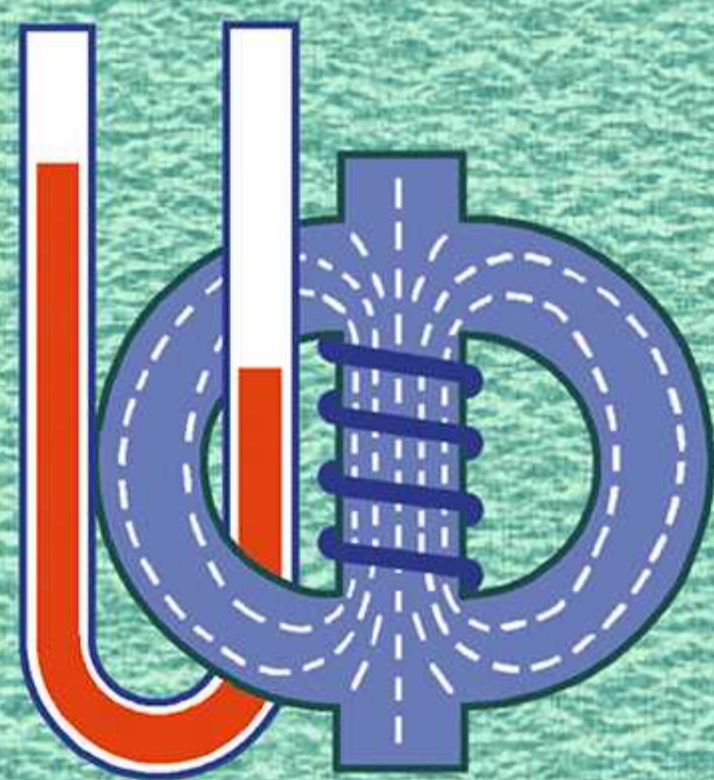
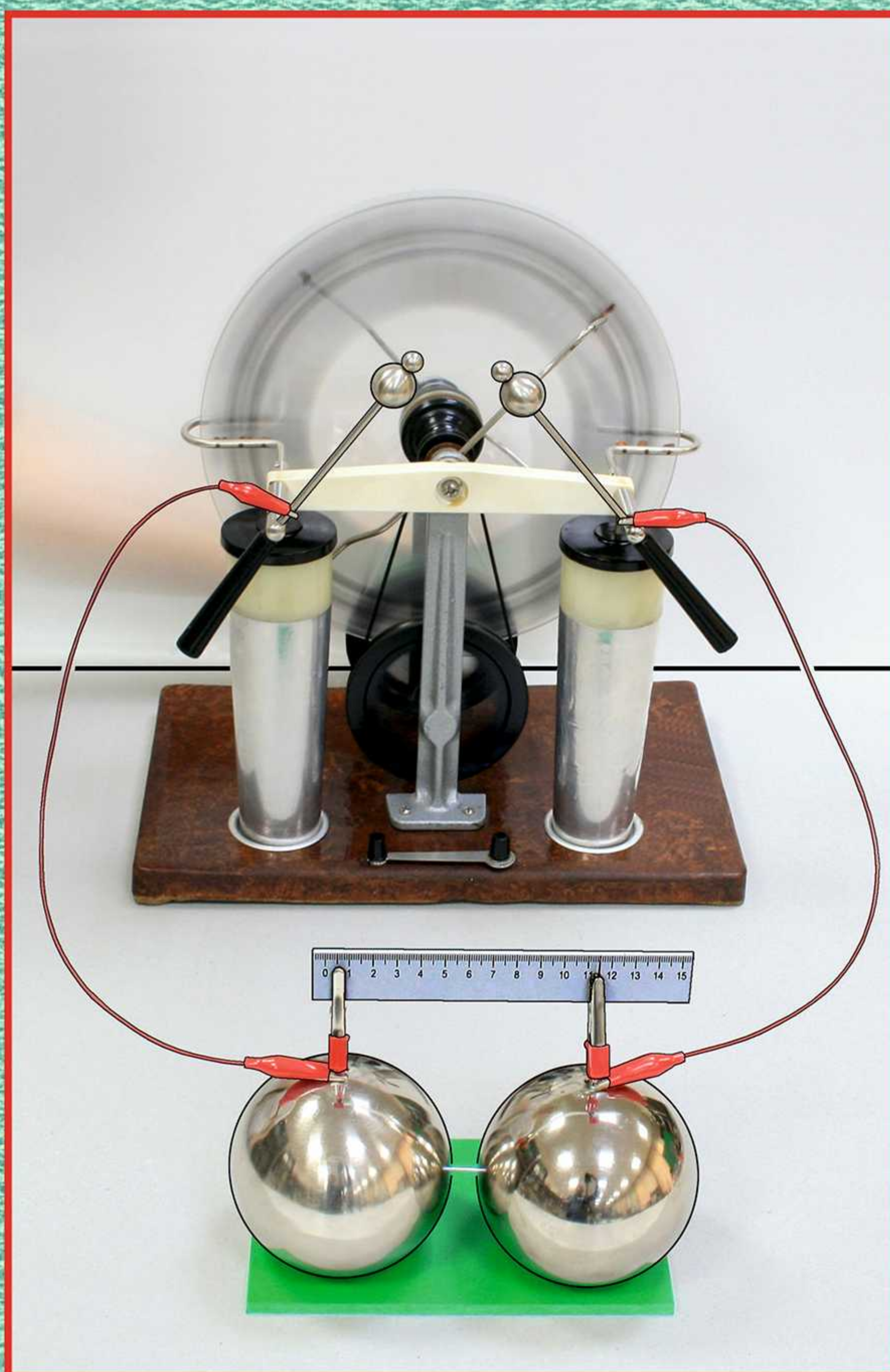


ISSN 2307-5457



# УЧЕБНАЯ ФИЗИКА

**3**  
**2022**





УДК 372.853:535

В. В. Майер, К. М. Курбоналиев

## УЧЕБНАЯ МОДЕЛЬ ТРУБЫ ГАЛИЛЕЯ

### Дидактическое исследование: физико–технический этап

Представлен физико–технический этап дидактического исследования, целью которого является разработка учебной модели зрительной трубы Галилея. Прибор предназначен для использования в лабораторном эксперименте курса общей физики педагогического вуза и в качестве объекта исследования в школьном ученическом проекте по физике.

*Ключевые слова:* труба Галилея, дидактическое исследование, общая физика, педагогический вуз, лабораторный эксперимент, школьная физика, ученический проект.

## 1. Введение

Спустя всего 5 лет после окончания Великой отечественной войны Академия педагогических наук РСФСР (Российской Советской Федеративной Социалистической Республики) выпустила тиражом 16000 экземпляров книгу «Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе». На странице 163 этой книги читаем:

«Труба Галилея отличается от ряда других оптических инструментов тем, что промежуточного действительного изображения предмета в ней нет, так как пучки сходящихся лучей, идущих из объектива, до своего пересечения встречают рассеивающую линзу, которая служит окуляром. Таким образом, труба Галилея сразу дает мнимое и прямое изображение, что делает ее значительно короче трубы Кеплера.

Для получения трубы Галилея нет необходимости собирать установку на столе. Достаточно взять в руку (за подставки) сложенные вместе рассеивающую и длиннофокусную собирающую линзы и, приставив рассеивающую линзу к глазу, постепенно отодвигать собирающую линзу вдоль оптической оси, пока удаленный предмет, на который направлена оптическая ось системы линз, не станет отчетливо видимым.

С линзами, указанными в списке оборудования, увеличение получается равным около 1,5. В этом нетрудно убедиться, если смотреть одновременно вторым глазом непосредственно на предмет и сравнивать его величину с величиной изображения» [1, с. 163–164].



## 2. Цель физико–технического этапа дидактического исследования

В представленном выше описании эксперимента оптическая схема зрительной трубы Галилея не приведена и вывод формулы для увеличения не сделан, зато указано необходимое для сборки модели трубы оборудование: собирающая двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием 130–150 мм и рассеивающая двояковогнутая линза с фокусным расстоянием 90 мм.

В современных школьных практикумах сборка трубы Галилея, насколько нам известно, не предусмотрена. Поэтому вполне понятен вопрос: насколько необходимо экспериментальное изучение трубы Галилея в школе?

**Историческая справка.** В 1609 году Галилей построил зрительную трубу или телескоп [2, с. 72–73]. Она состояла из двух линз: собирающей и рассеивающей, причем задний фокус собирающей линзы совпадал с передним фокусом рассеивающей. Увеличение первой зрительной трубы Галилея составляло всего 3 раза, его лучший телескоп увеличивал изображения более чем в 60 раз. В настоящее время труба Галилея применяется чаще всего в театральных биноклях, дающих небольшое увеличение, обычно не выше 6 раз.

Телескопические исследования звездного неба позволили Галилею сделать великие астрономические открытия: 1) Млечный Путь состоит из множества звезд; 2) на Луне есть горы; 3) вокруг Юпитера вращаются четыре спутника; 4) Венера, подобно Луне, имеет фазы; 5) на Солнце есть пятна; 6) Солнце вращается вокруг своей оси [3, с. 71–72].

**Вывод:** труба Галилея проста по конструкции, сыграла в истории физики выдающуюся роль и применяется до сих пор, поэтому возможно и целесообразно экспериментальное изучение этого оптического прибора в курсах элементарной и общей физики.

**Цель физико–технического этапа дидактического исследования:** разработать доступный для средней школы и педагогического вуза комплект приборов, обеспечивающий учебные исследования трубы Галилея.

## 3. Гипотеза и задачи физико–технического этапа дидактического исследования

Функциональная схема трубы Галилея приведена на рис. 1. Объективом  $O_b$  трубы является длиннофокусная собирающая



линза  $L_1$ , окуляром  $Oк$  служит короткофокусная рассеивающая линза  $L_2$ . Линзы расположены так, что передний фокус окуляра  $F_2$  (который находится за рассеивающей линзой  $L_2$ ) совпадает с задним фокусом  $F_1$  объектива  $L_1$ . Зрачок глаза  $G$  расположен вблизи этой точки. Элементарная теория показывает, что увеличение трубы Галилея определяется такой же формулой, что и увеличение трубы Кеплера:

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}}, \quad (1)$$

где  $f_{об}$  и  $f_{ок}$  — фокусные расстояния объектива и окуляра [4, с. 333–340]. Строгая теория этого прибора дана в [5, с. 322–333].

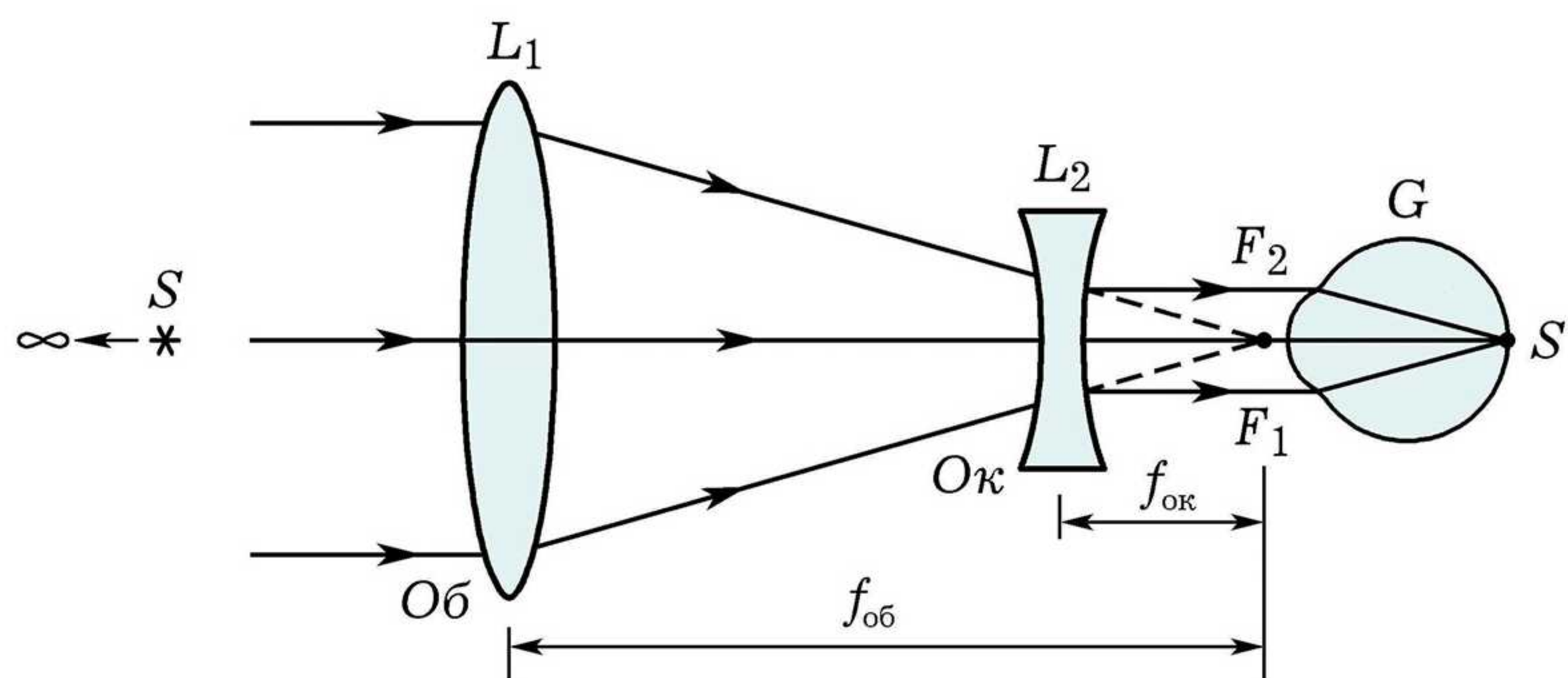


Рис. 1. Функциональная схема зрительной трубы Галилея

**Гипотеза физико–технического этапа дидактического исследования:** учебная модель зрительной трубы Галилея может быть создана в совместной опытно–конструкторской и исследовательской деятельности учителя и ученика, так как принцип действия этого прибора прост и доступен обучающимся, а необходимые для его изготовления оборудование, материалы и инструменты имеются в физических кабинетах средних школ и учебных лабораториях педагогических вузов или используются в быту.

**Задачи исследования.** Эта гипотеза и поставленная выше цель позволяют сформулировать примерные задачи исследования: 1) разработать комплект оборудования для быстрой сборки трубы Галилея; 2) измерить фокусное расстояние объектива; 3) измерить фокусное расстояние окуляра; 4) вычислить увеличение трубы по известной формуле; 5) определить увеличение трубы методом фотографирования линейки на смартфон; 6) срав-



нить экспериментальный результат с теоретическим расчетом; 7) сделать выводы.

#### 4. Результаты исследования

Дидактическое исследование от начального замысла до окончательного завершения проходит целый ряд этапов, которые изложены, например, в монографии [6, с. 91–97] и в статье [7]. Практически всегда этот путь настолько извилист, что идущий по нему не столько поступательно продвигается вперед, сколько петляет и бросается из стороны в сторону. Описывать эти метания — трудная и неблагодарная задача, так как они строго индивидуальны. Поэтому здесь изложены лишь ключевые результаты проведенного нами исследования.

**4.1. Оборудование.** Минимум оборудования для сборки трубы Галилея включает: объектив, окуляр и собственно трубу. Старый объектив школьного проекционного аппарата (рис. 2.1) содержит две собирающие линзы диаметром 45 мм с фокусным расстоянием  $f_1 = 240$  мм каждая. Одну из этих линз можно взять в качестве объектива зрительной трубы Галилея. В качестве окуляра трубы подойдет рассеивающая линза № 3 (рис. 2.2) из старого школьного набора для фронтальных лабораторных работ; диаметр этой линзы 36 мм, фокусное расстояние  $f_2 = -90$  мм.

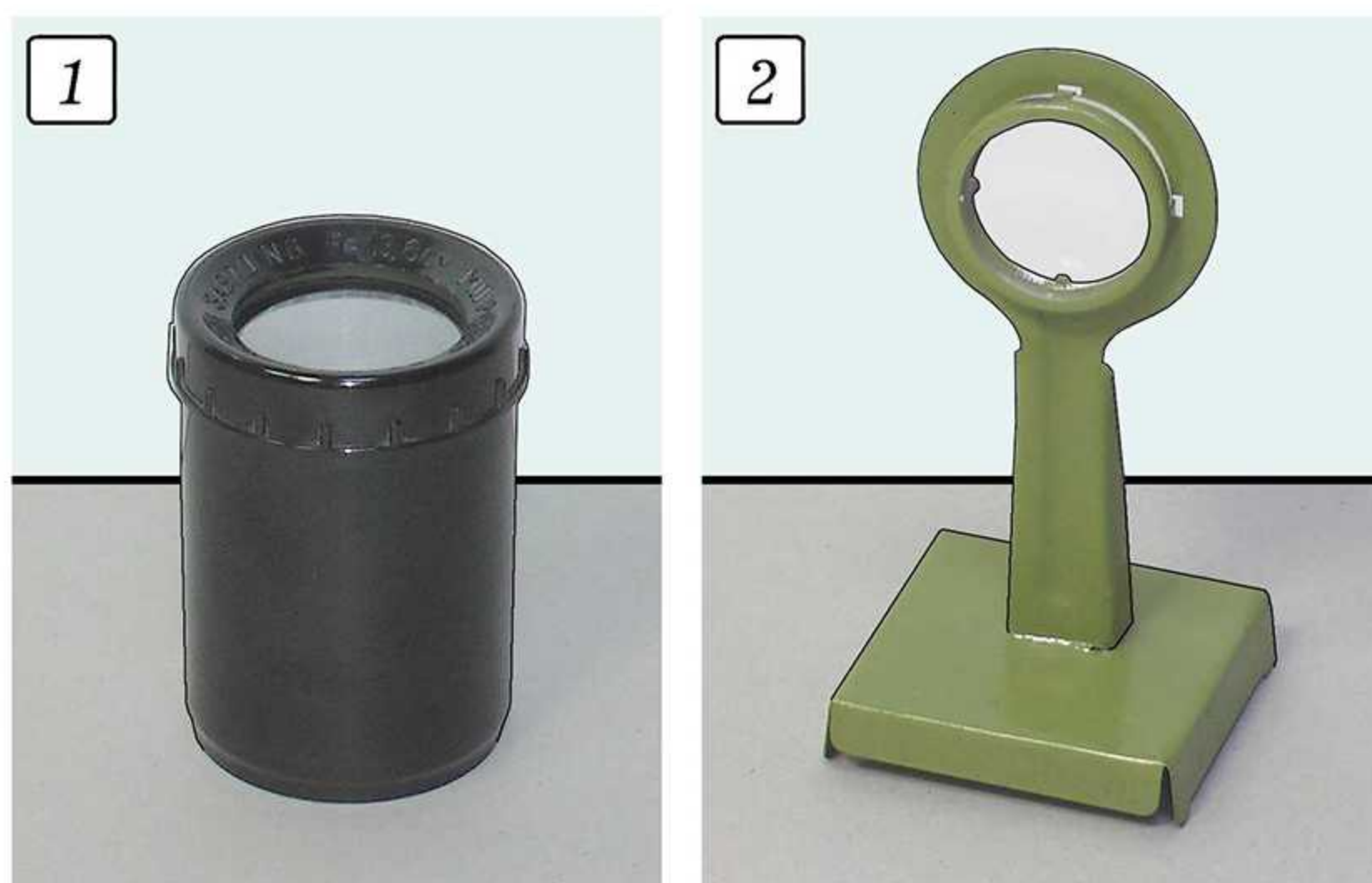


Рис. 2. Устаревшие оптические приборы школьного кабинета физики: 1 — объектив проекционного аппарата ФОС–115; 2 — рассеивающая линза из набора для фронтальных опытов

**4.2. Труба для объектива и окуляра.** Телескоп Галилея состоял из двух вложенных одна в другую труб с непрозрачными стенками. На выступающих концах этих труб располагались



объектив и окуляр. Перемещением окулярной трубы в объективной осуществлялась наводка на резкость. Моделирование трубы Галилея в точном соответствии с оригиналом значительно усложняет технологию изготовления учебного прибора, ничего не добавляя к пониманию его принципа действия.

Уже в описании трубы Галилея для фронтальных лабораторных работ [1], которое приведено в начале статьи, говорится, что для объектива и окуляра никакой трубы, собственно, и не требуется. Однако держать две линзы в руках так, чтобы они образовывали единый оптический прибор с общей оптической осью, трудно. Кроме того, это не позволяет в натурном эксперименте определить увеличение исследуемого оптического прибора. Поэтому объектив и окуляр модели трубы Галилея нужно закрепить соосно, пусть не в трубе, а на стержне, но так, чтобы можно было изменять расстояние между ними.



Рис. 3. Разработанная в процессе дидактического исследования учебная модель трубы Галилея



Предварительные опыты показали, что в качестве несущего стержня удобно использовать полипропиленовую водопроводную трубу длиной примерно 200 мм и диаметром 20 мм. Для такой трубы выпускаются специальные крепежные клипсы, на которых можно расположить объектив и окуляр (рис. 3).

**4.3. Крепеж и держатели линз.** В оборудование для сборки трубы Галилея входят две линзы разного диаметра. В опытах они должны быть установлены соосно. Это означает, что каждую линзу нужно закрепить на своем держателе так, чтобы ее положение можно было регулировать по высоте.

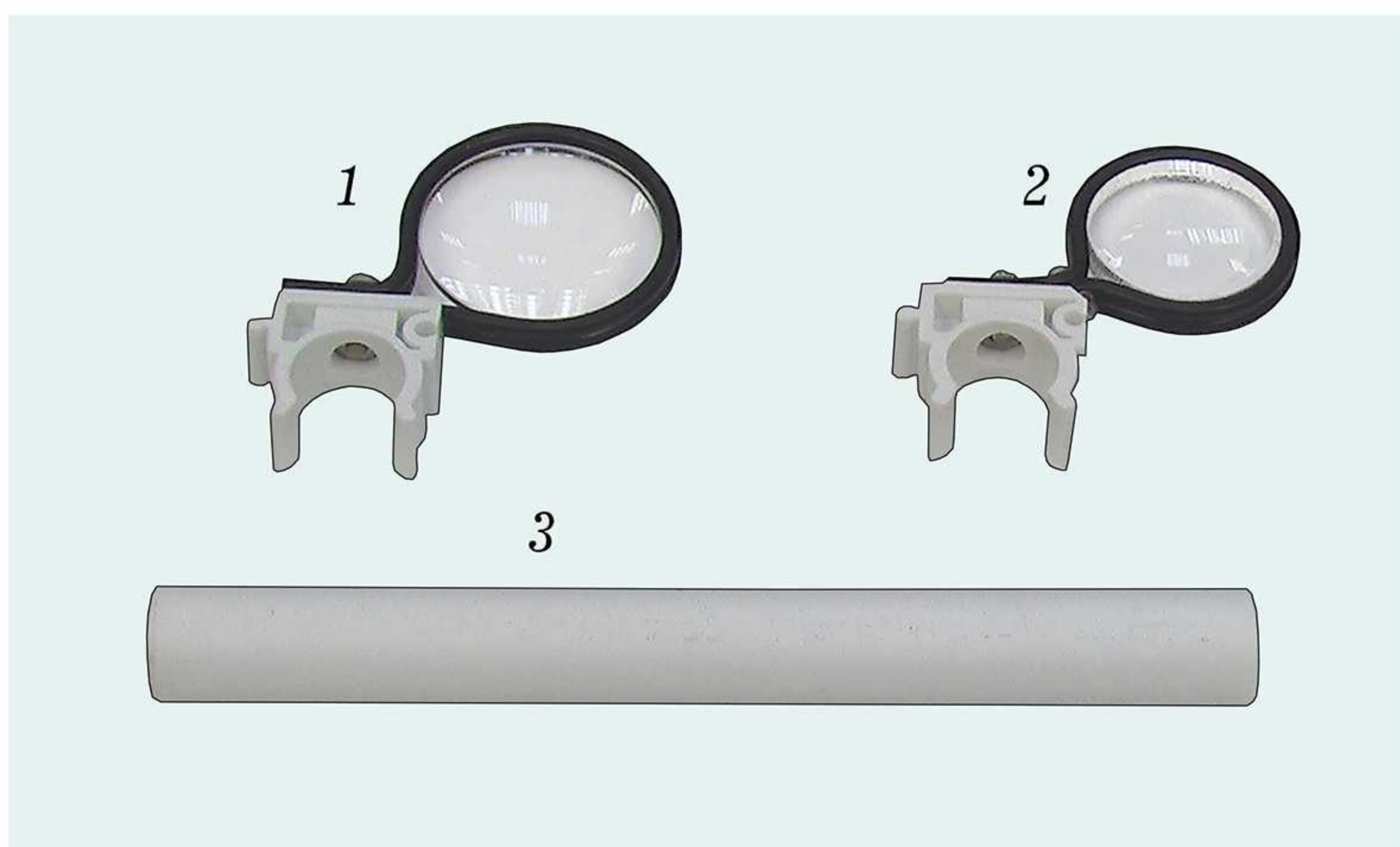


Рис. 4. Детали учебной модели трубы Галилея: 1 — объектив; 2 — окуляр; 3 — несущий стержень (отрезок полипропиленовой трубы)

Проведенные эксперименты показали, что наиболее доступным и надежным способом крепления линз является обойма, изогнутая из двухжильного медного провода диаметром жилы примерно 1 мм. Изоляция такого провода имеет паз, в котором удобно и прочно располагается линза. Сведенные вместе концы провода, образующего обойму, можно закрепить винтом на монтажной клипсе (рис. 4). Крепеж линз должен быть выполнен так, чтобы их оптические центры находились на одном расстоянии от оси клипсы.

**4.4. Источник света.** Для измерения фокусных расстояний этих линз необходим источник света. Были опробованы мало-мощная лампа накаливания (3,5 В, 0,26 А) и белый светодиод. Выявлены два недостатка лампы накаливания: необходимость



батареи гальванических элементов или понижающего трансформатора в качестве источника питания и наличие стеклянного баллона, не позволяющего с достаточной точностью определить положение нити накала.

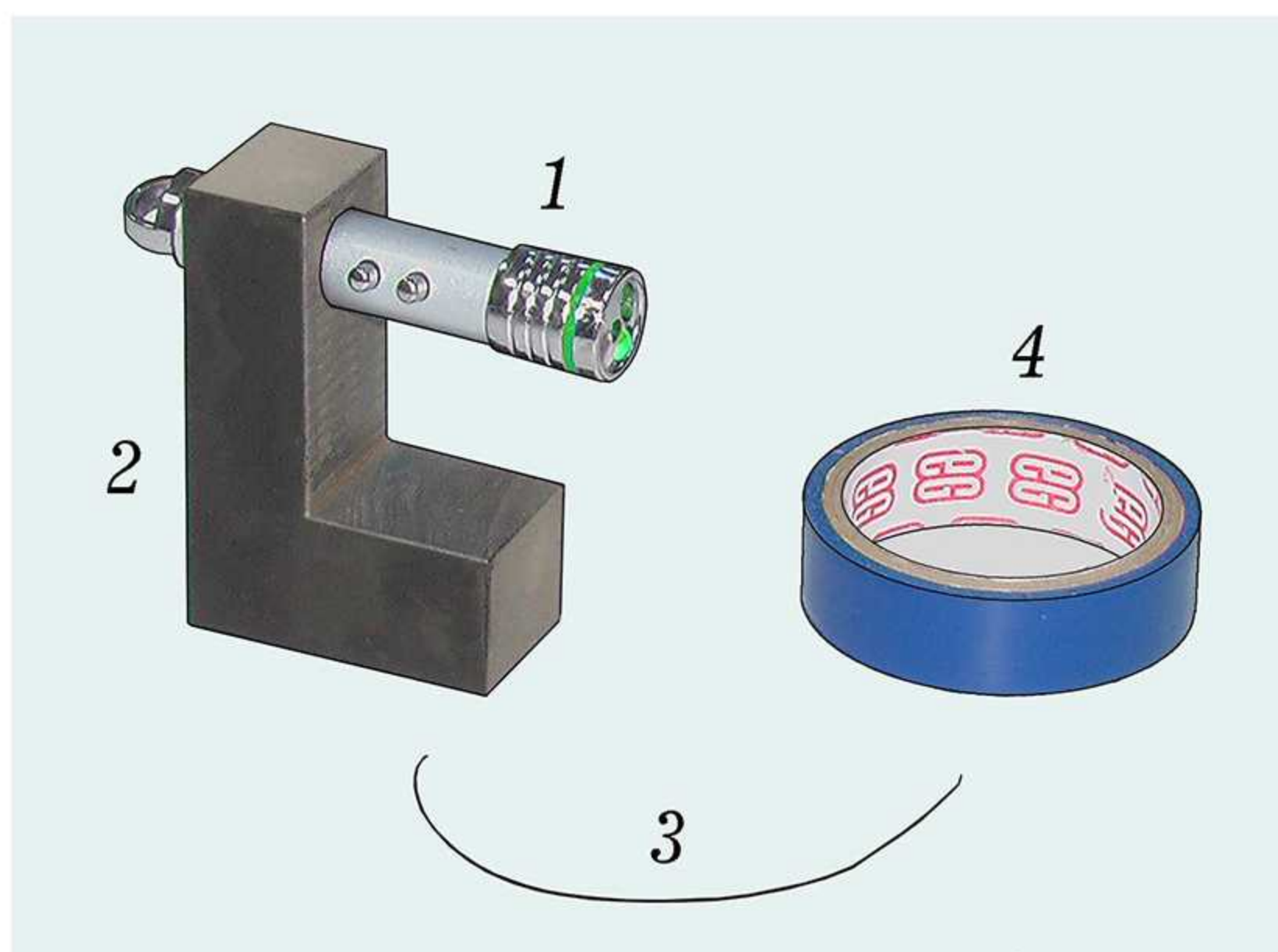


Рис. 5. Источник света для измерения фокусных расстояний линз: 1 — фонарик с лазерной указкой и двумя белыми светодиодами; 2 — держатель из эбонита; 3 — медная проволока для закрепления поперек светодиодов; 4 — изолента

Поэтому в качестве основного источника взят фонарик, состоящий из лазерной указки и двух расположенных рядом белых светодиодов. Этот фонарик установлен в подходящем держателе на высоте 55 мм над поверхностью стола (рис. 5). Для более точной наводки на резкость поперек светодиодов на корпусе фонарика изолентой закреплена медная проволока диаметром 0,35 мм. Такой источник света позволяет с помощью отобранных для трубы Галилея линз уверенно получать на белом экране его резкое изображение.

**4.5. Фокусное расстояние объектива.** Измерение фокусного расстояния объектива трубы не вызывает затруднений. В стандартном опыте на белом экране получают действительное изображение источника, созданное объективом, линейкой измеряют расстояния от объектива до источника и до изображения, затем по формуле линзы вычисляют фокусное расстояние.

**4.6. Необходимость третьей линзы.** Затруднения возникают при определении фокусного расстояния окуляра. В принципе для этого достаточно использовать объектив. С его помощью на экране получают действительное изображение источника (рис. 6). Перед экраном располагают рассеивающую линзу и



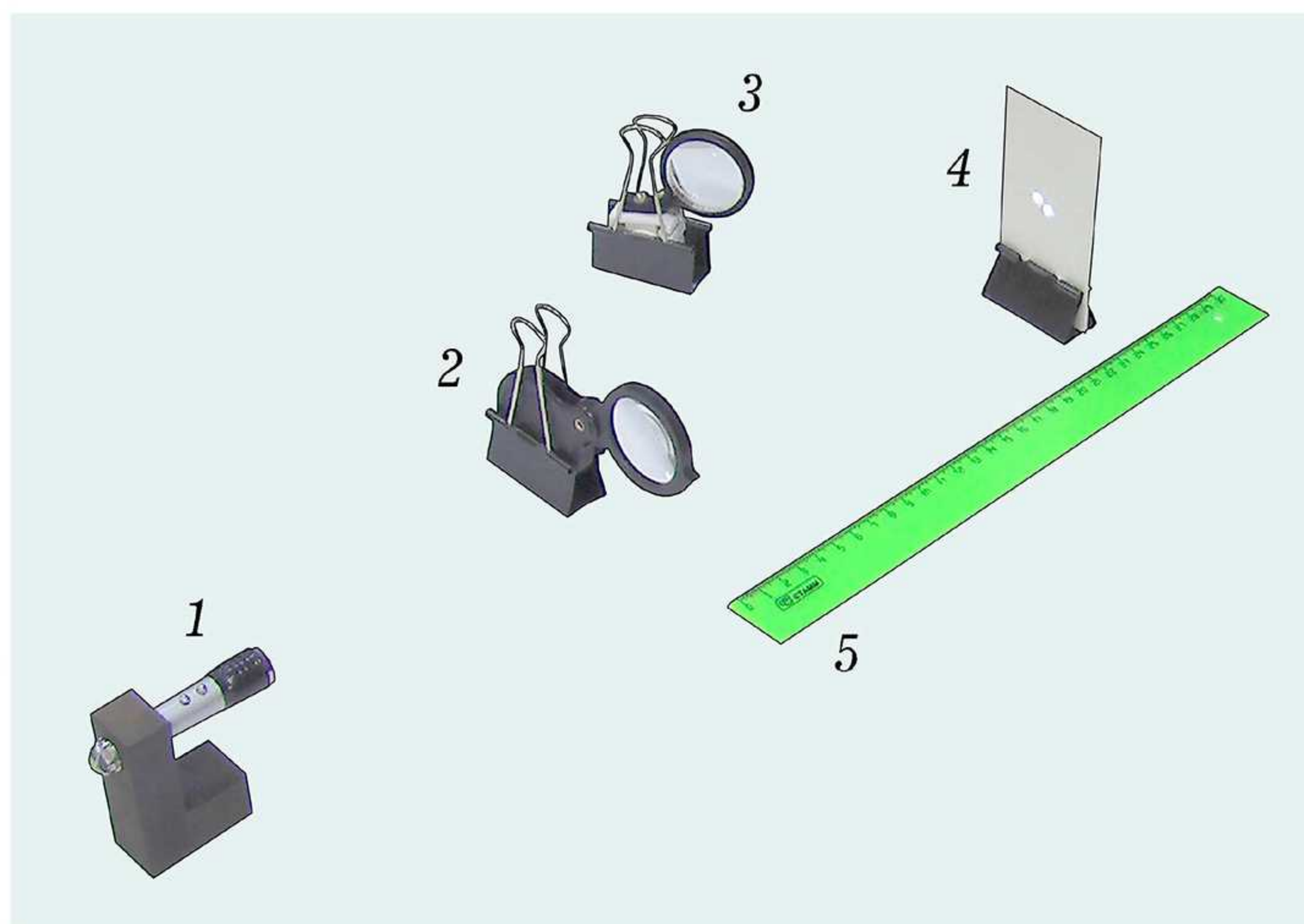


Рис. 6. Получение на экране действительного изображения источника света: 1 — светодиодный фонарик; 2 — дополнительная собирающая линза с фокусным расстоянием  $f_3 = 10$  см; 3 — рассеивающая линза; 4 — белый экран; 5 — линейка с миллиметровыми делениями

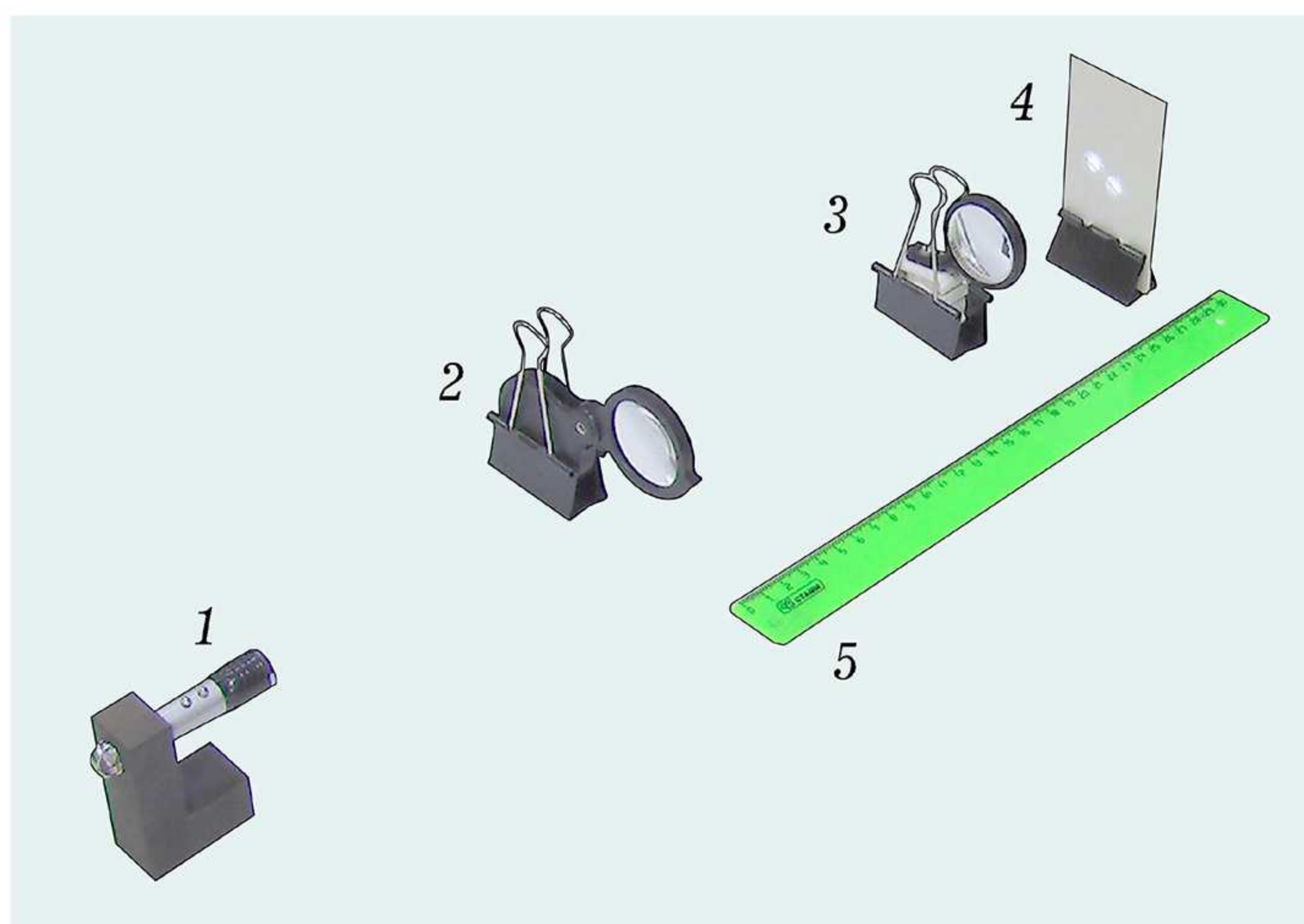


Рис. 7. Определение фокусного расстояния  $f_2$  рассеивающей линзы

отодвигают экран от этой линзы до тех пор, пока на нем вновь не получится действительное изображение источника (рис. 7). Измеряют расстояние от рассеивающей линзы до экрана в первом и



втором положениях. Пользуясь формулой рассеивающей линзы, вычисляют ее фокусное расстояние.

Этот простой опыт, однако, дает крайне противоречивые результаты. Причина в том, что введение рассеивающей линзы в созданный объективом сходящийся световой пучок не позволяет однозначно получить резкое изображение источника на экране. Многочисленные попытки так изменить условия опыта, чтобы система из указанных выше объектива и окуляра давала резкое изображение источника, не привели к положительному результату. В опытах изменялись не только расстояния между элементами установки, но и вид источника. Например, излучающая поверхность светодиода перекрывалась экраном из фольги с двумя небольшими отверстиями.

В итоге мы пришли к выводу, что в оборудование для лабораторной работы нужно добавить еще один прибор — собирающую линзу с меньшим фокусным расстоянием, чем объектив трубы.

В качестве дополнительной линзы взята  $2,5\times$  лупа, представляющая собой собирающую линзу диаметром 40 мм с фокусным расстоянием  $f_3 = 100$  мм (рис. 6).

**4.7. Фокусное расстояние окуляра.** Если источник света находится на расстоянии  $a_1 = 60$  см от собирающей линзы с фокусным расстоянием  $f_3 = 10$  см, то формула линзы показывает, что его действительное изображение получится на белом экране, расположенном на расстоянии  $b_1 = 12$  см от линзы. Будем помещать рассеивающую линзу на расстояниях  $a = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$  см от этого изображения в сторону собирающей линзы. Формула рассеивающей линзы

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}, \quad b = \frac{af}{f - a} \quad (2)$$

позволяет вычислить расстояния  $b$  до создаваемого этой линзой действительного изображения. Получаем, что резкое изображение будет находиться на расстояниях  $b = 1,1; 2,6; 4,5; 7,2; 11,3; 18,0; 31,5; 72$  см от рассеивающей линзы.

На двух минимальных расстояниях из этого ряда погрешности измерений слишком велики. На двух максимальных расстояниях трудно установить резкость изображения, следовательно, погрешности измерений также велики. Поэтому для получения в учебном эксперименте достоверных значений фокусного расстояния рассеивающей линзы ее нужно помещать на расстояниях  $3 \leq a \leq 6$  см от изображения, созданного собирающей линзой с фокусным расстоянием  $f_3 = 10$  см. Интересно, что наиболее точ-



ная установка резкости будет производиться, когда рассеивающая линза находится от созданного собирающей линзой изображения на расстоянии, равном половине ее фокусного расстояния.



Рис. 8. Способ крепления элементов экспериментальных установок: 1 — большой канцелярский зажим шириной 51 мм; 2 — крепление вспомогательной линзы  $f_3 = 10$  см; 3 — крепление белого экрана

Для определения фокусных расстояний линз их нужно располагать соосно на столе. Удобно клипсы с линзами закреплять в больших канцелярских зажимах для бумаг, что позволяет осуществлять регулировку линз по высоте (рис. 6–8).

**4.8. Увеличение зрительной трубы.** Вычисление по формуле (1) для увеличения зрительной трубы Галилея дает значение

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}} = \frac{240}{90} = 2,7, \quad (3)$$

где  $f_{об} = 240$  мм и  $f_{ок} = 90$  мм — измеренные значения фокусных расстояний объектива и окуляра.

Определение увеличения трубы Галилея методом фотографирования на смартфон метровой линейки непосредственно и через трубу дает значение, совпадающее в пределах погрешностей с вычисленным.

## 5. Заключение

Изложенные результаты показывают, что все задачи физико-технического этапа дидактического исследования выполнены полностью и справедливость гипотезы исследования доказана.



Однако для использования полученных результатов в обучении необходима разработка содержания, методики и учебного пособия к лабораторной работе курса общей физики педагогического вуза или дидактического ресурса исследовательского проекта по физике для учащихся средней школы. Возможность и целесообразность применения их в реальном учебном процессе может быть обоснована только педагогическим экспериментом. Это цели следующих этапов дидактического исследования: методического и педагогического.

Авторы выражают благодарность Е. И. Вараксиной и И. А. Васильеву за помощь в работе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-013-00157. *Acknowledgments:* The reported study was funded by RFBR, project number 20-013-00157.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский А. А., Зворыкин Б. С. Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе. — М.: Изд-во АПН РСФСР, 1950. — 172 с.
2. Льюис М. История физики. — М.: Изд-во «Мир», 1970. — 464 с.
3. Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. — М.: Наука, 1983. — 400 с.
4. Князев С. И. Физический практикум по оптике. Часть 3. — Свердловск, 1962. — 448 с.
5. Тудоровский А. И. Теория оптических приборов. Т. 2. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. — 568 с.
6. Вараксина Е. И. Методология научного исследования учебного физического эксперимента: монография. — М.: ФЛИНТА, 2022. — 192 с.
7. Вараксина Е. И. Основные этапы научного исследования учебного физического эксперимента // Учебная физика. — 2022. — № 3. — С. 61–67.