотодатчика линейно поляризованного света.** Введите понятие чувствительности фотодатчика линейно поляризованного света и определите максимальное значение этой величины.

**Вариант выполнения.** Анализатор и фотодиод (рис. 1) образуют *датчик линейно поляризованного света*, преобразующий поворот плоскости поляризации падающего на анализатор пучка в изменение напряжения на выходе датчика. Это напряжение однозначно связано с освещенностью фотодиода или интенсивностью света, попадающего из анализатора на фотодиод. Поэтому чувствительность  $V$  датчика линейно поляризованного света логично определить отношением изменения интенсивности света  $\Delta I$ , вышедшего из анализатора и падающего на фотодиод, к изменению угла

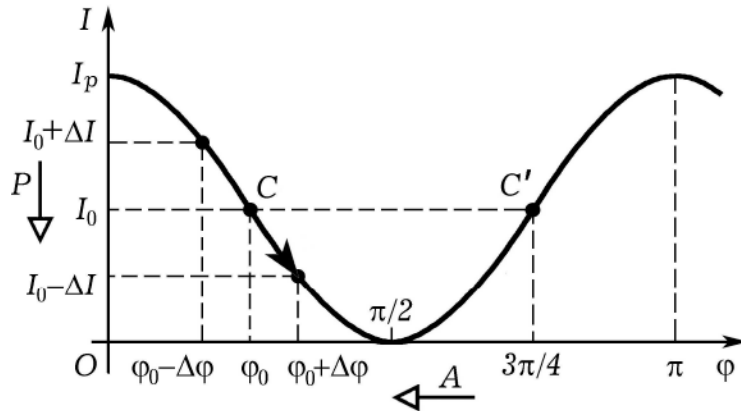


Рис. 2. К определению угла между главными направлениями анализатора и поляризатора, при котором чувствительность фотодатчика к углу поворота поляризатора максимальна

$\Delta\varphi$  между главными направлениями поляризатора и анализатора:  
 $V = \Delta I / \Delta\varphi$ .

Здесь уместно перейти от приращений к *физическим дифференциалам*, то есть настолько малым приращениям, что их допустимо считать бесконечно малыми в математическом смысле:  $\Delta I \approx dI$  и  $\Delta\varphi \approx d\varphi$ . Тогда из закона Малюса (1) чувствительность датчика линейно поляризованного света:

$$V = \frac{dI}{d\varphi} = -2I_p \cos \varphi \sin \varphi = -I_p \sin 2\varphi. \quad (2)$$

Максимальное значение синуса равно единице, когда его аргумент равен  $\pi/2$ . Поэтому формула (2) показывает, что максимальной чувствительностью  $V_{\max} = -I_p$  датчик обладает, когда угол между главными направлениями поляризатора и анализатора составляет  $\varphi_0 = 45^\circ$ .

**Задание 6.** Линейный участок кривой интенсивности. Определите угол между главными направлениями поляризатора и анализатора, в окрестности которого интенсивность света, падающего на фотодиод, изменяется линейно.

**Вариант выполнения.** График, построенный по закону Малюса (1), показывает, что вблизи угла  $\varphi_0$  интенсивность света линейно зависит от угла  $\varphi$  (рис. 2). Действительно, из формулы (2) следует, что при  $\varphi = \varphi_0 = \pi/4$  получаем:

$$dI = -I_p d\varphi. \quad (3)$$

Это означает, что в окрестности угла  $\varphi_0$  изменение интенсивности света  $dI$ , вышедшего из анализатора, пропорционально изменению угла  $d\varphi$  между главными направлениями поляризатора  $PP$  и анализатора  $AA$ . Знак минус в формулах (2) и (3) показывает, что с увеличением угла  $\varphi$  между  $PP$  и  $AA$  интенсивность  $I$  вышедшего из анализатора света уменьшается, и наоборот.

**Задание 7. Устойчивое состояние системы.** Покажите, что электронно–механический анализатор линейно поляризованного света будет работать нормально, если угол  $\varphi_0 = 45^\circ$  соответствует устойчивому состоянию системы.

**Вариант выполнения.** Вернемся к рис. 2 и на графике зависимости  $I = I(\varphi)$  буквой  $C$  обозначим *рабочую точку* изображенной на рис. 1 системы. Удобно рассматривать поворот поляризатора системы вдоль оси ординат  $I$  (стрелка  $P$ ), а поворот анализатора вдоль оси абсцисс  $\varphi$  (стрелка  $A$ ).

Допустим, поляризатор повернулся на небольшой угол  $+\Delta\varphi$  так, что система вышла из рабочей точки  $C$  и переместилась по графику в направлении, показанном стрелкой  $P$ . Тогда, чтобы она вернулась в точку  $C$ , электродвигатель должен включиться, повернуть анализатор на угол  $-\Delta\varphi$  по направлению стрелки  $A$  и выключиться. Аналогичные действия система должна произвести, если она выходит из рабочей точки  $C$  в направлении, противоположном стрелке  $A$ . Понятно, что теперь направление вращения двигателя, вызывающего поворот анализатора, должно измениться на противоположное. Если эти условия выполнены, то рабочая точка  $C$  определяет *устойчивое состояние системы*.

В аналогичной ей по физическим свойствам точке  $C'$  система не может находиться, так как очевидно, что при том же направлении вращения электродвигателя эта точка определяет ее неустойчивое состояние. Смена направления вращения анализатора на противоположное (изменение полярности включения электродвигателя) приводит к тому, что неустойчивым становится состояние системы в точке  $C$ , а точка  $C'$  определяет устойчивое состояние системы. Нетрудно сообразить, что в последнем случае двойная стрелка, закрепленная на анализаторе (рис. 1), установится не так, как нужно, а в положении, перпендикулярном главному направлению поляризатора.

### 3. Электронный блок прибора

На этом этапе работы обучающиеся решают ряд задач: 1) изучение и анализ прототипа прибора [10] с целью выявления его недостатков; 2) подбор современных деталей и материалов, необходимых для электронного блока; 3) разработка и изготовление монтажной платы устройства; 4) изготовление и проверка правильности сборки электронного блока.



**Задание 8. Анализ и выявление недостатков прототипа.** Изучите приведенную в работе [10] принципиальную схему электронного блока демонстрационного анализатора линейно поляризованного света. Укажите основные недостатки этого блока.

**Вариант выполнения.** Электронный блок указанного в задании прибора представляет собой усилитель, на вход которого подано напряжение с фотодиода, а его выход соединен с электродвигателем. При включении питания и определенной освещенности фотодиода двигатель обесточен. Увеличение и уменьшение этой освещенности приводит к включению двигателя, вращению его вала и связанного с ним редуктором анализатора в ту или иную сторону до тех пор, пока освещенность фотодиода не вернется к прежнему значению, и напряжение на двигателе вновь не станет равно нулю. Основным недостатком блока является построение его схемы [10] на устаревших операционных усилителях (ОУ) типа К140УД1А, германиевых транзисторах типа МП37, МП41 и электродвигателе типа МДП-1 от детских игрушек.

**Задание 9. Принципиальная схема электронного блока.** Начертите принципиальную схему электронного блока и укажите на ней новые электронные компоненты взамен рекомендованных в [10].

**Вариант выполнения.** Две микросхемы типа К140УД1А целесообразно заменить одной, представляющей собой двухканальный операционный усилитель типа *LM358P*. Для транзисторов нетрудно подобрать современные аналоги, а вместо игрушечного двигателя взять маломощный низковольтный электродвигатель, например, от компьютерного дисковода. Таким образом, обновленная принципиальная схема приобретает вид, показанный на рис. 3.

**Задание 10. Принцип действия электронного блока.** Опишите принцип действия электронного блока так, чтобы это описание могли понять школьники, интересующиеся электроникой.

**Вариант выполнения.** В первую очередь обучающиеся должны твердо усвоить, что потенциалы точек электронной схемы целесообразно отсчитывать относительно ее общей точки *Общ* (рис. 3), потенциал которой принят равным нулю. Так как напряжение между двумя точками схемы есть разность потенциалов этих точек, то потенциал исследуемой точки равен напряжению  $U$  между ней и общей точкой схемы. Поэтому, при измерении напряжений вольтметром, минус которого соединен с общей точкой схемы, фактически определяются соответствующие потенциалы относительно этой точки.

Датчиком интенсивности света является кремниевый фотодиод *VD1* типа ФД-256, работающий в фотогальваническом режиме. Экспериментальное исследование этого режима показывает, что на небольшом участке световая характеристика фотодиода практически линейна [9].

На операционных усилителях (ОУ)  $DA1.1$  и  $DA1.2$  выполнены *предварительный* и *дифференциальный* усилители постоянного напряжения с коэффициентами передачи  $K_1$  и  $K_2$  соответственно. Так как на инвертирующем входе 2 ОУ  $DA1.1$  освещенный фотодиод  $VD1$  создает положительный потенциал  $U$ , то выход 1 этого усилителя приобретает отрицательный потенциал  $U_1 = K_1 U$  относительно общей точки 3.

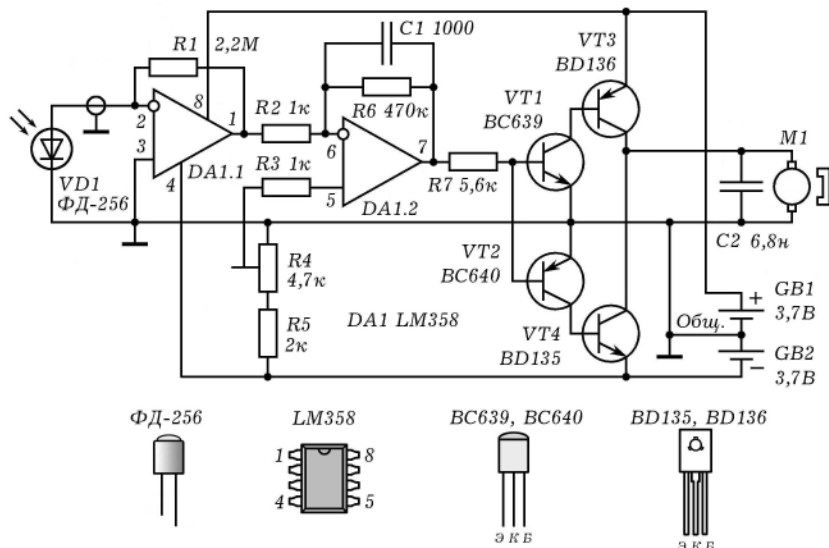


Рис. 3. Принципиальная схема и детали электронного блока демонстрационного анализатора линейно поляризованного света

На неинвертирующий вход 5 ОУ  $DA1.2$  подается через резистор  $R3$  отрицательное опорное напряжение  $U_0$  с подстроечного резистора  $R4$ . На инвертирующий вход 6  $DA1.2$  через резистор  $R2$  поступает отрицательное напряжение  $U_1$  с выхода 1 ОУ  $DA1.1$ . Дифференциальный усилитель  $DA1.2$  усиливает разность этих напряжений  $\Delta U = U_1 - U_0$ .

Если освещенность фотодиода  $VD1$  такова, что на входе ОУ  $DA1.2$  напряжение  $\Delta U$  равно или близко к нулю, то напряжение на его выходе также близко к нулю  $U_2 = K_2 \Delta U \approx 0$ , и все транзисторы  $VT1-VT4$  закрыты, а электродвигатель  $M1$  обесточен.

Когда за счет изменения освещенности фотодиода на выходе 7 ОУ  $DA1.2$  появляется положительное напряжение (положительный потенциал относительно нулевой точки), открывается транзистор  $VT1$  и вслед за ним транзистор  $VT3$ . При этом ток идет от положительного полюса источника питания  $GB1$  через переход эмиттер-коллектор открытого транзистора  $VT3$  и электродвигатель  $M1$  к общему выводу источника.

Если за счет изменения освещенности фотодиода на выходе 7 усилителя *DA1.2* появляется отрицательное напряжение, открываются транзисторы *VT2*, *VT4*, и ток проходит от положительного полюса источника питания *GB2* (общей точки схемы) через электродвигатель *M1* и транзистор *VT4* к отрицательному полюсу источника. При этом направление тока через электродвигатель *M1* меняется по сравнению с предыдущим случаем на противоположное.

Важно создать такие условия, чтобы равное нулю напряжение на электродвигателе при повороте поляризатора на небольшие одинаковые углы в обе стороны изменялось также на одинаковые по модулю величины. Для этого, как показывает задание 7, нужно установить такое значение опорного напряжения  $U_0$ , при котором чувствительность  $V$  фотодиодного датчика максимальна:  $V = V_{\max}$ . В этом случае главное направление *AA* анализатора фотодиодного датчика должно составлять угол  $\varphi_0 = 45^\circ$  с главным направлением *PP* поляризатора, пропускающего пучок от источника света (рис. 1).

Резисторы *R1*, *R6* задают величину отрицательной обратной связи, а резисторы *R2*, *R3* — входные токи операционных усилителей; *R4* и *R5* образуют делитель для выбора опорного напряжения; резистор *R7* ограничивает базовые токи маломощных транзисторов *VT1* и *VT2*. Конденсаторы *C1* и *C2* снижают уровни помех от сетевого напряжения и от коллектора электродвигателя.

**Задание 11.** Спецификация компонентов электронного блока. Запишите в таблицу названия, тип, маркировку и ключевые параметры всех деталей электронного блока.

**Вариант выполнения.** Основные данные компонентов электронного блока приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Спецификация компонентов электронного блока

Компонент	Название компонента и его параметры
<i>DA1</i>	<i>LM358P</i> двухканальный операционный усилитель с однополярным питанием, 3 В...32 В [ <i>DIP</i> -8].
<i>VD1</i>	Фотодиод ФД-256.
<i>VT1</i>	Транзистор <i>BC639</i> <i>n-p-n</i>
<i>VT2</i>	Транзистор <i>BC640</i> <i>p-n-p</i>
<i>VT3</i>	Транзистор <i>BD136</i> <i>p-n-p</i>
<i>VT4</i>	Транзистор <i>BD135</i> <i>n-p-n</i>
<i>R1</i>	Резистор постоянный 2,2 МОм (красный-красный-зеленый).
<i>R2, R3</i>	Резистор постоянный 1 кОм (коричневый-черный-красный).
<i>R4</i>	Резистор подстроечный 4,7 кОм.
<i>R5</i>	Резистор постоянный 2 кОм (красный-черный-красный).
<i>R6</i>	Резистор постоянный 470 кОм (желтый-фиолетовый-желтый).
<i>R7</i>	Резистор постоянный 5,6 кОм (зеленый-голубой-красный).
<i>C1</i>	Конденсатор 1000 пФ.
<i>C2</i>	Конденсатор 6,8 нФ.
<i>M1</i>	Электродвигатель 21651С, 3D014415, диаметр 24,3, толщина 12,4 мм; диаметр и длина вала 2 и 6 мм. Сервомоторы 4503НВ, НК15138.
<i>GB1, GB2</i>	Аккумулятор на 3,7 В (18650, 2000 mAh, 3,7 V).

**Задание 12.** Конструкция электронного блока. Выберите такую конструкцию электронного блока, которая позволит обучающимся легко проверить соответствие монтажной платы принципиальной схеме и без особых трудностей исследовать блок посредством вольтметра.

**Вариант выполнения.** Электронный блок прост, поэтому вполне может быть собран на беспаячной макетной плате. Однако такая реализация блока затрудняет его проверку и экспериментальное исследование. Этот недостаток может быть устранен, если собрать блок на картонной плате с изображением принципиальной схемы на ее лицевой стороне. Более надежна сборка блока на печатной плате из фольгированного гетинакса, изготовленной прорезанием изоляционных дорожек в медной фольге или методом травления фольги.

**Задание 13.** Разработка и изготовление электронного блока на печатной плате. Пользуясь табл. 1, подберите необходимые для изготовления блока электронные компоненты. Найдите и зарисуйте цоколевку микросхемы и транзисторов. Разработайте монтажную схему, изготовьте печатную плату и соберите электронный блок.

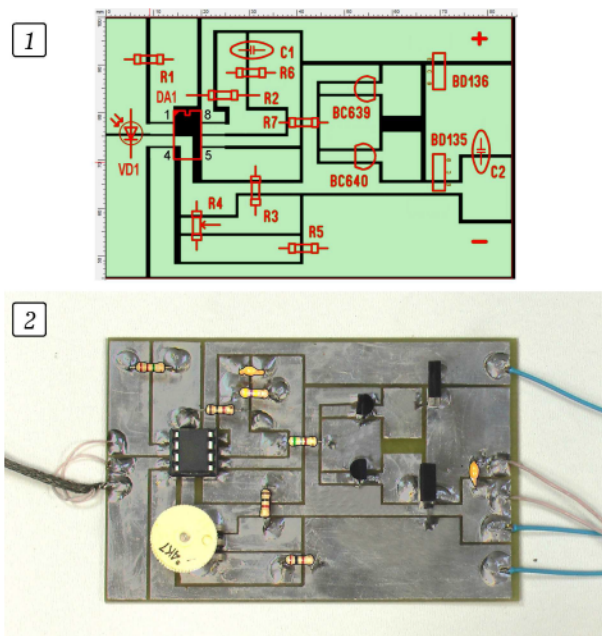


Рис. 4. Монтажная плата электронного блока: 1 — чертеж монтажной платы; 2 — поверхностный монтаж платы, удобный для сборки и исследования обучающимися



**Вариант выполнения.** Результат выполнения этого задания показан на рис. 4. Разводка печатной платы произведена посредством компьютерной программы *Sprint-Layout*. Сборка платы осуществлена наиболее доступным для воспроизведения методом поверхностного монтажа.

#### 4. Электромеханический блок

Изучение и критическое сравнение возможных вариантов конструкции электромеханического блока демонстрационного анализатора линейно поляризованного света позволит обучающимся обоснованно выбрать или разработать такой, который ими будет реализован.

**Задание 14.** Изучение и анализ прототипа. По статье [10] изучите устройство электромеханического блока демонстрационного анализатора линейно поляризованного света и дайте аргументированные предложения по его модернизации.

**Вариант выполнения.**

В прототипе для увеличения чувствительности фотодиодный датчик снабжен собирающей линзой. Но в работе [9] показано, что светодиодный фонарь вместо лампы накаливания позволяет исключить тепловой фильтр. Кроме того, обновленный электронный блок имеет больший коэффициент передачи сигнала. Поэтому имеет смысл от собирающей линзы в фотодиодном датчике отказаться. Тогда электромеханический блок будет выглядеть, как показано на рис. 5: 1 — тубус из эбонита или другого подходящего материала; 2 — закрепленная на тубусе легкая двойная стрелка из дюралаля или пластика; 3 — поляроидная пленка в качестве анализатора; 4 — металлическая втулка в качестве выходного вала редуктора; 5 — зубчатое колесо редуктора, закрепленное на втулке; 6, 7 — зубчатые колеса редуктора; 8 — эластичная упругая трубка, соединяющая вал электродвигателя с

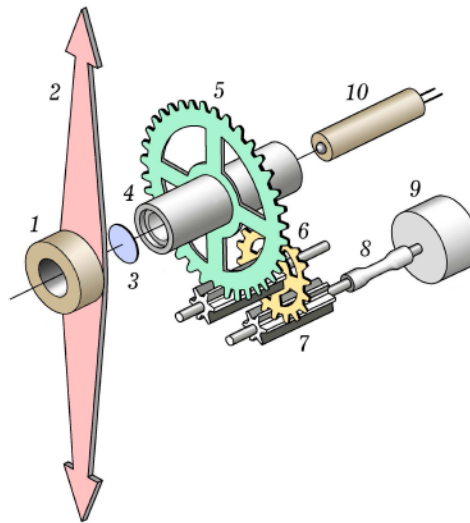


Рис. 5. Эскиз электромеханического блока демонстрационного анализатора линейно поляризованного света

входным валом редуктора; 9 — электродвигатель; 10 — держатель с фотодиодом.

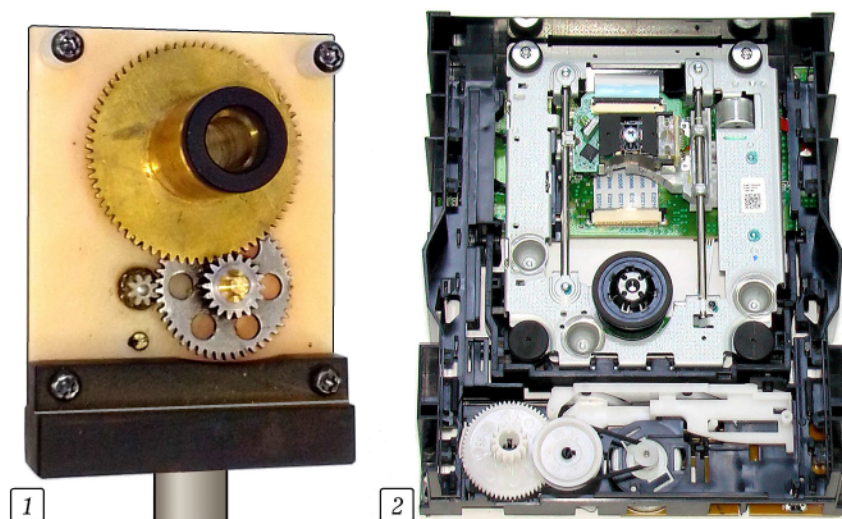


Рис. 6. Для электромеханического блока можно использовать: 1 — самодельный редуктор из подходящих по параметрам зубчатых колес; 2 — электродвигатель и редуктор от привода устаревших оптических *DVD RW* дисков компьютера

**Задание 15. Редуктор из подручных деталей.** В статье [10] говорится, что в электромеханическом блоке необходим редуктор, уменьшающий скорость вращения вала электродвигателя примерно в 20 раз. Раньше такие редукторы можно было набрать из шестеренок старых механических часов-будильников. И сейчас попадаются устаревшие механизмы, зубчатые колеса которых вполне подходят для изготовления редуктора. Например, на рис. 6.1 приведена фотография самодельного редуктора, шестеренки которого имеют 69, 45, 18 и 8 зубьев; передаточное число такого редуктора  $n = (69/18) \cdot (45/8) = 21,6 \approx 22$ . Предложите современное устройство для изготовления необходимого редуктора.

**Вариант выполнения.** В наши дни более доступны механизмы приводов оптических *DVD RW* дисков (рис. 6.2). Они содержат микроэлектродвигатель и готовый редуктор, понижающий скорость вращения в нужное число раз. Таким образом, если из дисководов аккуратно вырезать часть, в которой установлен двигатель и собран редуктор, то она вполне подойдет в качестве электромеханического блока анализатора линейно поляризованного света (рис. 7). Действительно, на валу двигателя 1 закреплен малый

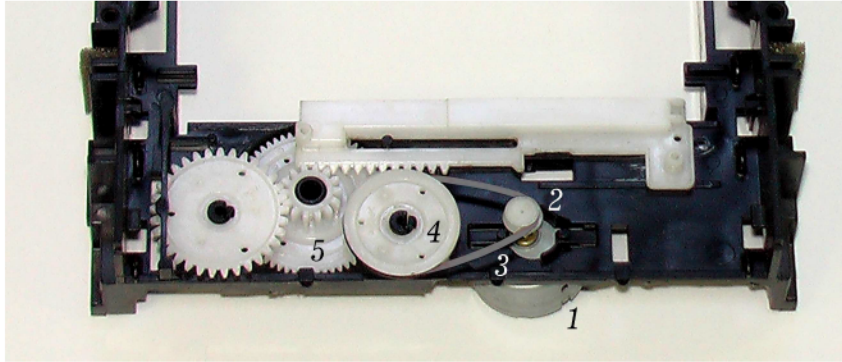


Рис. 7. Электромеханический блок анализатора, вырезанный из разобранного дисковод

шків 2 діаметром  $D_1 = 4$  мм; ременна передача 3 з'єднує його з більшим шківом 4 діаметром  $D_2 = 21$  мм; соосно з цим шківом закріплено зубчасте колесо (на фотографії не видно) з числом зубців  $Z_1 = 16$ ; з ним з'єднано велике зубчасте колесо 5 з  $Z_2 = 62$ ; воно розташоване на вихідному валу редуктора, представляючому собою втулку з отвором, декілька перевищуючим діаметр фотодіода. Всі шківви та зубчасті колеса пластмасові. Передаточне число цього редуктора:

$$K = \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{21 \cdot 62}{4 \cdot 16} = 20,3 \approx 20.$$

**Задання 16.** Сервопривод з редуктором для освітньої робототехніки. Изучите *сервоприводы* з редукторами для навчальних робототехнічних пристроїв на предмет можливості їх використання в електронно-механічному аналізаторі.

**Варіант виконання.** Изучение имеющейся в Интернете информации позволяет сделать вывод, что предназначенные для изучения основ робототехники сервоприводы типа 4503НВ и НК15138 представляют собой почти готовые электромеханические блоки обсуждаемого прибора, так как они содержат электродвигатель постоянного тока и редуктор, выходной вал которого имеет отверстие, незначительно превышающее диаметр фотодіода.

**Задання 17.** Применение готового электродвигателя с редуктором. Покажите, как сервоприводы типа 4503НВ и НК15138 можно использовать в электромеханическом блоке демонстрационного анализатора.

**Варіант виконання.** Доработку сервоприводов типа 4503НВ и НК15138 можно произвести следующим образом.

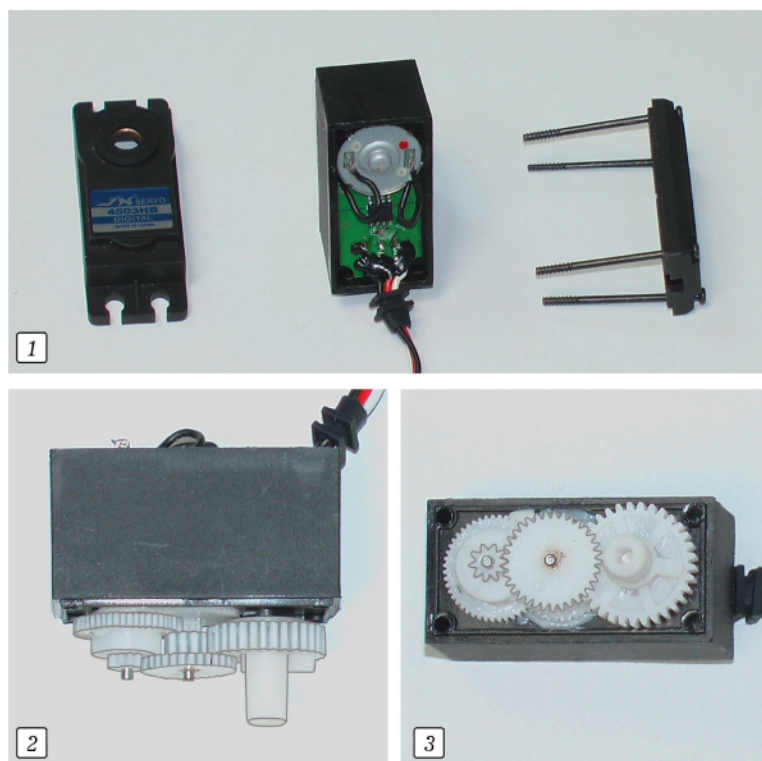


Рис. 8. Сервопривод типа 4503HV: 1 — передняя и задняя крышки сняты, в центре показано устройство привода со стороны электродвигателя; 2, 3 — редуктор, вид сбоку и спереди

1) Снимают заднюю крышку сервопривода и удаляют плату с микросхемой и переменным резистором (рис. 8).

2) Снимают переднюю крышку сервопривода и обнажают редуктор. Из редуктора достают большое зубчатое колесо с выходным валом. С колеса срезают флажок (если он есть), ограничивающий поворот вала в пределах  $180^\circ$ .

3) В переднем торце выходного вала по его оси имеется углубление диаметром 2,5 мм, предназначенное для самореза, фиксирующего рулевой рычаг. Это углубление рассверливают до сквозного осевого отверстия диаметром 4 мм так, чтобы в него свободно вошел фотодиод ФД-256.

4) В посадочное место для переменного резистора вставляют фотодиод ФД-256 так, чтобы он удерживался в нем на трении, и собирают редуктор.



5) К выводам электродвигателя и фотодиода припаивают провода марки МГТФ (0,07 мм<sup>2</sup>) длиной примерно 400 мм. На провода, соединенные с фотодиодом, надевают экранирующую оплетку. Идущие от фотодиода и электродвигателя провода соединяют с электронным блоком.

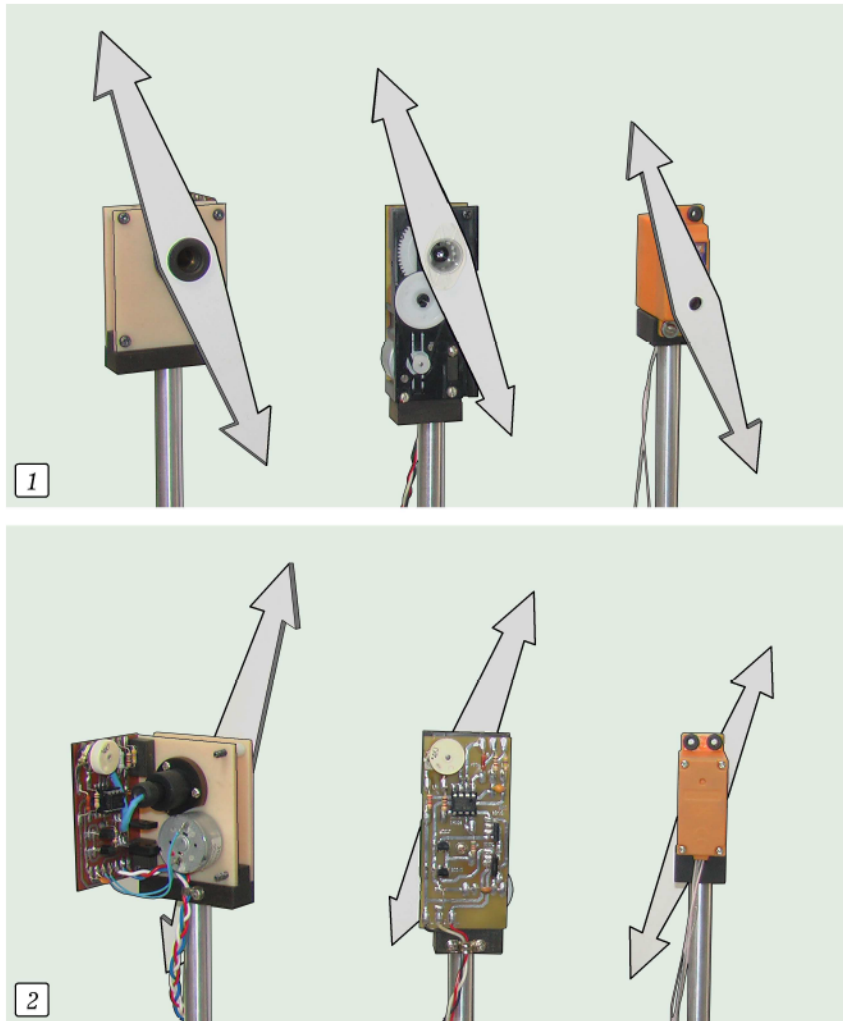


Рис. 9. Три варианта электронно-механического анализатора линейно поляризованного света: 1 — вид подготовленных к работе приборов спереди; 2 — вид сзади

На рис.9 приведены фотографии трех, из числа возможных, конструкций электронно-механического анализатора линейно поляризованного света.

### 5. Налаживание экспериментальной установки

Налаживание устройства можно провести двумя способами. Первый способ позволяет обучающимся глубоко осознать принцип действия электронно–механического анализатора и детально изучить электронный блок прибора. Второй способ обеспечивает быструю настройку анализатора без измерений параметров схемы.

**Задание 18.** Налаживание электронно–механического анализатора. Используя светодиодный фонарь с регулировкой фокуса, поляроидный поляризатор на диске из школьного набора и электромеханический анализатор, соберите экспериментальную установку для введения понятия линейно поляризованного света. С помощью подходящего цифрового мультиметра произведите наладивание электронного блока анализатора.

**Вариант выполнения.** При наладивании необходимо использовать принципиальную схему устройства (рис. 3) и описание ее действия.

1) На двойной стрелке закрепляют вырезанный из поляроидной пленки анализатор так, чтобы он перекрывал фотодиод и его главное направление составляло с направлением стрелки угол, близкий к  $45^\circ$ . Стрелку с анализатором устанавливают на выходном валу редуктора сервопривода.

2) На расстоянии 2–4 м от прибора располагают светодиодный фонарь с регулировкой фокуса и, направив пучок света на фотодиод, перекрывают его возле фонаря школьным поляризатором на диске. Добиваются освещенности фотодиода примерно 100 лк (все числовые значения в этом задании приводятся в качестве ориентировочных).

3) Отсоединяют вывод резистора  $R7$  от точки соединения с базами транзисторов  $VT1$  и  $VT2$ . Включают питание прибора.

4) Мультиметр DT9208A переводят в режим вольтметра и соединяют его с выходом  $I$  микросхемы  $DA1.1$ . Поворачивают поляризатор вокруг оси светового пучка и обнаруживают, что измеряемое прибором напряжение изменяется от минимального  $U_{\min} = -119$  мВ (такого же, как в темноте) до максимального  $U_{\max} = -250$  мВ по модулю значения.

5) На глаз устанавливают поляризатор так, чтобы его главное направление стало параллельно стрелке, то есть под углом  $45^\circ$  к главному направлению анализатора. При этом напряжение на выходе  $I$  микросхемы  $DA1.1$  становится примерно равным  $U_1 = -160$  мВ.

6) Подключают вольтметр к движку подстроечного резистора  $R4$ . Изменяют напряжение на движке до тех пор, пока оно не сравняется с  $U_1$ , то есть  $U_2 \approx U_1 = -160$  мВ.

7) Отключают питание прибора и восстанавливают соединение резистора  $R7$  с базами транзисторов  $VT1$  и  $VT2$ .

8) Направляют на прибор линейно поляризованный пучок от светодиодного фонаря и включают питание прибора. Если стрелка непрерывно вращается, то меняют местами выводы двигателя  $M1$ . Если

стрелка неподвижна, вращают поляризатор сначала в одну, а затем в другую сторону: при этом стрелка анализатора плавно поворачивается в соответствии с поворотом главного направления поляризатора. На этом налаживание прибора заканчивается.

**Задание 19.** Простой способ налаживания электронно–механического анализатора. Научитесь налаживать демонстрационный анализатор без электроизмерительного прибора.

**Вариант выполнения.** Этим способом можно воспользоваться, если перед сборкой прибора надежно установлено, что все предназначенные для него электронные компоненты исправны, и проверка показала, что сама сборка осуществлена безошибочно.

1) Пучок линейно поляризованного света от светодиодного фонаря направляют на электронно–механический анализатор.

2) Включают питание электронного блока, при этом анализатор с двойной стрелкой начинает вращаться в определенную сторону. Поворачивают винт переменного резистора  $R4$  до тех пор, пока вращение не прекратится. Если этого не происходит, то меняют местами выводы электродвигателя и повторяют описанные здесь действия.

3) Добившись остановки анализатора с двойной стрелкой, поворачивают поляризатор в разные стороны и наблюдают соответствующее вращение анализатора. Регулировкой подстроечного резистора  $R4$  достигают плавного вращения анализатора в соответствии с поворотом поляризатора в обоих направлениях.

## **6. Применение электронно–механического анализатора на учебном занятии**

При выполнении заключительного задания студенты разрабатывают технологию использования изготовленного ими прибора при введении и формировании понятия линейно поляризованного света.

**Задание 20.** Демонстрационные опыты. Разработайте и опишите последовательность действий при демонстрации на учебном занятии опытов с электронно–механическим анализатором.

**Вариант выполнения.** Демонстрационную установку собирают на глазах обучающихся, поясняя все свои действия.

1) На расстоянии 2–4 м от штатива на демонстрационный стол ставят белый экран. В лапке штатива располагают горизонтально светодиодный фонарь с регулировкой фокуса и на том же штативе в поворотной муфте закрепляют держатель от школьного проекционного аппарата ФОС–115 с установленным в нем поляроидным поляризатором. Электронно–механический анализатор линейно поляризованного света помещают на расстоянии примерно 0,5 м от экрана и поворачивают так, чтобы световой пучок попадал на фотодатчик прибора.

2) Включают источник света и питание электронно–механического анализатора. Учащиеся наблюдают, что двойная стрелка прибора

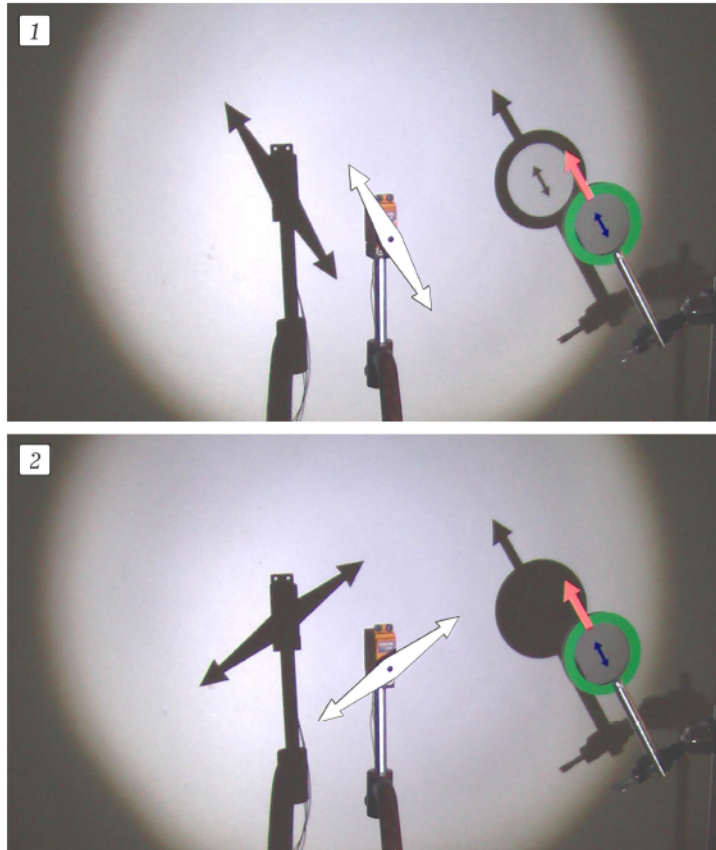


Рис. 10. Демонстрационный опыт при введении основных понятий на начальном этапе изучения поляризации света

равномерно вращается вокруг оси светового пучка, выходящего из источника. Пытаются остановить это движение поворотом движка потенциометра электронного блока и обнаруживают, что достичь этого не удастся: стрелка продолжает вращаться, но уже в противоположную сторону. Делают вывод: в пучке естественного света в плоскости, перпендикулярной пучку, все направления колебаний светового вектора равноправны.

3) Поворачивая установленную на штативе муфту, перекрывают закрепленным в ней поляризатором световой пучок возле линзы фонаря. Вращением движка потенциометра электронного блока добиваются остановки двойной стрелки анализатора. Поворачивают поляризатор и показывают, что в том же направлении и на такой же угол поворачивается двойная стрелка анализатора. Делают вывод: поляридный поляризатор превращает естественный свет в линейно поляри-



зованный, в котором световой вектор колеблется в определенном направлении в плоскости, перпендикулярной направлению распространения света.

4) Рядом с электронно–механическим анализатором поляризованного света перед экраном располагают поляроидный анализатор из школьного набора. Обучающиеся видят получающиеся на экране теневые изображения двух анализаторов (рис. 10). Поворачивают расположенный возле фонаря поляризатор.

При этом стрелка электронно–механического анализатора поворачивается, и зрители видят, что вместе с этим изменяется освещенность области экрана за поляроидным анализатором, хотя освещенность остальной части экрана остается неизменной.

5) Подводят итог серии опытов: глаз человека не реагирует на поляризацию света, поэтому для обнаружения линейной поляризации пучка необходим второй поляризатор, который для удобства называется анализатором. Электронно–механический анализатор содержит точно такую же поляроидную пленку, как расположенный рядом с ним поляроидный анализатор. Отличие между этими приборами, если исключить их системы управления, лишь в том, что в первом из них эта пленка поворачивается сервомотором, а во втором поворот поляроидной пленки осуществляется рукой наблюдателя.

## 7. Заключение

Новизна результатов *дидактического исследования*, представленного в статье, состоит в обосновании целесообразности, возможности и практической значимости изготовления и исследования электронно–механического анализатора линейно поляризованного света студентами инженерно–педагогического вуза при освоении дисциплины «Физические основы робототехники». *Целесообразность* организации такой деятельности обусловлена тем, что указанный прибор, объединяя в себе широко применяющиеся в робототехнике оптические, электронные и механические устройства, позволяет обучающимся глубоко изучить их физическую сущность. *Возможность* реализации этой деятельности подтверждается детальным описанием действий, приводящих студентов к созданию субъективно нового учебного прибора, и положительными результатами педагогического эксперимента. *Практическая значимость* полученных результатов определяется тем, что учебная деятельность студентов в вузе моделирует организацию проектной деятельности учащихся в школе.

Содержание статьи представляет собой новый дидактический ресурс учебной деятельности по подготовке будущего учителя физики, способного формировать основы инженерной компетенции у школьников. Этот ресурс полностью соответствует известному суждению П. Л. Капицы [14]: «По моему мнению, хороших инженеров мало. Они должны состоять из 4–х частей: на 25% инженер должен быть теоретически образован, на 25% он должен быть художником (машину нельзя проектировать, ее нужно рисовать — меня так учили, и

я тоже так считаю). На 25% он должен быть экспериментатором, то есть исследовать свою машину; и на 25% он должен быть изобретателем. Вот так должен быть составлен инженер. Это очень грубо и могут быть вариации. Но все эти элементы должны быть» [15, с. 44]. В разработанном нами ресурсе 20 заданий образуют четыре примерно одинаковые по численности группы, в каждой из которых основными являются учебные: теория, рисунок, эксперимент или изобретение.

*Исследование выполнено на базе ФИП «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методология создания и внедрения современных учебных физических приборов и опытов для урочной и внеурочной деятельности по физике в средней школе и в педагогическом вузе» (ХУА-2024-0030) при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках госзадания, № НИОКТР 1023040600021-1-5.3.1.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бужинская Н. В., Гребнева Д. М., Гордеева В. А., Кокшарова Е. А. Методика развития инженерного мышления студентов естественнонаучного профиля педагогических вузов в процессе обучения робототехнике // Инженерное образование. — 2024. — № 35. — С. 64–73.
2. Зуев П. В., Кошечев Е. С. Проблемы преемственности в изучении робототехники в школе и вузе // Педагогическое образование в России. — 2014. — № 8. — С. 54–61.
3. Куимов А. С., Зуев П. В. Формирование элементов технической грамотности учащихся при проведении физического эксперимента // Учебная физика. — 2024. — № 2. — С. 58–65.
4. Фаддеев М. А., Масленникова Ю. В. Практикум по физике как один из этапов подготовки учащихся к обучению в передовой инженерной школе // Учебная физика. — 2024. — № 2. — С. 3–11.
5. Оспенникова Е. В., Ершов М. Г., Оспенников А. А. Применение образовательной робототехники в учебном процессе по физике // Информационные компьютерные технологии в образовании. Вестник ПГГПУ. — 2016. — № 12. — С. 116–141.
6. Саранин В. А., Кельдышев Д. А., Иванов Ю. В. Применение робототехнических наборов в физических экспериментах // Международный научно-исследовательский журнал. — 2017. — № 9. — С. 90–96.
7. Официн С. И. Проектный метод в конструкторской деятельности по физике и технике // Учебная физика. — 2023. — № 4. — С. 58–65.
8. Вараксина Е. И., Васильев И. А., Майер В. В. Опытнo-конструкторская работа в проектах по совершенствованию учебного физического эксперимента // Учебная физика. — 2016. — № 3. — С. 44–57.
9. Майер В. В., Вараксина Е. И. Образовательная робототехника: фотодатчик линейно поляризованного света // Учебная физика. — 2024. — № 3. — С. 12–23.
10. Майер В. В., Майер Р. В. Электронно-механический демонстратор светового вектора // Учебная физика. — 1997. — № 1. — С. 53–61.
11. Физика: 11-й класс: базовый и углубленный уровни: учебник / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин; под ред. Н. А. Парфентьевой. — Москва: Просвещение, 2024. — 432 с.
12. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Т. 2. Электричество. Оптика. Физика атома. Пособие для учителей / Под ред. А. А. Покровского. — М.: Просвещение, 1972. — 448 с.
13. Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с.
14. Зуев П. В. Дидактическая ценность цитаты академика П. Л. Капицы о подготовке инженера // Учебная физика. — 2023. — № 1. — С. 55–58.
15. Все простое — правда. Афоризмы и размышления П. Л. Капицы / Сост. П. Е. Рубинин. — М.: Изд-во Моск. физ.-тех. ин-та, 1994. — 152 с.

Глазовский государственный  
инженерно-педагогический  
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 02.09.24.