

ISSN 2307-5457	НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ
<i>Primus inter pares</i>	 УЧЕБНАЯ ФИЗИКА
Материалы XXVII Всероссийской научно-практической конференции	Январь - март 2022 №1
«Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения»	Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Хроника

XXVII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ. СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ»	3
--	---

Основная школа

В. В. Майер К. М. Курбоналиев	ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА И СОВРЕМЕННАЯ ГРАДИЕНТНАЯ ОПТИКА НА ШКОЛЬНОМ ВНЕУРОЧНОМ ЗАНЯТИИ	9
----------------------------------	---	---

Старшая школа

В. Н. Бакулин М. И. Толмачева	ВЕРЕВКА — ВЕРВИЕ НЕ ПРОСТОЕ	14
Ш. Г. Зиятдинов	ЗАДАЧИ-ЛОВУШКИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ	22

Высшая школа

Б. А. Мукушев	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИЛУ ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ	27
А. А. Сабирзянов	ПОСТРОЕНИЕ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПО МЕТОДУ МАКСВЕЛЛА	33
С. А. Герасимов	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТИ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ ...	41

А. П. Коваленко	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО	
С. В. Симукова	ТОКА НА ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ	
	ПО ФИЗИКЕ	48

Компьютер в эксперименте

В. В. Майер	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАРТФОНА	
А. А. Перминов	ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАДИЕНТА	
	ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ	53

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	67
ABSTRACTS	68

Редакция журнала:

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

Редакционный совет:

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

Оргкомитет конференции:

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

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

E-mail: kropa@bk.ru

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

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

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

Сдано в набор 12.05.22. Подписано в печать 15.06.22. Дата выхода в свет: 27.06.22. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 151. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Современный вариант эксперимента Г.Герца, в котором обнаруживается электромагнитное излучение, распространяющееся от полуволнового вибратора с искровым промежутком.

УДК 372.853

В. Н. Бакулин, М. И. Толмачева
ВЕРЕВКА — ВЕРВИЕ НЕ ПРОСТОЕ

Сравниваются разные методические подходы к решению задач с веревкой. Анализируются причины расхождений результатов решения задач разными методами: динамическим и энергетическим. Обсуждаются результаты применения студентами-физиками старших курсов различных подходов к решению задач на движение веревки.

Ключевые слова: учебная задача, модели движения, динамический и энергетический подходы.

Решение физической задачи — это поиск компромисса между процессом упрощения модели путем уменьшения количества учитываемых параметров и доступным исследователю математическим аппаратом, в том числе и набором законов природы, находящихся в оперативном пользовании исследователя.

Правильность решения научной или технической задачи определяется экспериментом или практикой. Правильность решения учебной задачи проверяется обычно сравнением с ответом в конце задачника, проверкой размерности результата... ну и, конечно, проверкой с помощью «здравого смысла», исключающего неразумные результаты.

Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса и заряда являются универсальными средствами проверки правильности полученных результатов. Если динамика исследуемого процесса и его модель оказываются слишком сложными, то законы сохранения по крайней мере позволяют связать начальное и конечное состояние исследуемой системы.

В предыдущей статье мы говорили о проблемах, возникающих при склейке разных моделей движения тела, обычно принимаемого за материальную точку, когда пренебрежение его размерами и динамикой перехода приводит к ошибкам [1]. Сегодня поговорим о склейке разных моделей движения частей одного и того же тела — веревки.

Мы с детства знаем, что «веревка — вервие простое» и с легкостью решаем простые задачи из курса механики про движение

разных канатов и цепочек в поле силы тяжести. Обычно оговаривается, что это однородная цепочка с очень мелкими звеньями, гибкая нерастяжимая веревка и т. п., чтобы подчеркнуть, что ничего кроме длины, массы и трения, если оно задано, не учитывается. Вот типичная задача на эту тему.

Задача 1. *Цепочка длиной $L = 2$ м лежит на столе, одним концом свисая со стола (рис. 1). Если длина свешивающейся части превышает $L/3$, то цепь соскальзывает со стола. Определить скорость v цепи в момент ее отрыва от стола.*

Обычно, по доле свешивающейся части цепочки $\eta = 1/3$, необходимой для начала соскальзывания, находят коэффициент трения $\mu = \eta/(1 - \eta)$ и из разности работы силы тяжести и силы трения получают кинетическую энергию цепочки в нужный момент и ее скорость. Из уравнений динамики можно найти зависимость скорости цепочки от времени и время соскальзывания, но это требует более серьезного математического аппарата.

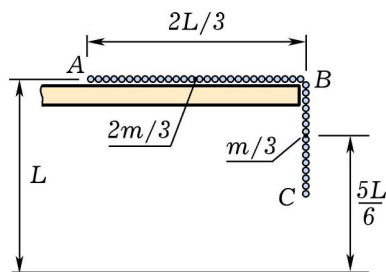


Рис. 1

Но так ли все просто? На краю стола при переходе от горизонтального движения к вертикальному на изгиб цепочки действуют две силы, направленные под прямым углом: сила тяжести свешивающейся части цепочки и сила трения остальной части цепочки о стол. Это заметно увеличивает результирующую силу трения, которую должен преодолеть свешивающийся конец цепочки. В результате коэффициент трения, μ рассчитанный по выше приведенной формуле, получается завышенным.

Любители книг Я. И. Перельмана вспомнят главу из «Занимательной физики»: «Жюль-верновский силач и формула Эйлера» [2, с. 84–90]. При скольжении каната по закруглению сила трения увеличивается в геометрической прогрессии (экспоненциально) в зависимости от «угла наваливания» α независимо от радиуса кривизны края стола. В нашем случае $\alpha = \pi/2$ и сила трения увеличивается по формуле Эйлера в $k = e^{\mu\alpha}$ раз. Зависимость k от коэффициента трения показана на рис. 2. При коэффициенте трения $\mu = 0,5$ сила трения увеличивается примерно в 2,5 раза. Ясно, что определять экспериментально коэффициент трения таким способом можно только с учетом соответствующих поправок на трение о край стола.

Второй проблемой является вопрос о том, куда девается горизонтальная составляющая импульса, приобретаемого цепочкой в

процессе разгона. Так как никаких сил, гасящих горизонтальную составляющую скорости, нет, то конец цепочки, покидая стол, движется под углом к вертикали.

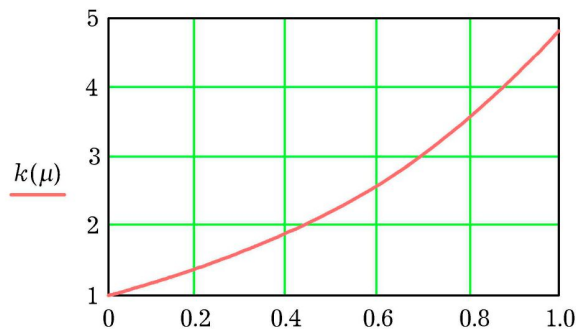


Рис. 2

Эксперимент показывает, что от «комка» цепочки под краем стола отходит еще длинный прямой «хвост» перпендикулярно краю стола (рис. 3) [3]. Решить задачу расчета формы, которую принимает цепочка в конце процесса падения, количественно весьма затруднительно. Проще снять это все на видео и оценить величину импульса и момента импульса цепочки перед приземлением.

Простое решение этой задачи школьниками и студентами не учитывает выше упомянутых эффектов.

Обычно интуитивно используется более простая модель движения совершенно другой задачи: подразумевается, что цепочка скатывается со стола через гладкий уголок трубы пренебрежимо малого радиуса закругления как показано на рис. 4, при этом обе части цепочки движутся поступательно.

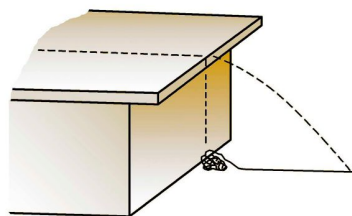


Рис. 3

Задача 2. [Ф713. Квант 1981 № 9 стр. 21] Гибкий трубопровод длины l соединяет в пространстве точки A и B , разность высот между которыми равна h (рис. 5). Внутри трубопровода по всей его длине лежит веревка, которую удерживают в точке A .

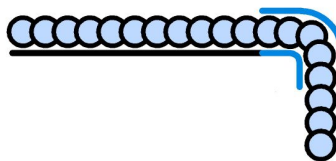


Рис. 4

С каким ускорением начнет двигаться веревка в первый момент времени, после того как ее отпустят? Трением между веревкой и стенками трубопровода пренебречь.

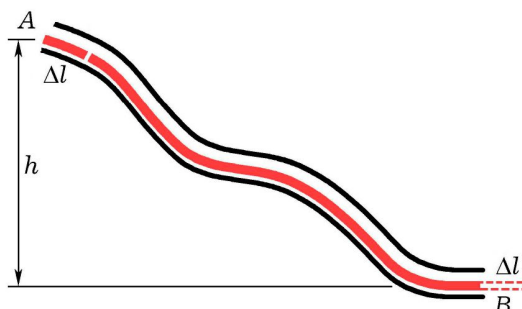


Рис. 5

Авторское решение задачи [Ф713. Квант 1982 №5 стр.26]: «Пусть за малый интервал времени Δt после начала движения веревка переместилась на расстояние Δl и приобрела скорость v . Так как Δt мало, то можно считать, что $v^2 = 2a\Delta l$, где a — ускорение всех точек веревки в момент начала движения.

Из закона сохранения энергии (трение отсутствует) следует, что приобретенная веревкой массы M кинетическая энергия соответствует изменению потенциальной энергии «перехода» кусочка длины Δl из точки A в точку B (рис. 5):

$$\frac{Mv^2}{2} = \frac{M \cdot 2a\Delta l}{2} = \frac{M\Delta l}{l}gh,$$

и ускорение веревки в момент начала движения $a = gh/l$.

Интересно, что ускорение веревки в точности равно ускорению тела на гладкой наклонной плоскости высотой h и длиной l : $a = g \sin \varphi$, где φ — угол наклона плоскости к горизонту (рис. 6). Если гладкий трубопровод продолжить в точке B по горизонтали, то можно при любой его форме найти мгновенное ускорение веревки, зная высоту ее левого конца, и считать зависимость от времени скорости и координаты ее концов.

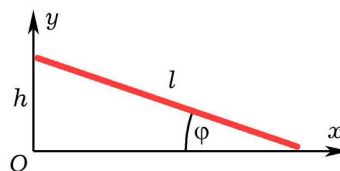


Рис. 6

Трубопровод может иметь любую форму с петлями и с заходом в область отрицательных значений h . Если веревка набрала достаточную скорость, то запас кинетической энергии может вытащить

ее из потенциальной ямы, при этом ускорение при подъеме левого конца веревки будет возрастать. Использованный выше метод расчета ускорений годится и для анализа движения веревки конечной длины, перекинутой через невесомый блок (рис. 7) или даже через гладкий гвоздь. Интересный анализ расчета силы давления шероховатой веревки на ось блока — тонкого обруча массы m и радиуса r с легкими спицами в первый момент времени приведен в решении задачи [Ф679. Квант 1981 № 10 стр. 38–39].

Вот пример задачи о перетекании «бесконечной» веревки или цепочки с одного уровня на другой.

Задача 3. [Ф42. Квант 1970 № 8 стр. 40] Канат перекинут через блок, причем часть каната лежит на столе, а часть — на полу. После того как канат отпустили, он начал двигаться. Найти скорость установившегося равномерного движения каната. Высота стола равна h (рис. 8).

Начальное ускорение каната, если известны его длина l и масса M , можно найти таким же способом, как в предыдущей задаче. Из закона сохранения энергии следует, что ускорение каната постепенно уменьшается до нуля и он начинает двигаться с постоянной скоростью v , что и оговорено в условии задачи. В этом случае кинетическая энергия нового вовлеченного за малый интервал времени Δt в движение отрезка каната длиной $\Delta l = v\Delta t$ и массой $M\Delta l/l$ равна убыли потенциальной энергии такого же отрезка $(M\Delta l/l)gh$. Отсюда получаем скорость установившегося равномерного движения каната $v = \sqrt{2gh}$, которая зависит только от разности высот стола и пола.

А можно приравнять кинетическую энергию этого отрезка каната работе разности сил тяжести, действующих на левую и правую

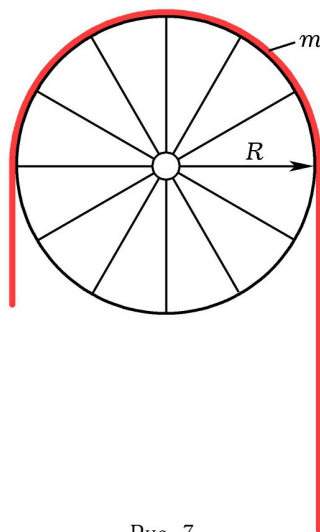


Рис. 7

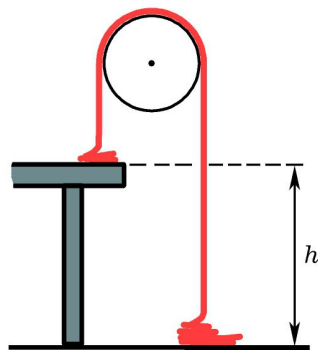


Рис. 8

части каната на пути Δl :

$$\frac{M\Delta l}{l} \frac{v^2}{2} = \frac{M\Delta l}{l} gh.$$

Получаем снова $v = \sqrt{2gh}$.

Посмотрим авторское решение задачи [Ф42. Квант 1971 №4 стр. 40]. «Проще всего решить задачу, воспользовавшись вторым законом Ньютона. За время Δt в движение вовлекается кусок каната длиной $\Delta l = v\Delta t$. Если массу единицы длины каната обозначить μ , то масса куска каната Δl равна $\Delta m = \mu\Delta l = \mu v\Delta t$. Массе Δm каната за время Δt сообщается импульс (количество движения), равный $\Delta mv = \mu v^2\Delta t$. Ясно, что это изменение импульса появляется благодаря разности сил тяжести, действующих на левую и правую части каната. Эта разность равна μgh . В соответствии со вторым законом Ньютона мы можем записать $\mu v^2\Delta t = \mu gh\Delta t$. Отсюда $v = \sqrt{gh}$ ».

Примем на веру существование установившегося равномерного движения каната. Если это постоянное падение каната с высоты h , то скорость приземления должна быть $v = \sqrt{2gh}$. Куда исчезла половина потенциальной энергии каната? Почему динамический и энергетический подходы дают такие различные результаты?!

Обычно в учебниках перетекание каната используют для объяснения работы сифона [4, 5, 6], а мы поступим наоборот.

Попробуем проанализировать механику работы простого сифона с аналогичной разностью уровней входа и выхода струи жидкости (рис. 9). Если вместо линейной массы каната μ подставить произведение плотности жидкости на площадь сечения трубки сифона (та же масса единицы длины водяного столба), то согласно методу решения автора задачи 3 получим скорость истечения воды из сифона или из дырки в стенке сосуда $v = \sqrt{gh}$. А ведь мы опять же с детства знаем, что струя воды из отверстия в стенке сосуда вытекает со скоростью $v = \sqrt{2gh}$ и если выходное отверстие сифона повернуть вверх, то фонтан будет бить на высоту h . Почему же в случае с водой динамический метод решения явно дает абсурдный результат?

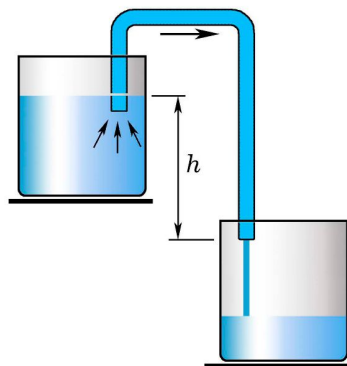


Рис. 9

Внутри трубки сифона постоянного сечения жидкость движется с постоянной скоростью, а гидродинамика забора (засасывания) воды во входное сечение сифона и распределение скоростей и ускорений частиц жидкости вокруг него в трехмерном пространстве не поддаются простому расчету. То же самое и с канатом, хотя возникает иллюзия, что можно использовать одномерную модель вовлечения в движение очередных порций ранее покоящихся частей каната. У нас нет простой модели описания динамики вовлечения сменяющих друг друга частей каната переменной массы в процесс перетекания их с одного уровня на другой. В зависимости от способа укладки исходной части каната: спираль, гармошка или беспорядочный комок мы должны разработать трехмерную модель перехода частей каната от состояния покоя к движению с постоянной скоростью без всяких непрерывных «рывков», интуитивно почувствованных автором в статье [11].

Веревка встречается почти в каждом задачнике по физике, ей посвящены целые сборники в том числе и для подготовки к олимпиадам [7, 8]. Интересно, что авторы, предпочитающие динамические подходы к решению задач, часто отвергают решение обсуждаемой задачи через законы сохранения энергии и пытаются объяснить потерю половины потенциальной энергии фантастическими гипотезами. «Заметим, что закон сохранения энергии дает неправильный результат, так как часть приобретаемой при спуске энергии (ровно половина) теряется при неупругом ударе цепочки о пол», хотя автор и называет ее: Задача о «сифоне–цепочке» [7]. В этом же сборнике куда–то девается ровно половина работы в задачах «Складываемый коврик» и «Задача Кейли». Еще пример «...закон сохранения механической энергии в том виде, как его использовал школьник, в данном случае неприменим. Вблизи точки *B* происходит «рывок», т. е. покоившийся элемент цепочки должен практически мгновенно приобрести конечную скорость, что приводит к деформации этого элемента. Если деформация пластическая, то цепочка нагревается (что и имеет место в реальных условиях); если цепочка абсолютно упруга, то деформация приводит к возникновению в цепочке упругих продольных колебаний (поперечное сжатие и растяжение цепочки). В обоих случаях деформация связана с расходом энергии» [11].

Учет упругих свойств цепочки в общем случае не простая задача, но для слинки (рис. 10), шагающей со ступеньки на ступеньку,

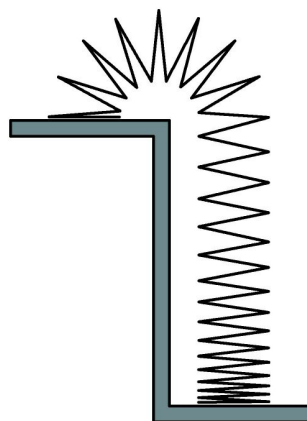


Рис. 10

Д. Чокиным [9] получен динамическим методом классический результат $v = \sqrt{2gh}$, соответствующий решению на основе законов сохранения энергии.

Интересно, что при определенной скорости движения цепочка перестает оказывать давление на блок и его можно убрать за ненадобностью и мы получаем так называемый «фонтан из бус», (популярный в интернете, см. напр. [10]), который скорее представляет собой поперечную волну, распространяющуюся вдоль цепочки, в системе координат, неподвижной относительно этой волны. Но это уже, как говорится, совсем другая история.

Методическая мораль. Создание математических моделей для описания даже сравнительно простых и привычных явлений и объектов далеко не простая задача. Основным критерием правильности решения учебной задачи является соответствие его законам сохранения. Они имеют бесспорный приоритет и не должны подвергаться сомнению. Использование языка элементов Δ и дифференциального исчисления не гарантирует от ошибок, если математическая модель не адекватна физике процесса. Использование в учебной практике печатных и сетевых «решебников» задач с участием цепочек (особенно бесконечных) требует осторожности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакулин В.Н., Толмачева М.И. Проблемы соответствия модельных объектов и процессов реальным физическим явлениям // Учебная физика. — 2020. — № 4. — С. 11–18.
2. Перельман Я.И. Занимательная физика. Книга 2. — М.: РИМИС, 2009. — 481 с.
3. Гельфгат И. Сколько веревочке ни виться // Квант. — 1993. — № 1. — С. 55–56.
4. Майер В.В., Вараксина Е.И. Экспериментальное исследование сифона жидкостного обыкновенного // Потенциал. — 2012. — № 11. (<http://www.tz-n.ru/prefpo/docs/mayer.pdf>).
5. Поль Р.В. Механика, акустика и учение о теплоте. — М.: Наука, 1971. — 480 с.
6. Перельман Я.И. Знаете ли Вы Физику? — М.: Наука, 1992. — 272 с. http://teachmen.csu.ru/others/check_know/o97.html (Сифон в пустоте.)
7. Тяжелый канат. Методическое пособие по подготовке к олимпиадам. Московский физико-технический институт. — М., 2014. <https://abitu.net/folders/attachment/787/download>.
8. Яковлев И.В. Материалы по физике. Массивный канат. <https://mathus.ru/phys/tolkanat.pdf>.
9. Чокан Д. Слинки — шагающая пружина // Квант. — 1991. — № 6. — С. 42–44.
10. Фонтан из бус. https://www.youtube.com/watch?v=Y_0xWd-fimg.html.
11. Задача по физике — 11403. <https://earthz.ru/solves/Zadacha-po-fizike-11403>

ABSTRACTS

XXVII All–Russia scientific and practical conference «The Educational Physics Experiment: Topical problems. Modern solutions». A report on XXVII All–Russian scientific and practical conference «The Educational Physics Experiment: Topical problems. Modern solutions» is presented. The conference was organized in Glazov on 28–29 January 2022. The names of the reports are given. *Keywords:* didactics of physics, educational physics experiment, conference.

Mayer V. V., Kurbanaliev K. M. Total internal reflection of light and modern gradient optics at school optional lesson. The content of an optional lesson for 8th grade students has been developed. The lesson is devoted to the phenomena associated with the total internal reflection of light in optically homogeneous and inhomogeneous media. *Keywords:* optional lesson, basic school, total internal reflection, gradient optics.

Bakulin V. N., Tolmacheva M. I. Rope is not an easy verve. Different methodological approaches to solving problems with rope are compared. The reasons for discrepancies in the results of solving problems by different methods are analyzed: dynamic and energetic. The results of the application of various approaches by senior physics students to solving rope movement problems are discussed. *Keywords:* educational task, motion models, dynamic and energetic approaches.

Ziyatdinov Sh. G. Trap tasks in the school physics course. The necessity of drawing students' attention to tasks requiring an unconventional approach to their solution is discussed. *Keywords:* school physics course, workshop on solving physical problems, trap tasks.

Mukushev B. A. Experimental setup simulating the force of universal gravity. The article presents the principles of operation and structure of the experimental setup necessary to simulate the movement of a body in a field of central force similar to the force of universal gravity. *Keywords:* electrical circuit of the installation, alternating current coil, magnetic field, Wood proof, conical motion of a steel ball.

Sabirzyanov A. A. Construction of electrostatic field lines by Maxwell's method. Maxwell's method of constructing force lines for a system of two point charges is considered. The force lines are represented by approximating polylines. The equation of force lines is derived in trigonometric form through the functions of two guiding angles. The pictures of force lines for several cases differing in the values and signs of charges are given. *Keywords:* electrostatic field, force lines, construction, Maxwell's method.

Gerasimov S. A. Electric current in liquid and negative magnetoresistivity. Not to confirm, but to understand — that is the purpose of this work. The magnetic field should reduce the current in the substance. This is the result of the so-called magnetoresistivity. It turned out the opposite. The electric current in the electrolyte increases under the influence of a magnetic field. *Keywords:* magnetic field, electric current, temperature, electrolyte, magnetoresistivity.

Kovalenko A. P., Simukova S. V. Research of alternating current rectifier at a laboratory workshop in physics. The article considers the research of the dependence of the ripple ratio, as well as the variable and steady components of the rectified voltage on the load current strength for single-half-period and two-half-period rectifiers. *Keywords:* single-half-period rectifier, two-half-period rectifier, steady component, variable component, ripple ratio.

Mayer V. V., Perminov A. A. Using a smartphone to determine the gradient of the refractive index. For the undergraduate physics workshop of a pedagogical university, a laboratory work is proposed to determine the gradient of the refractive index in the layer between a solution of table salt and pure water. The main measuring device is a smartphone with the program «Radius of curvature of the beam». *Keywords:* laboratory work, refractive index gradient, smartphone, software, photographing curved light beam.