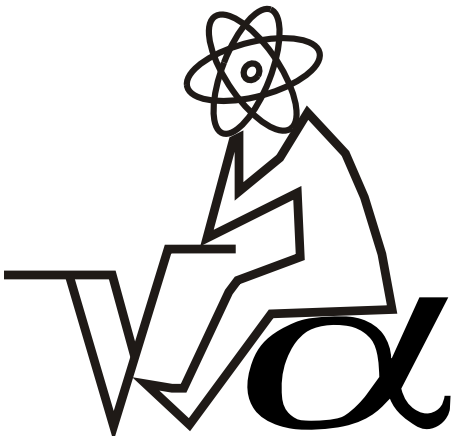
СПб Академический университет — Научно–образовательный центр нанотехнологий РАН
Фонд некоммерческих программ «Династия»
Совет молодых учёных при президиуме РАН

XVI Летняя Физическая Школа

17 июля – 6 августа 2010



Санкт-Петербург
2010

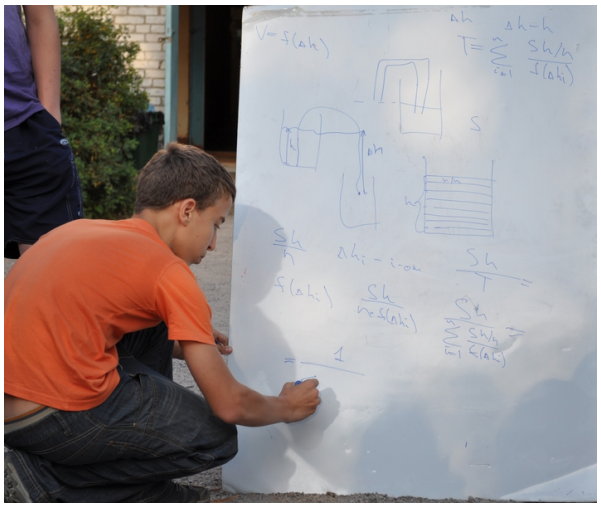
Содержание

1. Общие сведения. 4
1.1. Участники Летней Физической Школы. . . . 4
1.2. Преподаватели Летней Физической Школы. . . . 7

2. Образовательная программа. 10
2.1. 8 класс. . . . 11
2.1.1. Теория. . . . 11
2.1.2. Решение задач. . . . 12
2.1.3. Экспериментальные работы. . . . 15
2.2. 9 класс. . . . 15
2.2.1. Теория. . . . 15
2.2.2. Решение задач. . . . 16
2.2.3. Экспериментальные работы. . . . 20
2.3. 10 класс. . . . 20
2.3.1. Теория. . . . 20
2.3.2. Решение задач. . . . 22
2.3.3. Экспериментальные работы. . . . 26
2.4. 11 класс. . . . 26
2.4.1. Теория. . . . 26
2.4.2. Решение задач. . . . 27
2.4.3. Экспериментальные работы. . . . 30
2.5. Факультативы. . . . 33
2.6. Физические бои. . . . 35
2.7. «Большая Задача». . . . 43
2.8. «День Изобретателя». . . . 50
2.9. «День Экспериментатора». . . . 51

3. Культурно–развлекательная программа. 52

4. Благодарности. 55



Источники погр-ти
"Кривые руки"
"Плохие приборы"
Физфак

1. Общие сведения.

Летняя Физическая Школа в 2010 году проходила в шестнадцатый раз. Школа началась 17 июля, а закончилась 6 августа. Продолжительность Школы составила три недели.

Школа проходила в Ленинградской области: в одном из живописнейших мест Карельского перешейка, на берегу Суходольского озера (на базе пионерского лагеря «Спутник»).

В работе ЛФШ участвовали 67 школьников. Преподавательская и воспитательская деятельность осуществлялась силами 18 человек.

1.1. Участники Летней Физической Школы.

В ЛФШ принимаются школьники, перешедшие в 8, 9, 10 или 11 класс. Приём осуществляется либо по результатам городской или региональной олимпиады по физике, либо по результатам собеседования с руководителями смены.

8 класс (школьники, закончившие в 2010 году 6 или 7 класс)

1) Иванов Владислав, 7 класс, гимназия 177, обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике
2) Гуцол Ксения, 7 класс, школа 175, обладательница диплома III степени городской олимпиады по физике
3) Муретова Мария, 7 класс, ФМЛ 239, обладательница похвального отзыва городской олимпиады по физике
4) Портянкин Егор, 7 класс
5) Порчук Павел, 7 класс, школа 636
6) Коско Софья, 7 класс, ФМЛ 239
7) Ходунов Павел, 6 класс, ФМЛ 239, обладатель диплома I степени городской олимпиады по математике
8) Ковзель Николай, 6 класс, школа «Унисон»
9) Йона Андрей, 6 класс

9 класс (школьники, закончившие в 2010 году 8 класс)

1) Егоров Антон, лицей «ФТШ», обладатель диплома I степени городской олимпиады по физике, обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике за 9 класс, учащийся ГЦФО
2) Базалий Вячеслав, лицей «ФТШ», обладатель диплома I степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО
3) Крачун Дмитрий, ФМЛ 239, обладатель диплома I степени городской олимпиады по физике
4) Погодаев Илья, гимназия 610, обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике
5) Гуревич Александр, лицей «ФТШ», обладатель диплома III степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

6) Минкин Алексей, лицей «ФТШ», обладатель диплома III степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

7) Серов Юрий, лицей «ФТШ», обладатель диплома III степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

8) Грудкин Антон, ФМЛ 239, обладатель диплома III степени городской олимпиады по физике

9) Цейтлин Леонид, ФМЛ 30, обладатель диплома III степени городской олимпиады по физике

10) Горбунова Елизавета, лицей «ФТШ», обладательница похвального отзыва городской олимпиады по физике, учащаяся ГЦФО

11) Недошивин Михаил, ФМЛ 239, обладатель похвального отзыва городской олимпиады по физике

12) Капралов Николай, лицей «ФТШ», учащийся ГЦФО

13) Корешкова Ксения, гимназия 114, учащаяся ГЦФО

14) Ковалёв Григорий, ФМЛ 239

15) Пильщикова Екатерина, лицей «ФТШ»

10 класс (школьники, закончившие в 2010 году 9 класс)

1) Шалымов Роман, ФМЛ 239, участник Всероссийской олимпиады, обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике

2) Терехов Антон, ФМЛ 239, обладатель диплома I степени городской олимпиады по физике

3) Маслов Артем, лицей «ФТШ», обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике, участник региональной олимпиады, учащийся ГЦФО

4) Лежнин Михаил, лицей «ФТШ», обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

5) Любаров Марк, лицей «ФТШ», обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

6) Никитин Денис, ФМЛ 239, обладатель диплома III степени городской олимпиады, участник региональной олимпиады по физике

7) Чурилова Мария, лицей «ФТШ», обладательница диплома III степени городской олимпиады, участница региональной олимпиады по физике

8) Матюшин Георгий, лицей «ФТШ», обладатель диплома III степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

9) Большаков Николай, ФМЛ 239, участник региональной олимпиады по физике

10) Афанасьева Анна, школа 245

11) Балашов Александр, ФМЛ 30

12) Борздун Наталья, ФМЛ 239

13) Егоров Сергей, Аничков лицей

14) Едовина Алина, ФМЛ 239

15) Езус Альбина, ФМЛ 239

16) Жаровов Дмитрий, ФМЛ 239

17) Косицын Александр, ФМЛ 239

18) Михайлов Кирилл, ФМЛ 239

19) Свирина Анна, ФМЛ 239

20) Смирнов Иван, гимназия 116

21) Толстопятов Всеволод, ФМЛ 239

22) Трофимов Павел, лицей «ФТШ»

11 класс (школьники, закончившие в 2010 году 10 класс)

1) Свиткин Максим, лицей «ФТШ», участник Всероссийской олимпиады, обладатель диплома I степени городской олимпиады по физике

2) Богданов Святослав, ФМЛ 239, участник Всероссийской олимпиады, обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

3) Фоминых Сергей, лицей «ФТШ», участник Всероссийской олимпиады, обладатель диплома II степени городской олимпиады по физике

4) Михайлов Иван, ФМЛ 30, обладатель диплома I степени городской олимпиады, участник региональной олимпиады по физике

5) Максимова Дина, лицей «ФТШ», обладательница диплома II степени городской олимпиады, участница региональной олимпиады по физике, учащаяся ГЦФО

6) Ходунов Игорь, лицей «ФТШ», обладатель диплома II степени городской олимпиады, участник региональной олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

7) Лежнев Константин, лицей «ФТШ», обладатель диплома II степени городской олимпиады, участник региональной олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

8) Авдеев Иван, лицей «ФТШ», обладатель диплома II степени городской олимпиады, участник региональной олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

9) Геллер Марк, лицей «ФТШ», обладатель диплома II степени городской олимпиады, участник региональной олимпиады по физике, учащийся ГЦФО

10) Петухов Федор, лицей «ФТШ», обладатель диплома III степени городской олимпиады по физике

11) Киракосян Давид, лицей «ФТШ», участник региональной олимпиады по физике

12) Осолодков Михаил, ФМЛ 30, участник региональной олимпиады по физике

13) Дмитриев Павел, лицей «ФТШ»
14) Забиякин Иван, ФМЛ 239
15) Ким Дмитрий, ФМЛ 239
16) Киракосян Георгий, лицей «ФТШ»
17) Лиознов Антон, лицей «ФТШ», учащийся ГЦФО
18) Милевич Дмитрий, ФМЛ 239
19) Филиппов Василий, ФМЛ 239, учащийся ГЦФО
20) Жуков Андрей, ФМЛ 30
21) Вязьмитинов Никита, лицей «ФТШ»

Параллель 8 и 9 класса.

Параллель 10 класса.

Параллель 11 класса.

1.2. Преподаватели Летней Физической Школы.

В 1995 году была создана система физического образования в Санкт-Петербурге, включающая в себя кружки по физике, Летнюю и Весеннюю физические школы, сборы по подготовке команды СПб к Всероссийской олимпиаде по физике. Участники кружков, далее победители олимпиад становились преподавателями, наставниками новых победителей и успешными учёными. Таким образом, коллектив преподавателей традиционно состоит из

людей, в разное время проходивших обучение в ЛФШ, и знакомых с традициями преподавания, принятыми в ЛФШ. Важно отметить не только преподавательскую, но и научную квалификацию исполнителей, что позволяет осуществлять преподавание на достаточно высоком содержательном уровне, и заинтересовывать школьников в физике как в интересной и перспективной профессии.

В 8 классе работали: Н.В. Тараканов (преподаватель Городского Центра Физического Образования), О.В. Шустова (студентка 5 курса ФТФ СПбГПУ), Ф. Затылкин (студент 1 курса ФМФ СПбГПУ), В. Иванов (студент 1 курса ФОПФ МФТИ).

Н.В. Тараканов

О.В. Шустова

Ф. Затылкин

В. Иванов

В 9 классе работали: И.А. Барыгин (к.ф.-м.н., педагог дополнительного образования лицея ФТШ), А.В. Лиознова, С.М. Атамась (студенты 2 курса ФТФ СПбГПУ).

И.А. Барыгин

С.М. Атамась

А.В. Лиознова

В 10 классе работали: С.С. Колеватов, А.Г. Кострыгин (студенты 4 курса ФФ СПбГУ), Д.С. Смирнов (студент 3 курса ФТФ СПбГПУ).

В 11 классе работали: И.Е. Шендерович (аспирант ПОМИ им. В.А. Стеклова РАН), Д.В. Батькович, Я.Ю. Коптелов (студенты 4 курса ФФ СПбГУ), П.И. Буслаев (студент 3 курса ФОПФ МФТИ).

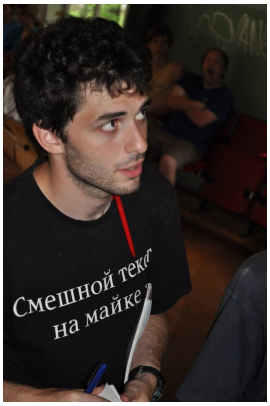
Также в работе школы принимали участие А.В. Савельев (к.ф.–м.н., доцент УРАН СПб АУ НОЦНТ РАН), А.М. Минарский (учитель физики лицея ФТШ), Р.С. Колеватов (к.ф.-м.н., ассистент ФФ СПбГУ), С.Н. Тараканов (психолог).

Большинство преподавателей в прошлом является победителями олимпиад по физике, математике и астрономии различных уровней (городских, Всероссийских и Международных).

С.С. Колеватов

А.Г. Кострыгин

Д.С. Смирнов



И.Е. Шендерович

Д.С. Батькович

Я.Ю. Коптелов

П.И. Буслаев

А.В. Савельев

А.М. Минарский

Р.С. Колеватов

С.Н. Тараканов

2. Образовательная программа.

Главное звено в образовательной цепочке ЛФШ — **ежедневные занятия**. Они проходят каждый день, кроме воскресенья и специальных дней, отведённых для командных физических соревнований (физбой и физхоккей). Занятия проходят отдельно для каждого класса (см. разделы 2.1, 2.2, 2.3, 2.4).

В этом году занятия проводились с 9:45 до 13:45. Для удобства восприятия материала четыре часа занятий были поделены на две пары. Изначально было запланировано отводить по 105 минут на каждую пару, но из-за аномально высокой температуры в течение всей смены было решено сократить пару до 90 минут, а освободившееся время отвести для купания на озере.

Каждая пара представляла собой теоретическую лекцию, либо решение задач повышенной сложности, либо выполнение экспериментальной работы с последующим написанием отчёта. Таким образом, за всю смену в каждой параллели было прочитано десять лекций, проведено десять занятий по решению задач, а также выполнено десять экспериментальных работ.

После окончания ежедневных занятий участникам ЛФШ предлагались на выбор различные **спецкурсы** (см. раздел 2.5). Продолжительность этих факультативных занятий каждый день составляла около двух часов.

В ЛФШ также имеются мероприятия, проходящие через всю смену. Во-первых, это **ежедневные задачи**. Каждое утро школьники получают по две задачи (обычно это задачи из городских олимпиад прошлых лет) для решения и сдачи преподавателям. Задачи могут сдаваться в течение всей смены. В качестве стимула для работы в каждом классе был организован «Экран задач» — таблица, в которой отмечались успехи каждого школьника. По итогам смены школьникам, решившим наибольшее количество задач, выдавался значок «Лучший теоретик».

Во-вторых, это так называемая **«Большая Задача»** (см. 2.7). По сути, это небольшое исследование на заданную тему, которое надо провести за время смены. Исследование должно включать в себя сбор и обработку экспериментальных данных, построение теории и написание отчёта о проделанной работе. Затем, в один из вечеров, проводится защита исследования — публичное выступление с результатами работы и дискуссия. Выполнение исследования по «Большой Задаче» проводится в команде из 4-5 школьников. Тем самым, происходит моделирование реальной научной работы. Члены команды, представившей лучшее исследование, получают значок «Лучший исследователь».

Кроме этого, в ЛФШ есть два тематических дня, которые проводятся в первое и второе воскресенье смены — это **«День Изобретателя»** (см. 2.8) и **«День Экспериментатора»** (см. 2.9). В «День Изобретателя» школьникам предлагается построить установку,

которая обеспечивает заданный эффект или демонстрирует заданное явление. В «День Экспериментатора» команды школьников соревнуются друг с другом в решении сложных экспериментальных задач. За победу в этих конкурсах школьники награждаются значками «Лучший изобретатель» и «Лучший экспериментатор».

Помимо тематических дней, в ЛФШ два дня отводятся под **физические бои** (см. 2.6). Члены команды, победившей в физическом бое, получают значки «Физбоец». В 8-9 классах, помимо физбоя, проводился также **физический хоккей**.

Ниже приводятся материалы ежедневных занятий, разбитые по классам.

2.1. 8 класс.

2.1.1. Теория.

Преподаватель: Н.В. Тараканов.

Курс для 7-8 классов был направлен на то, чтобы сформировать у учащихся представление о физике, как естественной науке. Показать единство теоретического и экспериментального подхода, логику построения научного знания. В рамках теоретического курса обсуждались вопросы описания механических явлений, а экспериментальная часть была призвана подкрепить теоретические рассуждения на предметно-чувственном уровне.

План занятий.

1) Введение. Принципы построения естественных наук. Предмет и объект физики. Постулат существования мира.

2) Пространство и его измерение. Начало отсчета. Определение положения тела в пространстве. Декартова система координат и полярные координаты.

3) Время и его измерение. Приборы для измерения времени. Астрономическое и декретное время.

4) Масса. Понятие массы. Измерение массы тел (гравитационная масса). Понятие материальной точки.

5) Характеристики механического движения. Траектория, путь, перемещение, скорость.

6) Относительность движения. Системы отсчета. Равномерное прямолинейное движение. Первый закон Ньютона.

7) Определение силы. Импульс тела. Второй закон Ньютона. Инерциальная масса.

8) Движение тела под действием силы. Ускорение. Равноускоренное движение. Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении.

9) Причины появления силы. Третий закон Ньютона. Парные силы в природе.

10) Трение. Виды трения и их особенности. Разные виды трения в природе и технике. Закон Кулона-Амантона.

11) Сила упругости. Деформация тел. Виды деформации. Закон Гука. Модуль Юнга.

12) Сила тяжести. Сила тяжести вблизи Земли. Ускорение свободного падения тел. Закон Всемирного тяготения. Понятие гравитационного поля. Графическое представление полей, силовые линии. Характеристики поля. Напряженность силы тяжести.

13) Движение планет. Представление о движении планет в разные исторические периоды (Птолемей, Коперник, Браге). Законы Кеплера.

14) Движение тела по окружности. Угловая скорость, период, частота. Равномерное движение по окружности. Центростремительная сила, центростремительное ускорение. Законы Кеплера, как следствия закона Всемирного тяготения.

2.1.2. Решение задач.

Преподаватель: О.В. Шустова.

Листок 1.

1	Спортсмен пробегает стометровку за 10 с. Первые 10 м он бежит с постоянным ускорением a, остальную часть дистанции — с постоянной скоростью v. Найдите ускорение a и скорость v.
2	Каретка прибора прошла путь S следующим образом: первую половину пути она двигалась с постоянной скоростью $v = 12$ м/с, вторую — с постоянным отрицательным ускорением так, что в конце пути остановилась. Найдите среднюю скорость движения каретки.
3	Ракета стартует с поверхности земли вертикально вверх и в течение 10 с поднимается с постоянным ускорением 4,9 м/с^2. Затем двигатели ракеты отключаются. Найдите максимальную высоту подъема ракеты над поверхностью земли. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения считать равным 9,8 м/с^2.
4	Тело свободно падает на землю с некоторой высоты. Начальная скорость тела равна нулю. За последнюю секунду оно проходит третью часть всего пути. С какой высоты и сколько времени падало тело? Сопротивлением воздуха пренебречь.
5	Тело начинает двигаться без начальной скорости с постоянным по величине и направлению ускорением a. В некоторый момент ускорение меняется на противоположное. Найдите путь, пройденный телом за время t_0 после начала движения, если перемещение тела за время t_0 равно нулю.

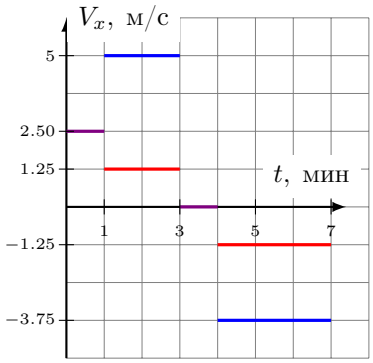
Листок 2.

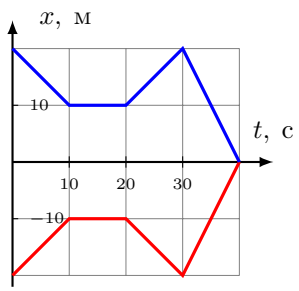
6	Машина, трогаясь с места, проходит путь 1 км с постоянным ускорением 0,2 м/с^2, затем на отрезке пути 1 км ее ускорение равно нулю. После этого машина двигается равнозамедленно до полной остановки, затратив на эту часть пути время 40 с. Найдите среднюю скорость движения машины.
7	Камень бросают вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с с высоты 10 м от поверхности земли. Через 1 с после этого с поверхности земли вдоль той же самой вертикали бросают вверх другой камень с начальной скоростью 20 м/с. Через какое время и на какой высоте они столкнутся?
8	Из точки, находящейся на высоте x_0 над землей, одновременно бросают два камня с одинаковыми по величине начальными скоростями 10 м/с — один вертикально вверх, второй вертикально вниз. Второй камень упал на землю через 2 с после броска. На какой высоте над землей находится в это время второй камень? Сопротивлением воздуха пренебречь.

9	Для определения постоянной скорости судна относительно воды производят пробег судна по прямолинейному участку реки между пристанями, расположенными на одном берегу на расстоянии 4,2 км. Время пробега по течению реки 300 с, а против течения 420. Какова скорость судна относительно воды? Скорость течения реки постоянна на всем участке испытаний.
10	Велосипедист едет по дороге и через каждые 6 секунд проезжает мимо столба линии электропередачи. Увеличив скорость на некоторую величину Δv, велосипедист стал проезжать мимо столбов через каждые 4 секунды. Как часто он будет проезжать мимо столбов, если увеличит скорость еще на такую же величину?

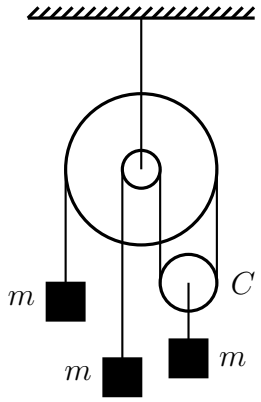
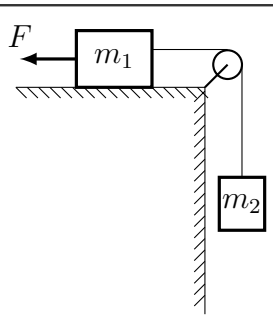
Листок 3.

11	Лодка держит курс перпендикулярно берегу и движется со скоростью 7,2 км/ч. Течение относит ее на расстояние 150 м вниз по реке. Найдите скорость течения реки и время, затраченное на переезд через реку. Ширина реки равна 0,5 км.
12	Пассажир поезда, идущего со скоростью 40 км/ч, видит в течение 3 с встречный поезд длиной 75 м. С какой скоростью движется встречный поезд?
13	Дельфин плывет со скоростью 18 км/ч вдоль стенок квадратного бассейна, описывая квадрат на постоянном расстоянии от прямолинейных участков стенок. За 1 мин он полностью обходит бассейн 3 раза. Найти расстояние между дельфином и стенкой. Длина каждой стенки 30 м.
14	Пешеход за первые 20 с прошел 30 м, за следующие 40 с — 58 м, и за последние 30 с — 45 м. Определите скорость движения на каждом участке и найдите среднюю скорость за все время движения.
15	На уроке физкультуры Петя и Маша бежали вместе по прямой дорожке, стартовав от школы. Затем, Петя побежал быстрее, а Маша пошла. Через некоторое время ребята одновременно повернули обратно и достигли школы одновременно. Графики зависимости проекции скорости ребят на направление дорожки от времени даны на рисунке. Построить графики зависимости расстояния между Петей и Машей от времени.



16	Двое часовых, двигаясь прямолинейно, охраняют с противоположных сторон один небольшой объект. Графики зависимости координат часовых от времени даны на рисунке. Постройте: а) графики зависимости скорости часовых от времени; б) график зависимости скорости первого часового относительно второго от времени.	

Листок 4.

17	На гладкой горизонтальной поверхности лежат два бруска с массами m_1 и m_2, соединенные невесомой нерастяжимой нитью. Внешняя сила F приложена к телу m_1 и направлена горизонтально. Найдите установившееся ускорение системы и силу натяжения нити.	
18	На горизонтальной поверхности лежат два бруска с массами m_1 и m_2, соединенные невесомой нерастяжимой нитью. Внешняя сила F приложена горизонтально. Определите силу натяжения нити, если коэффициенты трения скольжения между поверхностью и брусками равны μ_1 и μ_2 соответственно.	
19	Две невесомые пружины имеют длины l_1, l_2 и жесткости k_1, k_2. Одна пружина вставлена в другую. Концы пружин попарно скреплены. Другими точками пружины друг друга не касаются. Какова жесткость k получившейся пружины?	
20	Система состоит из трех блоков и трех тел массой m каждое, связанных невесомыми нерастяжимыми нитями. Масса блока C пренебрежимо мала. Трение между нитью и блоками отсутствует. Найдите ускорения тел.	
21	Два тела с массами m_1 и m_2 связаны невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок, так, что тело m_2 висит, а тело m_1 лежит на горизонтальной поверхности. К телу m_1 приложена в горизонтальном направлении сила F. Найдите ускорения тел и силу натяжения нити. Трение отсутствует.	

Листок 5.

22	Кубик плавает в сосуде с водой так, что его верхняя грань параллельна поверхности воды. При этом половина кубика погружена в воду. Какой слой масла надо долить, чтобы кубик плавал полностью погруженным в жидкость, если плотность масла в два раза меньше плотности воды и длина ребра кубика равна a? Масло с водой не смешивается.

23	В большом сосуде с водой плавает в вертикальном положении тонкостенный стакан, в который налито некоторое количество воды. Разность уровней воды в сосуде и стакане равна x. Как изменится эта разность, если в стакан опустить пробку?
24	Толстостенная лодка с вертикальными стенками и отверстием в дне достаточно долго свободно плавает в озере. Затем отверстие снаружи затыкают и внутрь лодки опускают бревно. Повысится или понизится после этого уровень воды в лодке относительно уровня воды в озере?
25	Шайба массой M, имеющая форму цилиндра с площадью основания S и высотой h, плавает на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей с плотностями ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 < \rho_2$). Основание шайбы параллельно границе раздела жидкостей. Найдите глубину погружения шайбы в нижнюю жидкость.

2.1.3. Экспериментальные работы.

Преподаватели: В. Иванов, Ф. Затылкин.

Занятия экспериментом в 8 классе были направлены на знакомство с общей культурой выполнения экспериментальных работ. Школьникам была прочитана вводная лекция о правилах составления отчётов о проведённых экспериментальных работах, рассказано о погрешностях. По нашим наблюдениям, на уроках физики в школе погрешностям уделяется исключительно мало внимания. Тем не менее, для настоящего понимания экспериментальной работы необходимо уметь свободно пользоваться этим аппаратом.

Трудность проведения экспериментальных занятий в 8 классе связана ещё и с тем, что школьники недостаточно хорошо умеют пользоваться относительно сложным оборудованием. Поэтому одной из задач было показать школьникам, что даже с помощью тривиального оборудования (линейка, монетки, нитки) можно достаточно точно померить различные физические величины.

1) Знакомство с трёхмерной системой координат.

2) Измерение скорости муравья.
Оборудование: линейка, секундомер, муравей.

3) Измерение массы капли воды.
Оборудование: ведро, стакан, шприц, монетки.

4) Нахождение центра масс палочки.
Оборудование: линейка, монетки, нитки, палочка.

5) Изучение зависимости силы растяжения резинки от её удлинения.
Оборудование: резинка, монетки, линейка.

6) Изучение вращательного движения.
Оборудование: камни, нитки.

2.2. 9 класс.

2.2.1. Теория.

Преподаватель: И.А. Барыгин.

Теоретический курс для 9 класса был целиком посвящен механике. По окончании 8 класса школьники имеют определенный объем знаний по этому разделу физики, и целью курса

являлось свести их воедино, а также осветить вопросы, которым уделяется недостаточное внимание в школьной программе.

План занятий.

1) Скорость. Радиус-вектор. Мгновенная скорость как предел средней скорости. Операции с векторами: сложение, проецирование, скалярное произведение.

2) Ускорение. Равноускоренное движение. Скорость и перемещение при равноускоренном движении. Движение в однородном поле тяжести: время движения, максимальная высота подъема, дальность полета, уравнение траектории.

3) Движение по окружности. Период обращения и частота. Угловая скорость. Центростремительное ускорение. Нормальное и тангенциальное ускорение. Радиус кривизны траектории. Угловое ускорение. Нормальное и тангенциальное ускорение при движении с постоянным угловым ускорением.

4) Силы. Виды сил. Законы Ньютона. Преобразование координат, скоростей и ускорений при переходе в другую систему отсчета.

5) Закон сохранения импульса. Его связь с третьим законом Ньютона. Движение тела с переменной массой.

6) Работа. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии. Потенциальная энергия постоянной силы, силы упругости, силы всемирного тяготения.

7) Первый закон Кеплера. Первая и вторая космическая скорость. Гравитационный маневр.

8) Центр масс. Второй закон Ньютона для системы тел. Столкновения. Рассмотрение абсолютно упругого столкновения в системе отсчета центра масс.

9) Правило моментов. Неинерциальные системы отсчета. Сила инерции.

2.2.2. Решение задач.

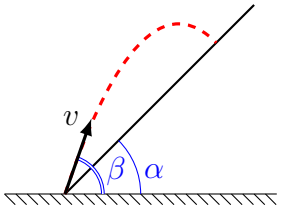
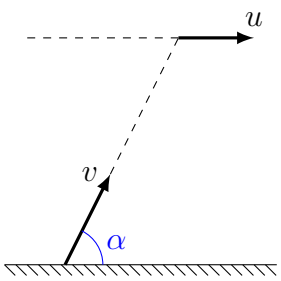
Преподаватель: С.М. Атамась.

Листок 1.

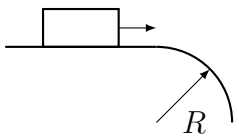
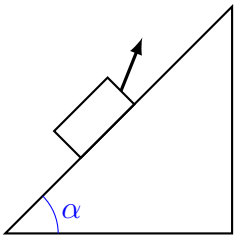
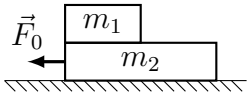
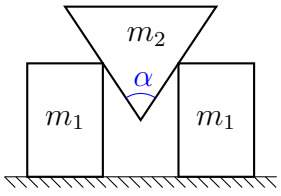
1	Три микрофона, расположенные на одной прямой в точках A, B, C, зарегистрировали последовательно в моменты времени $t_a > t_b > t_c$ звук от взрыва, который произошёл в точке O, лежащей на отрезке AC. Найдите отрезок AO, если $AB = BC = L$. В какой момент времени произошёл взрыв? Скорость звука c.
2	По прямому шоссе идёт автобус с постоянной скоростью V. Вы заметили автобус, когда тот находился в некоторой точке A. Из какой области около шоссе вы можете догнать автобус, если скорость вашего бега $V/2$?
3	Сверхзвуковой самолёт летит горизонтально. Два микрофона, расположенные на одной вертикали на расстоянии l друг от друга, зарегистрировали приход звука от самолёта с запаздыванием времени Δt. Скорость звука в воздухе c. Какова скорость самолёта?

4	По бильярдному столу со сторонами a и b пускают шар из середины стороны b. Под каким углом к борту стола должен начать движение шар, чтобы вернуться в ту же точку, из которой он начал движение?

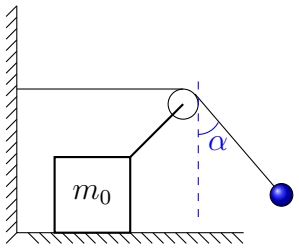
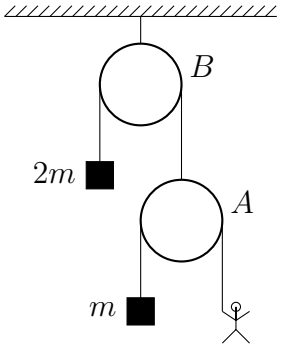
Листок 2.

5	Тело начинает движение из точки A и движется сначала равноускоренно в течение времени t_0, а затем с тем же по модулю ускорением равнозамедленно. Через какое время от начала движения тело вернётся в точку A?
6	Время отправления электрички по расписанию 12:00. На ваших часах 12:00, но мимо вас уже начинает проезжать последний вагон, который движется мимо вас в течение 10 с. Последний вагон проходит мимо вас за 8 с. Электричка отправилась вовремя и движется равноускоренно. На какое время отстают ваши часы?
7	Из миномёта ведут стрельбу по объектам, расположенным на склоне горы. На каком расстоянии от миномёта будут падать мины, если их начальная скорость V, угол наклона горы α и угол стрельбы по отношению к горизонту β? 
8	Утка летит по горизонтальной прямой с постоянной скоростью u. В неё бросил камень неопытный охотник, причём в момент броска скорость камня v была направлена как раз на утку под углом α к горизонту. На какой высоте летела утка, если камень всё же попал в неё? 

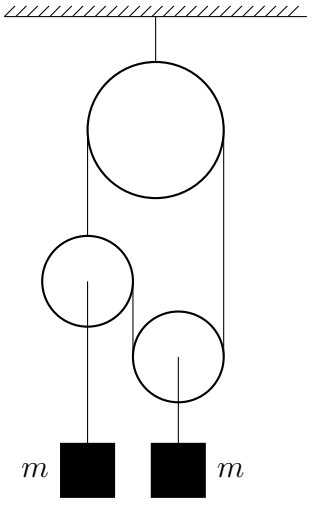
Листок 3.

9	Край гладкого горизонтального стола скруглён по окружности радиуса R. С какой наименьшей скоростью надо пустить тело, чтобы оно, достигнув скругления, сразу полетело по параболе? 
10	По деревянным сходням, образующим угол α с горизонтом, втаскивают за привязанную к нему верёвку ящик. Коэффициент трения ящика о сходни k. Под каким углом к горизонту надо тянуть верёвку, чтобы с наименьшим усилием втащить ящик? 
11	Тело массы m_1 лежит на доске массы m_2, находящейся на гладкой горизонтальной поверхности. Коэффициент трения между телом и доской k. Какую силу надо приложить к доске, чтобы тело соскользнуло с неё? За какое время тело соскользнёт, если к доске приложена сила F_0, а длина доски l? 
12	Между двумя одинаковыми гладкими брусками массами m_1 каждый вставлен клин массы m_2 с углом α. Определите ускорение тел. 

Листок 4.

13	К свободному концу нити, прикреплённой к стене и перекинутой через блок, подвешен груз. Блок закреплён на бруске массы m_0, который может скользить по горизонтальной плоскости без трения. В начальный момент нить с грузом отклоняют от вертикального положения на угол α и затем отпускают. Определите ускорение бруска, если угол, образованный нитью с вертикалью, не меняется при движении системы. Чему равна масса груза?	
14	Где находится центр масс: однородного прута, согнутого посередине под прямым углом; однородной треугольной пластинки; гардеробного номерка в виде диска с круглым отверстием?	
15	Обезьяна массы m уравновешена противовесом на блоке A. Блок A уравновешен грузом массы $2m$ на блоке B. Система неподвижна. Как будет двигаться груз, если обезьяна начнёт равномерно выбирать верёвку со скоростью V относительно себя? Массой блоков и трением пренебречь.	
16	С какой силой давит на землю кобра, когда она, готовясь к прыжку, поднимается вертикально вверх с постоянной скоростью V? Масса змеи m, её длина l.	

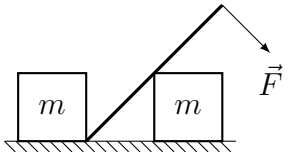
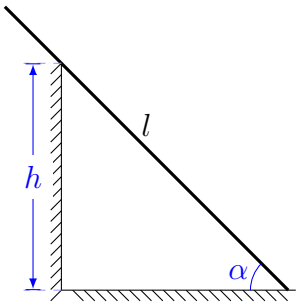
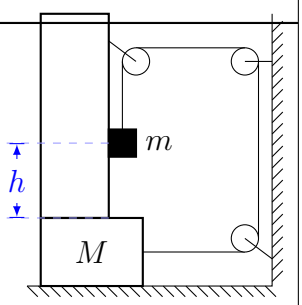
Листок 5.

17	Автомобиль с работающим двигателем въезжает на обледенелую гору, поверхность которой образует угол α с горизонтом. Какой высоты гору может преодолеть автомобиль, если его начальная скорость при въезде на неё равна V, а коэффициент трения колёс о лёд k?	
18	Каков радиус орбиты спутника, лежащей в экваториальной плоскости, если тот всё время находится в зените над одной и той же точкой земной поверхности?	
19	Найдите ускорение грузов, если масса каждого груза равна m. Массами нитей и блоков пренебречь, нити нерастяжимы, трение отсутствует.	
20	Лестница опирается на вертикальную стену и пол. При каких значениях угла между лестницей и полом она может стоять, если коэффициент трения лестницы о пол и о стену равен k_1 и k_2 соответственно?	

Листок 6.

21	Необходимо с поверхности земли попасть камнем в цель, которая расположена на высоте h и на расстоянии S по горизонтали. При какой наименьшей скорости это возможно? Сопротивлением воздуха пренебречь.
22	Между целью и миномётом, находящимся на одной горизонтали, расположена стена высотой h. Расстояние от стены до миномёта a, от стены до цели b. Определить минимальную начальную скорость мины, необходимую для поражения цели. Под каким углом при этом надо стрелять? Сопротивлением воздуха пренебречь.
23	Гладкий однородный стержень длины $2L$ опирается на край полусферической чаши радиуса R. Какой угол с горизонтом образует стержень в положении равновесия?
24	Зенитное орудие может сообщить снаряду скорость V в любом направлении. Требуется найти зону поражения, т. е. границу, отделяющую цели, до которых снаряд из данного орудия может долететь, от недостижимых целей. Сопротивлением воздуха пренебречь.
25	Автомобиль удаляется от стены со скоростью V под углом α к ней. В момент, когда расстояние до стены равно l, шофёр подаёт короткий звуковой сигнал. Какое расстояние пройдёт автомобиль до момента, когда шофёр услышит эхо? Скорость звука в воздухе c.

Листок 7.

26	Два одинаковых кубика с длиной ребра b массой m каждый стоят на горизонтальном столе, на расстоянии b друг от друга. Между ними помещён рычаг длиной $2^{3/2}b$ с пренебрежимо малой массой. Коэффициент трения между поверхностями кубиков и столом k. Коэффициент трения между рычагом и кубиками очень большой в точке A и очень маленький в точке C. В точке B приложена сила F, направленная перпендикулярно рычагу, как показано на рисунке. Определите, какой из кубиков сдвигается раньше, если постепенно увеличивать силу F.	
27	Однородный стрежень длиной l опирается о пол и ступеньку. Коэффициент трения между стержнем и полом равен 1, трения между стержнем и ступенькой нет. При какой высоте ступеньки стержень может находиться в равновесии, если угол $\alpha = \pi/4$?	
28	В системе, изображённой на рисунке, трение в блоках и между другими поверхностями отсутствует. Если грузу массой m позволить двигаться, то за какое время он достигает подставки? Начальная скорость груза равна нулю, начальное расстояние от груза до подставки h, нить невесомая и нерастяжимая. Масса подставки M.	

29	Однородный куб с помощью верёвки, привязанной к середине его ребра, подвешен к вертикальной стене. При каких значениях угла между верёвкой и стеной куб соприкасается со стеной всей гранью, если коэффициент трения его о плоскость равен k?

2.2.3. Экспериментальные работы.

Преподаватель: А.В. Лиознова.

1) Измерить толщину масляной плёнки.
Оборудование: шприц, масло, линейка.

2) Найти неизвестное сопротивление.
Оборудование: вольтметр, батарейка, сопротивление, провода.

3) Измерить силу разрыва нити.
Оборудование: нитки, кнопки, грузики.

4) Найти показатель преломления жидкости.
Оборудование: лазерная указка, линейка, бумага, пластиковые стаканчики.

5) Измерить отношение коэффициента трения покоя к коэффициенту трения скольжения дерева по дереву.
Оборудование: деревянный брусок, палочка, линейка.

6) Измерение скорости муравья.
Оборудование: линейка, секундомер, муравей.

7) Определить содержание соли в воде.
Оборудование: прозрачная бутылка, пластилин, вода с солью, колпачок от ручки.

8) Определить плотность металла в пластилине.
Оборудование: разновесы, пластилин с металлом, стакан с водой.

9) Исследование времени падения тел различной массы.
Оборудование: грузики, секундомер.

10) Нахождение центра масс тела неправильной формы.
Оборудование: линейка, нитки, неизвестное тело (вырезано из картона).

2.3. 10 класс.

2.3.1. Теория.

Преподаватель: С.С. Колеватов.

В 10 классе лекции были посвящены электростатике. Выбор такого предмета лекций неслучаен: многолетний опыт работы в жюри физических олимпиад показывает, что школьники зачастую относятся к электростатике как к набору простейших формул, не понимая физического смысла явлений. В школьном курсе физики, по нашим наблюдениям, электростатика была и остаётся одним из самых сложных разделов.

После окончания курса электростатики был прочитан мини–курс по гидродинамике. Поскольку математический аппарат был довольно схож с аппаратом электростатики, удалось разобрать довольно большое число физических явлений, не выводя заново математические

факты, а пользуясь лишь электромеханическими аналогиями. Такой подход, кроме всего прочего, хорошо демонстрирует единство методов, применяемых в физике.

План занятий.

1) История. Закон Кулона. 2 вида зарядов. Принцип суперпозиции. Независимость парных взаимодействий, дискретность заряда. Закон сохранения заряда. Напряженность электрического поля. Электрическое поле точечного заряда, системы точечных зарядов. Линии векторного поля. Поток вектора электрического поля. Электростатическая теорема Гаусса и её доказательство.

2) Свойства линий электрического поля. Теорема Ирншоу и её доказательство. Задачи на применение теоремы Гаусса. Потенциальность кулоновских сил. Электростатические и гравитационные силы. Потенциальная энергия. Потенциал. Потенциал точечного заряда.

3) Производная. Частная производная. Градиент. Связь потенциала с напряженностью электрического поля. Краевая задача электростатики. Задача Дирихле. Задача Неймана. Краевая задача с границей в виде проводника. Проводники. Определение. Свойства проводников. Экранирование.

4) Метод изображений. Решение задач с помощью метода изображений. Заряд и заземленная плоскость, заземленных уголок, сфера. Электростатическая ёмкость уединенного проводника. Ёмкость шара.

5) Ёмкость конденсатора. Плоский конденсатор. Соединение конденсаторов. Энергия взаимодействия зарядов. Энергия конденсатора. Электрический ток. Плотность тока. Закон Ома. Сопротивление. Соединение сопротивлений.

6) Проводимость. Вывод зависимости сопротивления от проводимости и размеров тела. Закон Ома в дифференциальной форме. Правила Кирхгофа. Алгоритм и пример решения задач. Закон Джоуля-Ленца и его доказательство. Сверхпроводники. Высокотемпературная сверхпроводимость.

7) Эффект Пельтье. Энергетические уровни. Эффект Томсона. Термопара. Градуировка термопары. Решение схем — метод контурных токов, метод эквивалентной э.д.с.

8) Гидродинамика. Основные определения. Приближения, в которых будут выписываться уравнения. Линии тока, их свойства, связь с силовыми линиями. Уравнение неразрывности. Поток через малый куб. Запись уравнения аналогично теореме Гаусса. Уравнение Бернулли.

9) Вязкость. Формула Пуазейля (распределение скоростей в круглой трубе с жидкостью, поток воды через трубу в единицу времени).

10) Вязкость или турбулентность? Коэффициент сопротивления и число Рейнольдса. Поверхностное натяжение: поверхностный слой, его энергия. Оценка радиуса капли в момент отрыва.

2.3.2. Решение задач.

Преподаватель: Д.С. Смирнов.

Программа задач по теме «Электростатика» призвана дополнять курс теоретических лекций. Программа разработана таким образом, что сложность задач от занятия к занятию постепенно увеличивается. Это позволяет школьникам начать с простых задач, а затем повысить своё мастерство до уровня численного описания сложных физических экспериментов и расчёта некоторых электротехнических схем. Контрольная, проведённая по итогам темы «Электростатика», показала, что слушатели успешно усвоили материал занятий. На последних занятиях школьники познакомились с гидродинамикой.

Кроме того, на занятиях, прошедших после физбоёв, разбирались задачи, вызвавшие особое затруднение у школьников.

Ниже приводятся задачи, обсуждавшиеся на занятиях. Большинство из них взято из классического задачника повышенной сложности под редакцией О.Я. Савченко.

Листок 1.

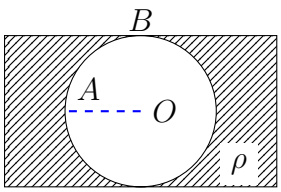
1	Что будет происходить, если потереть стеклянную палочку о шёлк и затем подносить её к бумажному шарику на шёлковой нити? А затем коснуться палочкой второго такого же шарика? А затем сблизить шарики?
2	Как будут меняться показания электроскопа, если трижды коснуться его наэлектризованной палочкой?
3	Что произойдёт, если соединить два электроскопа: один заряженный, а другой — нет, медной проволокой, держа её в руках? Держа её на подвесе из шёлковых нитей? Если соединить те же электроскопы чёрной, белой или шёлковой нитью?
4	Что будет, если нагреть конец заряженного электроскопа?
5	Что будет происходить в последовательном соединении лампочки, батарейки и стеклянной трубочки, если последнюю постепенно нагревать?
6	Что будет, если зарядить один электроскоп стеклянной палочкой, потёртой о шёлк, другой — сургучом, потёртым о шерсть, а затем соединить их проволокой?
7	Как будет вести себя заряженный груз, подвешенный на нити, если приближать к нему руку?

Листок 2.

8	Чему равно электрическое поле на оси равномерно заряженной сферы, у которой удалили узкий поясок вблизи экватора?
9	Сила взаимодействия между двумя одинаковыми зарядами на расстоянии 1 м равна 1 Н. Определите эти заряды в СИ и СГС.
10	Предположим, что удалось бы разъединить 1 см^3 воды на элементарные разноимённые заряды, которые затем удалили бы друг от друга на расстояние 100 км. С какой силой притягивались бы эти заряды?
11	На концах горизонтальной трубы длины l закреплены положительные заряды q_1 и q_2. Найдите положение равновесия шарика с положительным зарядом q, который помещён внутрь трубы. Устойчиво ли это положение равновесия? Будет ли положение равновесия отрицательно заряженного шарика устойчивым?
12	В атоме водорода электрон движется вокруг протона с угловой скоростью 10^{16} рад/с. Найдите радиус орбиты.

13	Чему равна напряжённость электрического поля в центре равномерно заряженного тонкого кольца радиуса R? Чему она равна на оси кольца на расстоянии h от центра? Заряд кольца Q.
14	Металлическое кольцо разорвалось кулоновскими силами, когда заряд кольца был равен Q. Сделали точно такое же новое кольцо, но из материала, прочность которого в 10 раз больше. Какой заряд разорвёт новое кольцо?

Листок 3.

15	Напряжённость однородного электрического поля равна E. Чему равен поток напряжённости электрического поля через квадрат со стороной l, плоскость которого расположена под углом 30° к направлению поля?
16	Найдите отрицательные и положительные потоки однородного электрического поля напряжённости E через замкнутую поверхность прямой трёхгранной призмы, высота которой h. Передняя грань призмы, ширина которой равна h, перпендикулярна E, нижняя грань параллельна E.
17	Используя теорему Гаусса, определите напряжённость электрического поля внутри и вне равномерно заряженной сферы, если полный заряд сферы Q; равномерно заряженной бесконечной нити, если заряд единицы длины равен ρ; вне и внутри равномерно заряженной бесконечной пластины толщиной h, если объёмная плотность заряда в пластине равна ρ.
18	Докажите теорему Ирншоу.
19	При пересечении двух шаров радиуса R, центры которых находятся на расстоянии l друг от друга, образуются два «полумесяца», равномерно заряженных разноимёнными электрическими зарядами. Объёмная плотность электрического заряда равна ρ. Докажите, что электрическое поле в области пересечения шаров однородно. Найдите его напряжённость.
20	В равномерно заряженной бесконечной пластине вырезали сферическую полость так, как показано на рисунке. Толщина пластины h, объёмная плотность заряда ρ. Чему равна напряжённость электрического поля в точке A, в точке B? 
21	Две пересекающиеся под углом α бесконечные плоскости делят пространство на четыре области. Чему равна напряжённость электрического поля в этих областях, если поверхностная плотность заряда плоскостей $\pm\sigma$?

Листок 4.

22	Потенциал заряженного проводника 300 В. Какой минимальной скоростью должен обладать электрон, чтобы улететь с поверхности проводника на бесконечно далёкое от него расстояние?
23	Заряд 0,1 Кл удалён от заряда 0,2 Кл на расстояние 20 м. Чему равен потенциал поля в середине отрезка, соединяющего заряды?
24	Заряды $100, 10, 1, -10, -1, -10$ СГС находятся в вершинах правильного шестиугольника со стороной 2 см. Чему равен потенциал в центре шестиугольника в СИ и СГС?

25	Две бесконечные проводящие изолированные плиты заряжены так, что суммарная поверхностная плотность заряда обеих сторон первой плиты равна σ_1, а второй — σ_2. Плиты параллельны друг другу. Найдите поверхностную плотность заряда на каждой стороне плит.
26	Найдите напряжённость электрического поля между тремя пластинами в случае, если средняя пластина заземлена. Расстояния между средней пластиной и крайними a и b. Потенциал крайних пластин ϕ.
27	В полости металлического шара радиуса R находится заряд Q. Найдите заряд, индуцируемый этим зарядом на поверхности полости. Почему на поверхности шара заряд будет распределён с постоянной плотностью?
28	Металлический шар радиуса R_1, заряженный до потенциала ϕ, окружают концентрической проводящей незаряженной оболочкой радиуса R_2. Чему станет равен потенциал шара, если заземлить оболочку? Соединить шар с оболочкой проводником?

Листок 5.

29	Размеры пластин плоского конденсатора увеличили в два раза. Как изменилась его ёмкость? Как изменится ёмкость, если расстояние между пластинами удвоить?
30	Определите ёмкость конденсатора, образованного двумя концентрическими сферами радиуса R_1 и R_2.
31	Определите ёмкость систем конденсаторов, изображённых на рисунке. На последнем рисунке ёмкости всех конденсаторов равны C.
32	Как изменится ёмкость плоского конденсатора, если поместить его в металлическую коробку? Расстояние от обкладок до стенок коробки равно расстоянию между обкладками d. Как изменится ёмкость, если коробку соединить с одной из обкладок?

Листок 6.

33	Определите силу, с которой притягиваются друг к другу пластины плоского конденсатора, если источник тока, зарядивший конденсатор до разности потенциалов 1000 В, отсоединён. Площадь пластин 100 см^2, расстояние между пластинами 1 мм. Изменится ли сила взаимодействия пластин, если источник тока будет постоянно подсоединён к пластинам?
34	Как изменится энергия конденсатора, если при той же разности потенциалов между пластинами увеличить все его геометрические размеры в k раз?
35	На пластины плоского конденсатора помещён заряд Q. Площадь пластин S, расстояние между ними d. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами на d? Какую работу надо совершить, чтобы сдвинуть пластины на расстояние x относительно друг друга? Пластины имеют форму квадрата со стороной a. Какая совершается работа в обоих предыдущих случаях, если между пластинами конденсатора поддерживается батареей постоянная разность потенциалов?

Листок 7 (гидродинамика).

36	Под каким углом к горизонту располагается вода в сосуде, движущемся с известным ускорением?

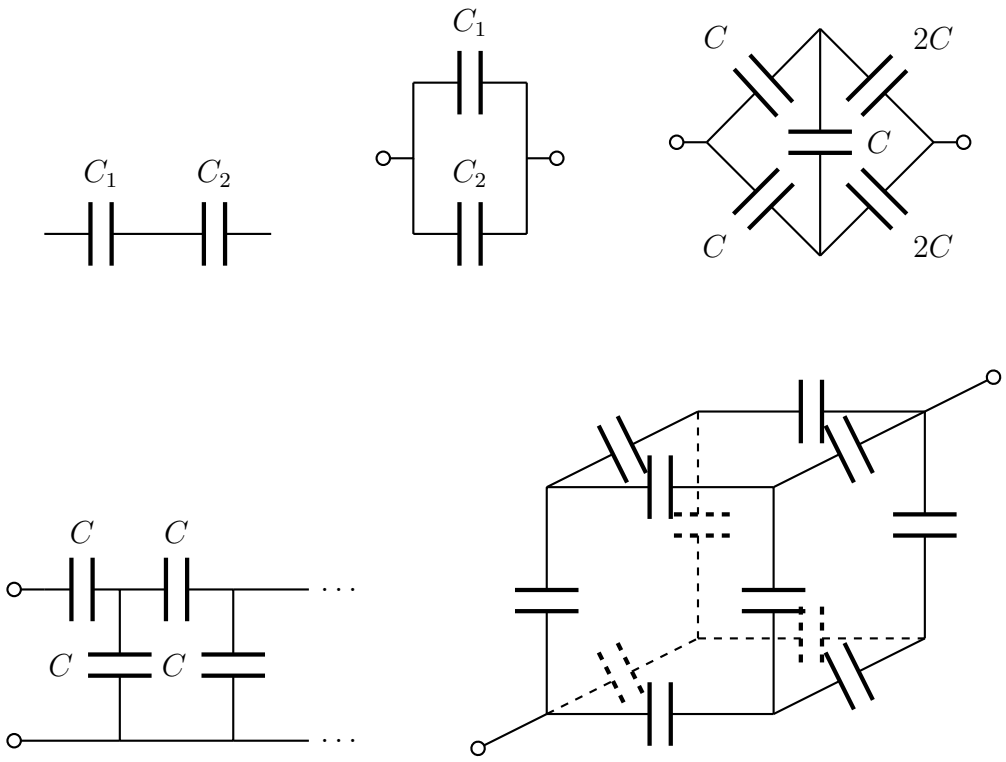


Рис. 1: К задаче 31.

37	Под каким углом к полу вагона расположится чай в стакане, если поезд движется по окружности радиусом 1 км со скоростью 72 км/ч ?
38	С какой скоростью вытекает вода через маленькую дырочку у дна широкой бочки с известным уровнем воды? А из узкой бочки, если известны площади бочки и дырки? Что изменится, если дырка не в боку, а в дне?
39	Как меняется площадь сечения струи, вытекающей из крана, с высотой?
40	Как определить, в какую сторону действует подъёмная сила на крыло известной формы?
41	Даны времена, за которые параллелепипедовидная ванна известных размеров наполняется из крана и опустошается через дырку в дне. До какой высоты дойдёт вода, если одновременно открыть и кран, и дырку?

Листок 8 (заключительная контрольная).

42	Два одинаковых заряженных шарика массы m, подвешенных в одной точке на нитях длины l, разошлись так, что угол между нитями стал прямым. Определите заряд шариков.
43	Чему равен поток напряжённости однородного электрического поля через боковую поверхность усечённого конуса, радиусы сечения которого равны R и r? Напряжённость электрического поля E составляет угол α с осью конуса.
44	Три проводящие концентрические сферы радиуса r, $2r$, $3r$ имеют заряд соответственно q, $2q$, $-3q$. Определите потенциал на каждой сфере.
45	Какие заряды индуцируются на каждом из трёх одинаковых конденсаторов ёмкости C, соединённых звездой, если подать на свободные концы напряжения 0, ϕ и 2ϕ?

2.3.3. Экспериментальные работы.

Преподаватель: А.Г. Кострыгин.

Экспериментальные занятия в 10 классе были призваны качественно улучшить имеющуюся у школьников технику проведения экспериментальных работ. Для этого принципиальные особенности проведения эксперимента были продемонстрированы на примере распределения Гаусса. Кроме этого, школьники узнали, что можно экспериментально измерить весьма сложные с математической точки зрения величины, например, хаусдорфову размерность природных объектов.

Несколько работ были проведены для того, чтобы продемонстрировать, как с помощью сравнительно простого оборудования (линейка, секундомер) можно измерить сложные для прямого измерения величины.

1) Измерить модуль упругости каучукового шарика.
   Оборудование: каучуковый шарик, вода, линейка.

2) Измерить атмосферное давление.
   Оборудование: вода, трубочки, линейка.

3) Распределение Гаусса.
   Оборудование: монетки.

4) Измерение диаметра выходного отверстия у шприца.
   Оборудование: шприц, линейка.

5) Измерение радиуса песчинки.
   Оборудование: секундомер, линейка.

6) Изучение зависимости силы растяжения резинки от её удлинения.
   Оборудование: миллиметровка, резинка, линейка, грузики.

7) Измерение отношения длин ниток маятника.
   Оборудование: нитки, грузики.

8) Нахождение хаусдорфовой размерности листа дерева.
   Оборудование: лист клёна, линейка.

9) Измерение скорости вытекания воды из крана.
   Оборудование: линейка.

10) Измерение плотности карандаша.
    Оборудование: вода, нитки, линейка, карандаш.

2.4. 11 класс.

2.4.1. Теория.

Преподаватель: И.Е. Шендерович.

В 11 классе лекции были посвящены электродинамике. Последние два занятия были посвящены применению общей теории к анализу электрических цепей переменного тока, а также кратко изучалась волновая оптика.

Целью такого курса было изучение разнообразных методов, широко применяемых в физике. Кроме того, итогом лекций явилось построение цельной самосогласованной теории, различные следствия которой можно наблюдать на эксперименте. Фактически, школьники

в первый раз столкнулись с построением работающей физической теории из первопринципов (в данном случае за основу были взяты законы сохранения).

План занятий.

1) Физические принципы электродинамики. Понятие о физических полях. Примеры полей: поле температур, поле скоростей. Скалярные и векторные поля. Основные операции с векторами. Начала векторного анализа. Интегральные теоремы векторного анализа. Теорема Стокса, Гаусса–Остроградского.

2) Электростатика. Закон Кулона как следствие теоремы Гаусса. Потенциал как следствие безвихревой природы электрического поля. Уравнение Пуассона. Теорема Ирншоу.

3) Энергия электрического поля. Аналогии с гидродинамикой (задача об обтекании шара идеальной жидкостью) и теплопроводностью (распределение температур в среде с простой геометрией).

4) Сохранение энергии в электродинамике. Связь закона сохранения энергии и уравнений Максвелла. Получение уравнений Максвелла, их физический смысл. Симметрия в уравнениях Максвелла. Калибровка.

5) Частный случай: магнитостатика. Закон Био–Савара–Лапласа, закон Ампера. Примеры применения этих законов, расчёт магнитного поля от проводников с током простой формы.

6) Физика индукции. Закон Фарадея. Сила Ампера. Задача про взаимодействие параллельных токов. Сила Лоренца. Два источника возникновения магнитного поля, физический смысл этого.

7) Движущееся электромагнитное поле. Задача про движущуюся заряженную плоскость. Понятие об электромагнитной волне. Волновые процессы в электродинамике. Волновое уравнение.

8) Задача про конденсатор в переменном электрическом поле. Пример решения физической задачи методом последовательных приближений. Функция Бесселя.

9) Законы Кирхгофа. Примеры применения законов Кирхгофа к цепям постоянного и переменного тока. Катушки индуктивности. Аналогия с механикой. Колебательный контур.

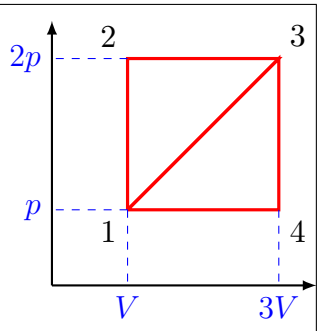
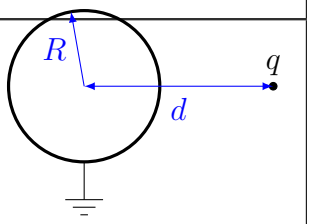
10) Понятие о волновой оптике. Явление интерференции как следствие волновой природы света. Интерференция от двух точечных источников света. Интерференция на плоскопараллельной пластинке.

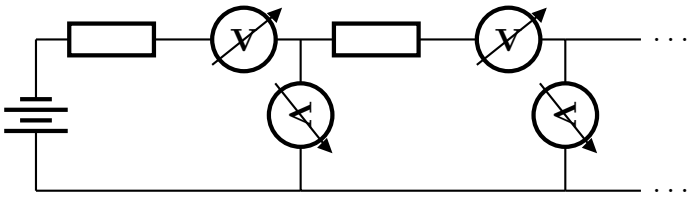
2.4.2. Решение задач.

Преподаватель: Д.В. Батькович.

Программа по решению задач в 11 классе состояла из нескольких частей. Во-первых, это задачи повышенной сложности (в основном, уровня Всесоюзных и Всероссийских олимпиад) по темам, которые недостаточно хорошо освещаются в школьном курсе физики (метод изображений, бесконечные электрические цепи и другие). Во-вторых, это задачи, нацеленные на закрепление знаний, полученных в теоретическом курсе по электродинамике. В-третьих, это задачи по теории колебаний — практика показывает, что эта тема вызывает большие затруднения при решении задач.

Листок 1.

1	На диаграмме изображены два цикла, которые проводят с одноатомным идеальным газом: $1-2-3-1$ и $1-3-4-1$. У какого из циклов КПД больше и во сколько раз?	
2	На расстоянии d от заземленной сферы радиуса R находится заряд q. Найти потенциал в любой точке пространства.	
3	Планету массой M и радиуса r окружает атмосфера постоянной плотности, состоящая из газа с молярной массой μ. Определите температуру T атмосферы на поверхности планеты, если толщина атмосферы h ($h \ll r$).	
4	Нелинейный двухполюсник имеет квадратичную ВАХ: напряжение между его выводами пропорционально квадрату текущего через него тока. Двухполюсник подключают к батарейке с напряжением U последовательно с вольтметром, при этом вольтметр показывает половину напряжения батарейки. Параллельно двухполюснику подключают еще один такой же вольтметр. Найти показания вольтметров. Внутреннее сопротивление батарейки считать малым.	
5	Цепь содержит огромное количество звеньев, каждое звено состоит из резистора и двух вольтметров. Все вольтметры в цепи одинаковы, сопротивления всех резисторов цепи равны между собой. Цепь подключают к батарейке, при этом первые два вольтметра показывают напряжение $6V$ и $4V$. Найти показания второй пары вольтметров. Найти сумму показаний всех вольтметров цепи.	



Листок 2.

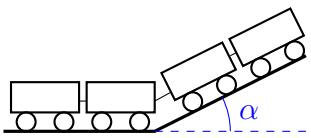
6	В длинной горизонтальной трубе могут скользить без трения два поршня, массы которых M и $2M$. Между поршнями находится небольшое количество одноатомного идеального газа. Снаружи — вакуум. В начальный момент давление газа P, он занимает объем V, а поршень M имеет скорость u_0 в направлении второго поршня, который в этот момент неподвижен. Найти максимальную скорость тяжелого поршня.
7	Вдали от тяготеющих масс в космосе неподвижно висит тонкая однородная спица длины $L = 10$ м и массы $M = 1$ кг. По ней может без трения скользить бусинка массы $m = 0.1$ кг. В начальный момент бусинка смещена относительно центра спицы на $d = 1$ см, система неподвижна. Через какое время бусинка окажется в центре спицы? Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н $\cdot$ м^2/кг^2.

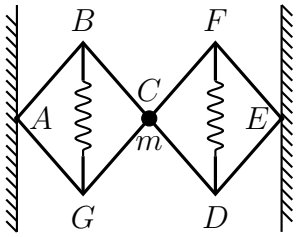
8	На тело, находящееся на горизонтальной шероховатой поверхности стола, начинает действовать сила, величина которой возрастает со временем по линейному закону. Смещение тела за время T, прошедшее с момента начала действия силы, составляет L, за время $2T$ смещение равно $50L$. Найти смещение за интервал времени $3T$.
9	Заряженная частица попадает в среду, где действует сила сопротивления, пропорциональная скорости. До полной остановки частица проходит путь S. Если в среде имеется магнитное поле, перпендикулярное скорости частицы, то она при той же начальной скорости остановится на расстоянии L от точки входа в среду. На каком расстоянии от точки входа в среду остановилась бы частица, если бы поле было в два раза меньше?
10	Пластины плоского конденсатора соединены диэлектрической пружиной. Начальное расстояние между пластинами d_0, а после того как конденсатор зарядили, оно уменьшилось до величины $2d_0/2$. Каким будет расстояние между пластинами, если параллельно ему подключить такой же конденсатор, но незаряженный.

Листок 3.

11	Посередине плоского экрана находится точечный источник света. Параллельно экрану расположено плоское зеркало в форме треугольника со стороной a. Определить площадь зайчика S на экране.
12	К конденсатору ёмкости C подсоединили резистор сопротивлением R. Найти зависимость заряда $q(t)$ на резисторе, если в начальный момент времени заряд на одной обкладке конденсатора был равен q_0.
13	Найти частоту колебаний LC–колебательного контура.
14	Найти зависимость тока от времени $I(t)$ в RLC–контуре, если в начальный момент времени заряд на одной обкладке конденсатора был равен q_0.
15	Из точки A со скоростью v вылетают частицы, имея малый разброс $\delta\alpha$, и далее движутся в однородном магнитном поле индукции B перпендикулярно ему. Определить, на каком расстоянии от точки A соберется пучок, и оцените в этом месте его поперечный размер. Масса частиц m, заряд q.
16	В устройстве для определения изотопного состава ионы калия $39K^+$ и $41K^+$ сначала ускоряются в электрическом поле с разностью потенциалов U, а затем попадают в однородное магнитное поле индукции B, перпендикулярное направлению их движения, через щель диаметром d. Чему должно быть равно d, чтобы следы пучков на фотопластинке не перекрывались (щель находится в одной плоскости с пластинкой).

Листок 4.

17	Найти период малых колебаний математического маятника с длиной подвеса l. Ускорение свободного падения равно g.
18	Длинный железнодорожный состав, двигаясь по инерции, въезжает на горку с углом наклом α. Когда состав полностью остановился, на горке находилась половина его длины. Сколько времени прошло от начала подъема до остановки? Длина состава L, трением пренебречь. 
19	На очень шероховатый цилиндр радиуса r, расположенный горизонтально, надет тонкий однородный обруч радиуса R. Найти период малых колебаний обруча в вертикальной плоскости.

20	Четыре невесомых стержня длины L каждый соединены шарнирно и образуют ромб $ABCD$. Шарнир A закреплен, а к шарниру C подвешен груз. Шарниры D и B соединены невесомой пружиной, имеющей в недеформационном состоянии длину $1.5L$. В положении равновесия стержни образуют с вертикалью углы $\alpha = 30°$. Найти период малых колебаний T системы.
21	Система, изображенная на рисунке, состоит из стержней, соединенный шарнирно в точках A, B, D, E, G и F. В точке C находится бусинка массой m. Точки B и G, F и D соединены пружинами жесткостью k. В положении равновесия все углы в системе прямые. Найти период малых колебаний системы. 

2.4.3. Экспериментальные работы.

Преподаватель: Я.Ю. Коптелов.

Экспериментальные задачи в 11 классе в большинстве своём состояли из задач, ранее предлагавшихся на городских и Всероссийских олимпиадах. Почти в каждой задаче для того, чтобы измерить требуемую величину с помощью предлагающегося оборудования, школьник должен был придумать оригинальную методику. Кроме экспериментов по стандартной школьной программе, в программу 11 класса были включены эксперименты по интерференции и дифракции (№7, №10), по гидродинамике (№5), а также по теории колебаний (№9).

1) Изучение зависимости силы сопротивления среды от скорости.
   Оборудование: теннисные шарики, нитка, линейка.

2) Изучение распределения вероятностей нахождения груза в математическом маятнике.
   Оборудование: нитки, груз.

3) Измерение толщины масляного пятна на поверхности воды.
   Оборудование: масло, вода, линейка.

4) Измерение массы куска пластилина.
   Оборудование: карандаш, вода, нитка, линейка.

5) Измерение радиуса песчинки.
   Оборудование: вода, секундомер.

6) Измерение момента инерции шарика.
   Оборудование: каучуковый шарик, вода, линейка.

7) Измерение объёма данных на компакт–диске.
   Оборудование: компакт–диск, указка, линейка.

8) Измерение плотности карандаша.
   Оборудование: вода, нитки, линейка, карандаш.

9) Исследование колебательных мод в двойном маятнике.
   Оборудование: нитки, монетки.

10) Измерение длины волны лазерной указки.
Оборудование: фольга, булавки, указка, линейка.

2.5. Факультативы.

Р.С. Колеватов рассказывает про эксперименты в физике частиц.

Вечерний факультатив по истории.

Каждый рабочий день в ЛФШ проводились факультативы, или спецкурсы. Спецкурсы обычно представляют собой серию из 4-5 лекций по 1 часу, по теме, не входящей в школьную программу. Целью подобных спецкурсов является рассказ об области науки, являющейся новой и неизвестной для школьников. Школьники свободны в выборе спецкурсов для посещения.

Прочитанные спецкурсы.

1) Космология.
   Преподаватель: С.С. Колеватов.

   Общая теория относительности. Модель Фридмана. Космологическая постоянная. Сжимающаяся или расширяющаяся Вселенная. Большой Взрыв. Элементарные частицы в первые три минуты. Тёмная материя и тёмная энергия.

2) Физика элементарных частиц.
   Преподаватель: И.Е. Шендерович.

   Шкала энергий в физике частиц. Материя. Классификация элементарных частиц. Бозоны и фермионы. Виды фундаментальных взаимодействий. Роль симметрии в физике частиц. Законы сохранения и их нарушения. Античастицы. Странность и изоспин. Кварковая модель. Цвет и аромат.

3) Квантовая механика.
   Преподаватель: И.А. Барыгин.

   Волны. Явление интерференции. Электромагнитные волны. Внешний фотоэффект. Фотон. Опыт с двумя щелями. Дебройлевская длина волны. Принцип неопределённости.

4) Полупроводники.
   Преподаватель: Д.С. Смирнов.

   Металлы, диэлектрики, полупроводники. Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. Язык энергетических диаграмм. Рождение и смерть электрона и

дырки. Тепловое движение. Барьер на границе кристалла. Работа выхода. Поверхностное состояние. Поверхностный потенциал.

5) Эксперименты в физике частиц.
Преподаватель: Р.С. Колеватов.

История физики элементарных частиц. Опыты Крукса, Рентгена, Беккереля, Томсона и Форда. Первые приборы в физике элементарных частиц: счётчик Гейгера, камера Вильсона, ядерная эмульсия. Устройство детекторов. Пузырьковая камера. Устройство современного электронного детектора (на примере детектора CMS). Многослойная структура и её взаимодействие с элементарными частицами.

6) Хаос и фракталы.
Преподаватель: И.Е. Шендерович.

Общее понятие о хаосе. Логистическое отображение. Бифуркационная диаграмма. Удвоение периода. Критическое значение параметра. Постоянная Фейгенбаума. Универсальность. Отображение Жюлиа. Множество Мандельброта. Хаос в физических системах. Маятник с колеблющейся точкой подвеса. Магнетизм. Идея перенормировки на примере фазового перехода в точке Кюри. Наличие хаотической динамики вблизи точки Кюри.

7) Теория узлов.
Преподаватель: А.М. Минарский.

Зачем нужна топология. Математическое определение топологии (топологического пространства). Примеры топологий на конечных множествах. Определение узла. Диаграммы узлов и зацеплений. Преобразования Редемейстера. Идея полинома узла как инварианта. Построение полинома. Вычисление полинома для некоторых узлов и зацеплений. Соотношения типа Конвея. Идея группы узла. Примеры групп.

8) Психология.
Преподаватель: Н.В. Тараканов.

Физиологическая основа мотивации. Гомеостаз и потребности, неспецифическая активизационная система. Возникновение мотива. Основные механизмы формирования мотивов. Отрыв мотивов от потребностей, неспецифическая тормозная система. Сознательное и бессознательное, проблема осознания мотивов. Классификация мотивов по А.М. Зимичеву. Индивидные мотивы: витальные, безопасности, сексуальные, сохранения вида. Социально–биологические мотивы: парное доминирование, генеральное доминирование, иерархическое доминирование. Личностные мотивы: справедливость, добро, красота, истина. Формирование личностных мотивов, этносы. Осознанная и неосознанная личностная мотивация. Методы диагностики личностной мотивации.

9) История Великой Отечественной Войны.

Рассматривались основные сражения и операции во время ВОВ. Каждое занятие факультатива представляло собой подробный рассказ о каком-либо временном этапе с июня 1941 года по август 1945 года. Было проведено десять семинаров, в подготовке занятий участвовали все преподаватели.

2.6. Физические бои.

Физические бои проходили по классам. Жюри выбирало капитанов, которые могли самостоятельно набирать команду по системе, принятой в футбольных соревнованиях. Таким образом, соревнующиеся команды были примерно одинаковой силы.

В 8 классе был проведён один физбой (участвовало 8 человек, две команды). В 9 классе был также проведён один физбой (участвовало 15 человек, три команды). В 10 и 11 классе физбои проводились в два дня (полуфинал и финал), участвовало 21 и 23 человека соответственно (по четыре команды в каждом классе).

Физбой 10 класса: финал.

Физбой 8 класса.

Задачи для физбоёв подбирались в основном из сборников задач повышенной сложности, а также из всевозможных физических олимпиад. Использовалась следующая литература:

1) «Всероссийские олимпиады по физике 1992-2001», сборник задач под ред. С.М. Козела и В.П. Слободянина. Москва, 2002.

2) «Олимпиадные задачи по физике. Международная олимпиада “Туймадаа”», под ред. Ю.М. Григорьева, В.М. Муравьёва, В.Ф. Потапова. Москва, 2007.

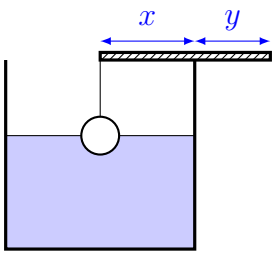
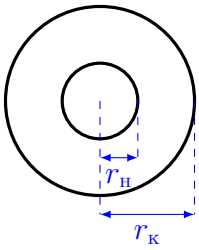
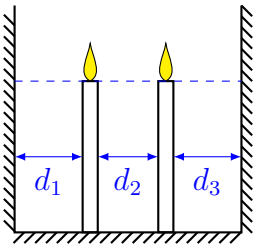
3) «Польские физические олимпиады», В. Горшковский. Москва, 1982.

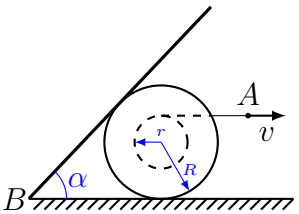
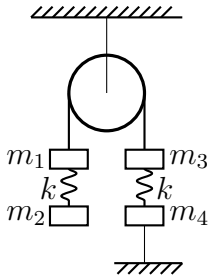
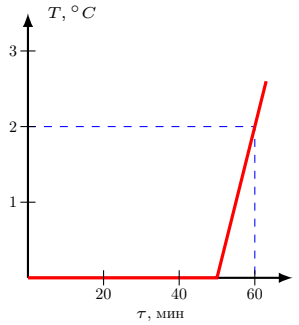
4) Задачи из журнала «Квант», 1970–2006.

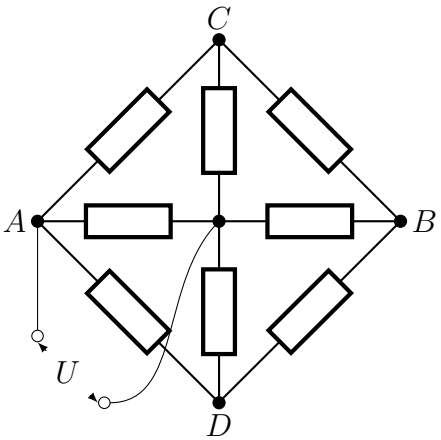
5) «Задачи Московских физических олимпиад», под ред. С.С. Кротова. Москва, 1988.

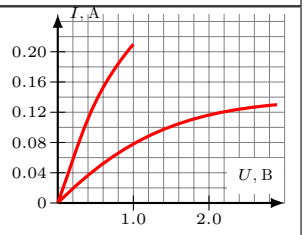
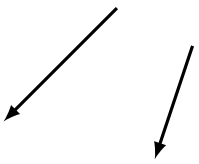
6) 1001 задача по физике с решениями, И. М. Гельфгат, Л.Э. Генденштейн, Л.А. Кирик. Харьков–Москва, 1996.

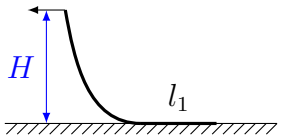
Ниже приводятся задачи, выдававшиеся на физбоях.

1	Легкая пружина длины l, жесткости k установлена на столе вертикально. На нее падает небольшой шарик массой m. Определите, на какой высоте h от поверхности стола шарик будет иметь максимальную скорость.	
2	На пробку массой $m_{пр}$ намотана проволока из алюминия. Плотность пробки равна $\rho_{пр} = 0{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3, алюминия $\rho_{ал} = 2{,}7 \cdot 10^3$ кг/м^3, воды $\rho_{в} = 1 \cdot 10^3$ кг/м^3. Определите, какую минимальную массу $m_{ал}$ проволоки надо намотать на пробку, чтобы пробка вместе с проволокой полностью погрузилась в воду.	
3	К концу однородной палочки массой $M = 4{,}4$ г подвешен на невесомой нити однородный алюминиевый шарик радиуса $r = 0{,}5$ см. Палочку кладут на край стакана с водой, добиваясь такого положения равновесия, при котором погруженной в воду окажется половина шарика. Плотность алюминия равна $\rho_{ал} = 2{,}7 \cdot 10^3$ кг/м^3, плотность воды $\rho_{в} = 1 \cdot 10^3$ кг/м^3. Определите, в каком отношении y/x делится длина палочки в этом случае. Объем шара радиуса r равен $4\pi r^3/3$.	
4	На пустую катушку магнитофона, делающую одинаковое количество оборотов в единицу времени, перематывается магнитная лента. После перемотки конечный радиус $r_к$ намотки оказался в семь раз больше начального радиуса $r_н$. Время перемотки ленты равно t_1. За какое время t_2 на катушку перемотается лента такой же длины, но вдвое более тонкая?	
5	Записывая свои воспоминания, барон Мюнхаузен засиделся до поздней ночи при свечах. Обе свечи одинаковой длины l он зажег одновременно и поставил, как показано на рисунке. Скоро он заметил, что тень первой свечи на левой стене неподвижна, а тень второй свечи на правой стене укорачивается со скоростью v. Через какое время барон останется в полной темноте? Считайте, что $d_1 = d_2 = d_3$.	
6	Автомобиль проехал половину пути со скоростью $v_1 = 60$ км/ч. Половину оставшегося времени движения он ехал со скоростью $v_2 = 15$ км/ч, а последний участок пути — со скоростью $v_3 = 45$ км/ч. Чему равна средняя скорость автомобиля на всем пути?	

1	Катушка катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности, причем скорость конца нити (точка A) горизонтальна и равна v. На катушку опирается шарнирно закрепленная в точке B доска. Внутренний и внешний радиусы катушки равны r и R соответственно. Определите угловую скорость ω доски в зависимости от угла α.	
2	На тело, движущееся с постоянной скоростью $\vec{v}$, начинает действовать некоторая постоянная сила. Спустя промежуток времени Δt скорость тела уменьшается в два раза. Спустя еще такой же интервал времени скорость уменьшается еще в два раза. Определите скорость $v_к$ тела через интервал времени $3\Delta t$ с начала действия постоянной силы.	
3	Для покоящейся системы, изображенной на рисунке, найдите ускорения всех грузов сразу после того, как была перерезана удерживающая их нижняя нить. Считать, что нити невесомы и нерастяжимы, пружины невесомы, масса блока пренебрежимо мала, трение в подвесе отсутствует.	
4	Вблизи поверхности земли свободно падает тело массой m. В некоторый момент времени в него попадает (и застревает) горизонтально летящая тяжелая пуля массой M. Определите время падения t тела, если известно, что пуля попала в тело на половине пути, а время свободного падения тела с той же высоты равно t_0. Считать, что масса пули много больше массы тела ($M \gg m$). Сопротивлением воздуха пренебречь.	
5	В ведре находится смесь воды со льдом массой $m = 10$ кг. Ведро внесли в комнату и сразу же начали измерять температуру смеси. Получившаяся зависимость температуры от времени $T(\tau)$ изображена на графике. Удельная теплоемкость воды равна $c_в = 4{,}2$ кДж/(кг · К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг. Определите массу $m_л$ льда в ведре, когда его внесли в комнату. Теплоемкостью ведра пренебречь.	
6	В схеме, изображенной на рисунке, сопротивления всех резисторов одинаковы и равны R. Напряжение на клеммах равно U. Определите силу тока I в подводящих проводах, если их сопротивлением можно пренебречь.	



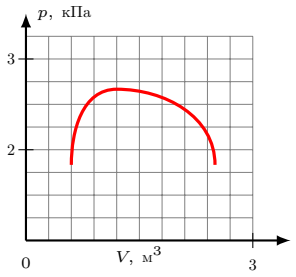
1	Тело начинает движение из точки A и движется сначала равноускоренно в течение времени T_0, затем с тем же по модулю ускорением — равнозамедленно. Через какое время от начала движения тело вернется в точку A?
2	Легкая нерастяжимая нить длиной 2 м удерживается за ее концы так, что они находятся на данной высоте рядом друг с другом. На нити висит проволочная скобка в виде перевернутой буквы U. Масса скобки равна 1 грамму. Нить выдерживает максимальную растягивающую силу $F = 5$ Н. ($F \gg mg$). Концы нити начинают перемещать в противоположных горизонтальных направлениях с одинаковыми скоростями 1 м/с. В какой-то момент нить не выдерживает и рвется. На какую максимальную высоту в момент разрыва нити взлетит скобка? Сопротивлением воздуха пренебречь.
3	Две бесконечные пластины толщины h заряжены равномерно по объему и сложены вместе. Объемная плотность заряда первой пластины ρ, а второй $-\rho$. Найдите максимальную напряженность электрического поля.
4	В чёрном ящике находится резистор, имеющий постоянное сопротивление и нелинейный элемент, которые могут быть включены как последовательно, так и параллельно. Найдите сопротивление резистора. Какой нелинейный элемент может находиться внутри чёрного ящика? ВАХ для последовательно и параллельно включенных элементов представлены на рисунке. 
5	В чайник с нагревательным элементом мощностью $P = 2200$ Вт налили $V_1 = 1.5$ л холодной воды и включили его. когда вода закипела, он автоматически отключился. Через $t_1 = 60$ с его снова включили, а еще через $t_2 = 6$ с вода закипела и чайник выключился. сразу после этого его еще раз включили, но сняв крышку. Автоматический выключатель, срабатывающий под давлением пара, перестал действовать, и вода из чайника начала выкипать. Через $t_3 = 240$ с после последнего включения измерили объем оставшейся воды. Он оказался равным $V_2 = 1.3$ л. Каково значение удельной теплоты парообразования воды L? Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг*К), плотность $\rho = 1000$ кг/м^3. Теплоемкостью чайника пренебречь.
6	Говорят, что в архиве Снеллиуса нашли рисунок с оптической схемой. От времени чернила выцвели, и на бумаге остались видны только предмет и его изображение, даваемое тонкой линзой. 1) восстановите построением по имеющимся данным положение линзы. 2) найдите положение фокусов линзы. 3) можно ли, исходя из рисунка, сказать, какая (собирающая или рассеивающая) была линза? 

1	Над тонкостенным металлическим шаром, радиус которого $R = 5$ см, на высоте $h = 10$ см находится капельница с заряженной жидкостью. Капли жидкости падают из капельницы в небольшое отверстие в шаре. Определить максимальный заряд Q_0, который накопится на шаре, если заряд каждой капли $q = 1.8 \cdot 10^{-11}$ Кл. Радиус капель $r = 1$ мм.
2	Имеется батарейка с ЭДС ε_1 и внутренним сопротивлением r_1, а также некоторое количество одинаковых батареек с ЭДС ε_2. Если последовательно с батареей ε_1 подключить некоторое количество батареек ε_2 и нагрузку, то сила тока в цепи при любом количестве батареек ε_2 будет одинаковой. Если же к батарейке ε_1 параллельно подсоединить любое число батареек ε_2 и ту же нагрузку, то сила тока через нее останется равной прежнему значению. Полярности всех батарей считать одинаковыми. Найдите сопротивление нагрузки R, а также внутреннее сопротивление r_2 батареек ε_2.
3	На некоторой планете может быть реализован следующий эксперимент. При плоских колебаниях математического маятника длиной $L = 3$ м максимальная сила натяжения нити отличается от минимальной в $k = 4$ раза, если максимальный угол отклонения равен значению угла α. Такой же угол α с вертикалью образует нить маятника, если она вращается с периодом $T = 4$ с вокруг вертикальной оси, проходящей через точку подвеса. Определите ускорение свободного падения на данной палате. *Примечание.* Частота колебаний математического маятника зависит только от длины подвеса и ускорения свободного падения: $\omega = \sqrt{g/L}$.
4	Большое число одинаковых плоских монет уложили плоскими сторонами вплотную друг к другу, разделив их круглыми кусочками бумаги, совпадающими по диаметру с монетами. Получившийся длинный цилиндр завернули бумагой в два слоя. Один из торцов этого цилиндра касается термостата, имеющего постоянную температуру $_1$. Ближайшую к термостату монету и сам термостат отделяет кусочек бумаги толщиной h. Сам цилиндр находится в воздухе, температура которого $_0$. Теплопроводность монет намного больше, чем теплопроводность бумаги. Диаметр монеты d, толщина монеты . Толщина слоя бумаги h ($h \ll d$). Теплопроводность материала бумаги — k. Со временем установилось стационарное распределение температуры. Какое количество тепла получает цилиндр из монет от термостата в единицу времени? *Указание.* Тепловой поток P сквозь тонкий слой вещества, площадь которого S, а толщина dx, равный количеству теплоты, проходящему сквозь этот слой в единицу времени, прямо пропорционален разности значений температуры его поверхностей dT и обратно пропорционален его толщине: $P = -kS(dT/dx)$, где k - коэффициент теплопроводности вещества.
5	Один конец тонкой гибкой веревки с линейной плотностью ρ тянут с постоянной горизонтальной скоростью на высоте над шероховатой поверхностью. Второй конец веревки свободен. Длина части веревки, соприкасающейся с поверхностью равна l_1. Найдите длину веревки l_2, не касающейся поверхности. Коэффициент трения скольжения веревки по поверхности равен k. 
6	Для того, чтобы дорожные знаки были хорошо видны ночью, в серебряную краску, которой они покрываются, добавляют стеклянные шарики. Каким должен быть коэффициент преломления стекла, чтобы такой знак был светоотражающим?

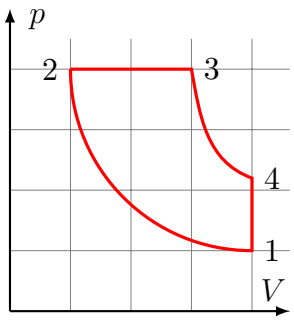
1 Найдите частоту малых колебаний математического маятника относительно его нижнего положения равновесия, если непосредственно под равновесным положением шарика на расстоянии h от него закреплен заряд Q. Длина нити l, масса шарика m, заряд q.

2 Легкая нерастяжимая нить длиной 2 м удерживается за ее концы так, что они находятся на данной высоте рядом друг с другом. На нити висит проволочная скобка в виде перевернутой буквы U. Масса скобки равна 1 грамму. Нить выдерживает максимальную растягивающую силу $F = 5$ Н ($F \gg mg$). Концы нити начинают перемещать в противоположных горизонтальных направлениях с одинаковыми скоростями 1/. В какой-то момент нить не выдерживает и рвется. На какую максимальную высоту в момент разрыва нити взлетит скобка? Сопротивлением воздуха пренебречь.

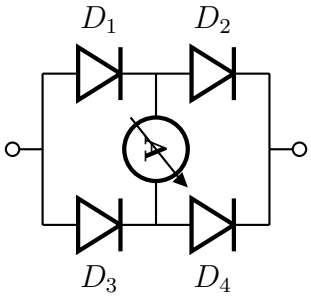
3 Над одним молем идеального газа совершают процесс, показанный на рисунке. Найти максимальную температуру газа в течение этого процесса (процесс считать квазистатическим)

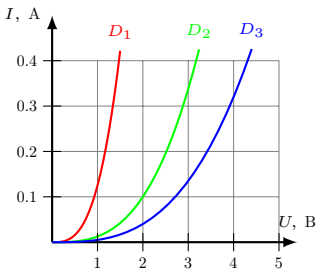


4 С одним молем идеального одноатомного газа провели замкнутый цикл, изображённый на рисунке, где $1-2$ изотерма, $2-3$ изобара, $3-4$ политропа, для которой $C = R/2$, и $4-1$ изохора. Минимальная температура, достигаемая газом в цикле, $T_{min} = 300$. Политропическим процессом называется процесс, происходящий с постоянной теплоёмкостью C. Определите КПД цикла η.

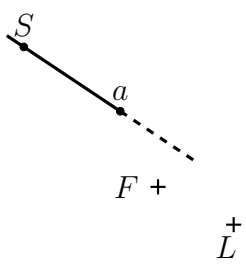


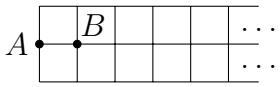
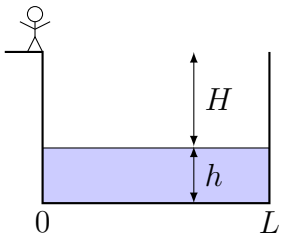
5 В схеме, изображенной на рисунке, имеются четыре диода. Известно, что при любом напряжении, подведенном к выводам схемы, ток через амперметр не течет. ВАХ трех диодов $D1$, $D2$ и $D3$ известны (см. график). Постройте ВАХ четвертого диода.

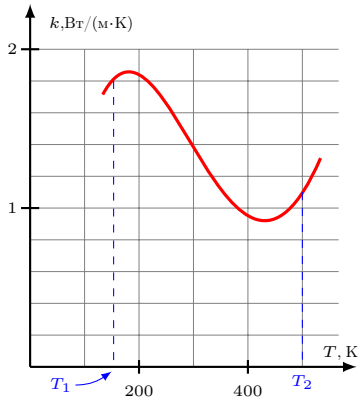




6 В архиве Снеллиуса найден чертеж оптической схемы. От времени чернила выцвели и на чертеже остались видны только три точки — фокус линзы F, источник света S, точка L, принадлежащая плоскости тонкой линзы, и часть прямой линии a, соединяющий источник света и его изображение S'. Из пояснений к чертежу следует, что точка S' отстоит от плоскости линзы на расстояние, большим, чем точка S. Возможно ли по этим данным восстановить исходную схему? Если да, то покажите, как это сделать. Чему равно фокусное расстояние линзы?



1	Определите сопротивление полубесконечной цепочки между точками A и B, если сопротивление каждого звена равно R.	
2	Человек, стоя на краю высокого обрыва, смотрит на ровное плоское дно котлована шириной L, заполненного водой глубины h. Высота обрыва H. Размеры котлована удовлетворяют неравенствам $L \gg H \gg h$. Показатель преломления воды равен n. Как зависит от расстояния до обрыва видимая глубина котлована?	
3	По диаметру астероида, имеющего форму шара, проходит узкий тоннель. С поверхности астероида в тоннель бросили камень, сообщив ему скорость, равную первой космической для этого астероида. Через какое время камень вернётся назад? Известно, что минимальный период обращения космических объектов вокруг астероида равен T_0. Астероид состоит из однородного вещества, а влияние гравитационного поля других небесных тел мало. *Примечание.* Площадь эллипса $S = \pi ab$, где a, b — длины полуосей эллипса.	
4	На расстоянии H от бесконечной проводящей плоскости находится точечный заряд q_0. Найти, на каком расстоянии от проекции заряда на плоскость в эту плоскость войдёт силовая линия, вышедшая из заряда параллельно плоскости.	
5	Один конец тонкой гибкой верёвки с линейной плотностью ρ тянут с постоянной горизонтальной скоростью на высоте H над шероховатой поверхностью. Второй конец верёвки свободен. Длина части верёвки, соприкасающейся с поверхностью, равна l_1. Найдите длину верёвки l_2, не касающейся поверхности. Коэффициент трения скольжения верёвки по поверхности равен k.	
6	Предположим, что создан материал с необычной зависимостью коэффициента теплопроводности k от температуры. Пластину из такого материала поместили между двумя стенками вплотную к ним. Температуры стенок поддерживаются постоянными: $T_1 = 160K$ и $T_2 = 500K$ соответственно. Какой тепловой поток установится между стенками, если толщина пластины $d = 1$ см, а её площадь $S = 100$ см^2? Найдите температуру в среднем продольном сечении пластины ($x = d/2$). *Указание.* Тепловой поток P сквозь тонкий слой вещества, площадь которого равна S, а толщина dx, равный количеству теплоты, проходящему через этот слой в единицу времени, прямо пропорционален разности значений температуры его поверхностей dT и обратно пропорционален его толщине: $P = -kS\dfrac{dT}{dx}$, где k — коэффициент теплопроводности вещества.	



SCIENCE
IT WORKS, BITCHES

2.7. «Большая Задача».

«Большая Задача» выдаётся командам школьников в начале смены. В середине смены проводится защита проведённых исследований. В том случае, если большинство команд справилось с исследованием, выдаётся вторая «Большая Задача», отчёты по которой защищаются непосредственно перед окончанием смены. В противном случае, командам даётся дополнительное время на исследование до конца смены.

Команды сами разрабатывают методику проведения экспериментальной части исследования. Соответственно, команды также сами подбирают оборудование для эксперимента из имеющегося в лагере. Кроме того, в задачу исследования входит также теоретическое обоснование имеющейся модели явления. Жюри оценивает исследование по сданному отчёту, а также по устному докладу.

Темы исследований по «Большой Задаче».

- *(8-9 класс)* Определить плотность человека.

  Командами были предложены следующие методики определения плотности человека:

  – измерить ускорение, с которым человек тонет в воде, и, зная массу человека, из этих данных определить плотность;

  – погружаться в воду, прижимая к себе бутылку, частично заполненную водой и частично — воздухом. Плотность человека рассчитывалась из объема воздуха, необходимого, чтобы человек перестал тонуть;

  – аналогичный метод был предложен и для случая, когда плотность человека меньше плотности воды. В этом случае можно измерить массу песка, которую должен удерживать человек, чтобы начать тонуть;

  – рассчитать плотность человека на основании объема воздуха, который нужно после вдоха выпустить из легких, чтобы начать погружаться в воду;

  – определить плотность на основании измерения доли подводного объема человека в ситуации, когда человек лежит на воде.

- *(8-9 класс)* Исследовать вытекание воды из сифона.

  Одна из команд установила, что скорость вытекания воды из сифона пропорциональна квадратному корню из высоты уровня воды над свободным концом трубки.

- *(10-11 класс)* Исследовать силу сопротивления воды.

  В целом, стратегии команд заключались в применении цифровых фотоаппаратов к регистрации процесса. Пользуясь тем, что фотоаппарат позволяет записывать видеоролики с достаточно большим числом кадров в секунду (от 20 до 25 кадров), команды довольно точно померили зависимость скорость погружения грузов в воде от времени, и на основании этого вычислили силу сопротивления.

  Другая методика заключалась в том, что исследователи контролировали непосредственно ускорение, с которым погружался груз. Для этого был сконструирован и отградуирован динамометр. Тем не менее, оказалось, что в этом случае точность приборов невелика, что выражается в большой погрешности получающихся результатов.

Приведём отчёты команд, которые по мнению жюри лучше всех справились с исследованиями.

Измерение плотности человека.

Состав: Антон Грудкин, Николай Капралов, Антон Егоров, Юрий Серов (все — 9 класс), Андрей Йона (7 класс).

Цель исследования: измерить плотность человека.

Оборудование: человек, озеро, пакет, песок, миски, весы, стаканчики.

Методика исследования: подбирается такая масса песка, что человек, взяв её с собой под воду на вдохе, будет иметь нулевую плавучесть. Этот объем и масса песка меряется весами и стаканчиками. Затем плотность человека рассчитывается по формуле

$$P = \frac{M\rho_{\text{в}}}{M + m - \rho_{\text{в}}V}, \tag{1}$$

где M — масса человека, $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, m — масса песка, V — объём песка.

Обоснование методики.

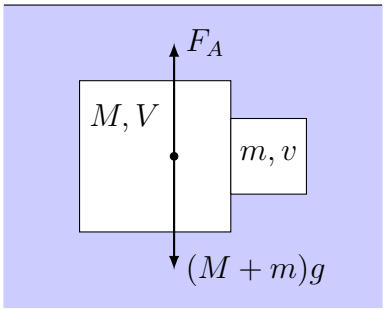


Рис. 2: К обоснованию методики.

Из рисунка видно, что $(M + m)g = F_A$, $F_A = \rho_{\text{в}}(V + v)g$. Отсюда получаем, что

$$V = \frac{M + m - \rho_{\text{в}}v}{\rho_{\text{в}}}. \tag{2}$$

И находим плотность человека:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M\rho_{\text{в}}}{M + m - \rho_{\text{в}}v}. \tag{3}$$

Измерения.

	M, кг	m, кг	v, дм^3	V, дм^3	$\rho_{\text{в}}$, кг/м^3	ρ, кг/м^3
1	73	4,25	2	75,25	1000	970
2	52	1,7	0,8	52,9	1000	983
3	58	2,125	1	59,125	1000	981

Погрешность: при измерении объёма песка ± 10 см^3, при измерении массы песка ± 10 г, плотность воды ± 5 кг/м^3, масса человека ± 5 кг.

Итого, с учётом погрешностей, получаем: $\rho = 978 \pm 131$ кг/м^3.

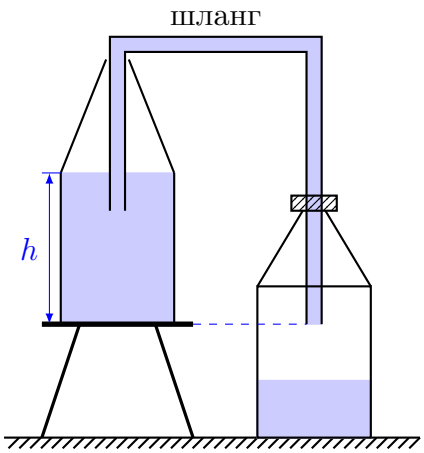
Исследование вытекания воды из сифона.

Состав: Антон Грудкин, Дмитрий Крачун, Михаил Недошивин, Леонид Цейтлин, Вячеслав Базалий (все — 9 класс).

Цель исследования: установить и измерить факторы, влияющие на скорость вытекания воды через шланг от гидроуровня за счет эффекта сифона.

Оборудование: 2м шланга от гидроуровня, рулетка, секундомер, 2 канистры с водой, маркер.

Методика: мы искали зависимость скорости вытекания воды от разности уровней воды. Однако очевидно, что она (скорость) так же пропорциональна площади поперечного сечения трубки. Далее будет рассказано, как мы собирали данные для выявления зависимости скорости вытекания воды из трубки (далее v) от разности высот (далее Δh).



Для начала мы выясним, что именно есть Δh, так как Δh можно мерить и как разницу высот между концами трубки, и как разницу уровней воды в сосудах. Экспериментально мы выяснили, что Δh есть разница уровней воды в сосуде, из которого вода вытекает и концом трубки. Действительно, если он равен 0, то есть конец трубки совмещен с уровнем воды в сосуде (из которого вода вытекает), то вода перестает вытекать. Из этого факта можно так же сделать вывод, что скорость вытекания воды зависит от Δh. Затем мы взяли канистру из-под воды и наполнили её так, чтобы вода доходила до того места, где канистра сужается, чтобы было легче считать объем вытекшей воды. Далее заметим, что Δh меняется от времени, так как уровень воды в первой канистре падает. Кстати, вторая канистра не играет роль, так как вода туда только выливается, то есть её можно убрать, чего не сделаешь с первой.

Обоснование методики: данная методика оптимальна, так как проста в исполнении и оптимальна в плане погрешности, однако она не дает сразу явного ответа. Но ведь зависимость невозможно получить экспериментально. В эксперименте мы получаем в любом случае дискретный или упорядоченный набор значений, а значит просто так восстановить функцию не возможно. Наша методика дает наиболее (на наш взгляд) удобный и систематизированный (упорядоченный) набор значений.

Расчёты.

Пусть скорость вытекания воды ($м^3/с$) — $f(\Delta h)$, где Δh — разность высот между уровнем воды в первом сосуде и концом трубки. Тогда при переливании воды Δh уменьшается.

Пусть сосуд прямоугольный и его высота h, тогда перепад высот в начале $h + \Delta h_1$. Разобьём сосуд на n одинаковых кусочков (прямоугольных параллелепипедов). (n очень большое, то есть $h/n \ll h$).

Пусть площадь поперечного сечения стакана S. Тогда можно считать, что скорость вытекания воды на каждом из кусочков одинакова. Объем любого кусочка $V = S * h/n$. Пусть в i-ом кусочке перепад высот $h_i = h + \Delta h_1 \breve{} i * h/n$, тогда t_i — время переливания i-ого кусочка, равно $\dfrac{Sh/n}{fh_i}$. Значит,

$$T_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Sh/n}{f(h_i)} \Rightarrow v_{\text{ср}} = \frac{Sh}{\sum_{i=1}^{n} \frac{Sh/n}{f(h_i)}} = \frac{h}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h/n}{f(h_i)}}. \tag{4}$$

Нарисуем график функции $1/f(x)$ на промежутке от Δh_1 до $\Delta h_1 + h$ и разобьём фигуру, ограниченную

- графиком $1/f(x)$,
- осью x,
- прямой $x = \Delta h_1$,
- прямой $x = \Delta h_1 + h$

на n прямоугольников (см. рис.), тогда S_i — площадь i-ого куска $\approx (h/n)/f(h_i)$ (прямоугольник со сторонами (h/n) и $(1/f(hi))$).

Значит, вся площадь $\approx \sum_{i=1}^{n} \frac{h/n}{f(h_i)}$. Таким образом,

$$\int_{\Delta h_1}^{\Delta h_1 + h} \frac{dx}{f(x)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{h/n}{f(h_i)}. \tag{5}$$

Тогда для средней скорости

$$v_{\text{ср}} = \frac{h}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h/n}{f(h_i)}} \approx \frac{h}{\int_{\Delta h_1}^{\Delta h_1 + h} \frac{dx}{f(x)}}. \tag{6}$$

При малых перепадах высот ($\Delta h_1 \gg h$) $f(\Delta h)$ можно считать константой, тогда

$$v_{\text{ср}} \approx f(\Delta h_1). \tag{7}$$

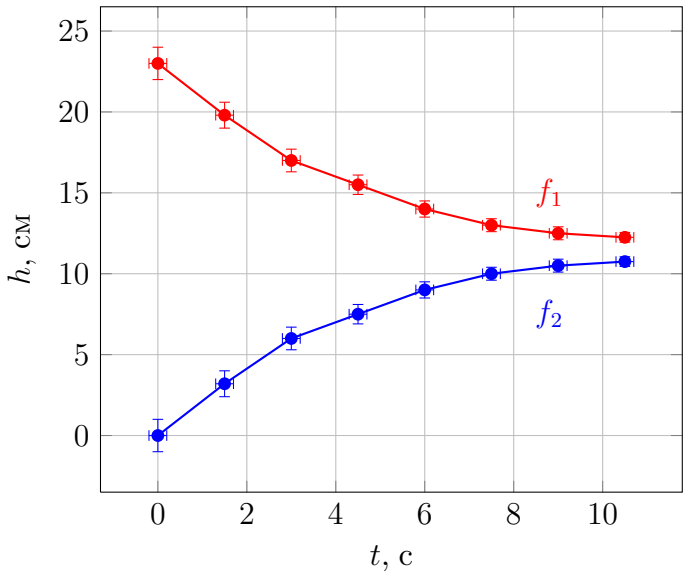
Измерения.

Время	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5
Высота	23	19,8	17	15,5	14	13	12,5	12,25

Результат: в расчетах указано как рассчитывать среднюю скорость вытекания воды с учетом того, что Δh меняется (см. методику). Формула в результате выведена методом подбора коэффициентов и проверена:

$$v = \sqrt{2\Delta h g} S \pi g. \tag{8}$$

Вывод: мы считаем, что для больших Δh данная формула не работает, так как «пропускная способность» трубки ограничена.



Исследование силы сопротивления воды.

Состав: Денис Никитин, Кирилл Михайлов, Антон Терехов, Дмитрий Жаровов, Александр Косицын (все — 10 класс).

Цель: исследовать зависимость силы сопротивления от скорости тела в воде.

Методика.

1) В качестве тела для измерений был выбран шарик для настольного тенниса. В него шприцом заливалась вода, что меняло плотность шарика.

2) Мячик погружался в воду специально сделанным держателем.

3) В определённый момент мячик отпускали и он поднимался вверх.

4) Вышеописанные действия снимали на видеокамеру с частотой 30 кадров в секунду.

Физическое обоснование.

1) Объём шарика мы измерили, обхватив его ниткой. Узнали длину окружности и, тем самым, узнали объём.

2) Массу шарика измерили на весах, используя линейку и монеты известной массы.

3) Видео, снятое камерой, разбивалось на кадры. Так как около ёмкости с водой стояла линейка, то в каждый момент можно было определить высоту шарика. Отсюда

$$V = \frac{dh}{dt}, \quad a = \frac{dV}{dt}, \tag{9}$$

где $dt = 1/30$ секунды. Далее, зная ускорение, находим

$$ma = F_a - mg - F_c, \quad F_c = V(g(\rho_{\text{Ж}} - \rho_{\text{Т}}) - \rho_{\text{Т}} a). \tag{10}$$

Экспериментальные данные.

Ниже приведены данные, полученные с помощью цифрового фотоаппарата для трёх различных плотностей груза.

v, м/с	a, м/с^2	F, Н
0,06	0,9	0,002
0,09	0,8	0,005
0,12	0,7	0,008
0,14	0,6	0,011
0,16	0,4	0,017
0,17	0,3	0,02
0,18	0,1	0,026
0,19	0	0,029

a $\rho = 910$ кг/м^3

v, м/с	a, м/с^2	F, Н
0,16	1,2	0,056
0,19	1,0	0,061
0,21	0,8	0,066
0,23	0,7	0,068
0,26	0,6	0,071
0,28	0,5	0,073
0,3	0,4	0,076

b $\rho = 740$ кг/м^3

v, м/с	a, м/с^2	F, Н
0,6	4,5	0,124
0,71	3,3	0,141
0,78	2,4	0,154
0,86	1,8	0,163
0,9	1,3	0,170
0,93	0,4	0,176

c $\rho = 429$ кг/м^3

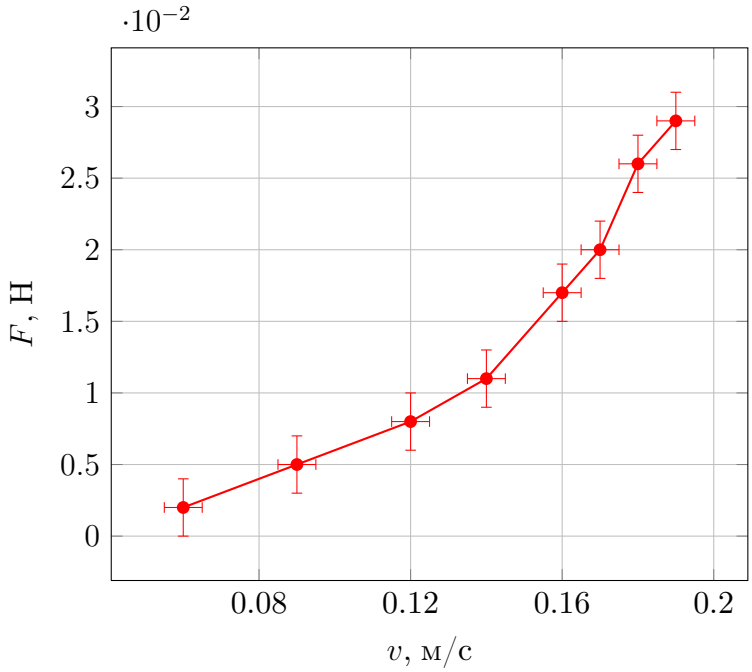
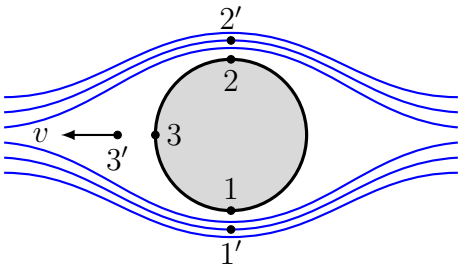


Рис. 3: График зависимости силы от скорости для $\rho = 910$ кг/м^3.

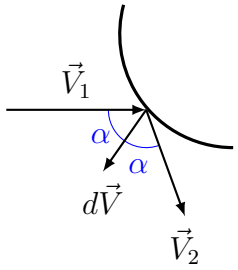
Теоретическое обоснование.

Посмотрим на рисунок токов воды во время движения шарика.



В точках 1 и 2 скорость воды ≈ 0, а в точках 1' и 2' находящихся чуть дальше от шарика, V. Сила вязкого трения, как известно, равна $F = \eta SV/d$, следовательно, сила сопротивления линейно зависит от скорости.

Заметно, что перед шариком образуется «водяная подушка», область двигающейся вместе с шариком воды (область между точками 3 и 3'). Поток воды отражается от неё, изменяя импульс шарика: $\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{V}$.



Рассмотрим отдельно взятый поток. Его начальная скорость равна $\vec{V}_1$, конечная — $\vec{V}_2$. Так как площадь сечения воды уменьшается, то $V_2 > V_1$, но незначительно, поэтому мы будем считать, что $V_1 = V_2$.

$$\vec{V}_1 + d\vec{V} = \vec{V}_2 \quad \Rightarrow \quad dV = V_1(2 + 2\cos\alpha). \tag{11}$$

При получении $\Delta\vec{V}_0 = \left(\int \Delta\vec{V} dS\right)/S$ перпендикулярные скорости шарика проекции взаимоуничтожаются (в силу симметрии), а параллельные складываются, но все они пропорциональны V_1, поэтому $\Delta V_0 \sim V_1$.

Запишем закон изменения импульса:

$$F = \frac{m\Delta V_0}{\Delta t} = \frac{S_{\text{Ш}} V_1 \Delta t \rho \Delta V_0}{\Delta t} = S_{\text{Ш}} \rho V_1 \Delta V_0 \quad \Rightarrow \quad F \sim V_1^2. \tag{12}$$

Мы видим, что сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости набегающего потока.

Кроме того, можно заметить, что на больших скоростях сзади шарика появляется турбулентность, которая изменяет силу сопротивления.

2.8. «День Изобретателя».

День Изобретателя проводится в первое воскресенье смены. Это командное соревнование, в котором школьники соревнуются в умении сконструировать действующее устройство, демонстрирующее тот или иной физический эффект.

В этом году школьникам 8-9 классов было предложено соорудить установку, демонстрирующую **реактивную силу**, а школьникам 10-11 классов — установку, выдающую максимально возможную **электрическую мощность** (при этом запрещалось использовать любые готовые источники тока, например, розетки или батарейки).

Батарейка из яблок

Демонстрация реактивного движения

Ещё одно яблоко

Большой генератор

Малый генератор

2.9. «День Экспериментатора».

Во время «Дня Экспериментатора» (обычно второе воскресенье смены) школьники также разбиваются по командам. Всем командам выдаётся условие двух экспериментальных задач, вместе с необходимым оборудованием. Далее команды обдумывают методику проведения эксперимента и рассказывают её членам жюри. После рассказа методики команды должны продемонстрировать преподавателю ход эксперимента, провести необходимые измерения и после этого написать отчёт. После сдачи отчёта команда получает условие новой экспериментальной задачи. Обычно лучшим командам удаётся решить около 5-6 экспериментальных задач за отведённое время (с 10:00 до 17:00). В конце дня жюри проверяет отчёты и подводит итоги. Члены победившей команды получают значки «Лучший Экспериментатор».

Стилистика задач для этого соревнования немного отличается от принятой на ежедневных занятиях: школьникам даётся минимум оборудования. Это означает, что методика решения задачи может быть довольно нестандартной. Например, объект эксперимента может выступать как измерительный прибор (возможна и обратная ситуация: измерительный прибор, выдаваемый жюри, может сыграть нестандартную роль по ходу проведения эксперимента).

3. Культурно–развлекательная программа.

Во второй половине дня в ЛФШ проводятся различные традиционные игры и состязания. После ужина у школьников обычно свободное время. В это время обычно проходил факультатив по истории Великой Отечественной Войны, либо демонстрировались различные художественные фильмы. Кроме того, после ужина проходили матчи чемпионата по футболу, поскольку именно в это время суток температура воздуха становилась приемлемой для игры. Помимо футбола, регулярно проводились игры в волейбол.

Программа мероприятий в ЛФШ устроена таким образом, что почти каждый день во второй половине организуется какое-нибудь соревнование (как правило, командное).

Часть мероприятий организованы в виде **игры по станциям**: участникам предлагается проходить контрольные пункты в некоторой последовательности, и на каждом контрольном пункте выполнять определённые задания.

В самом начале смены ребята, оказавшиеся в ЛФШ впервые, проходят **обряд посвящения в физики**. На каждом контрольном пункте (а всего их около десяти) посвящаемым предлагается решить за определённое время ту или иную экспериментальную задачу по элементарной физике (или задачу на смекалку). Успешно прошедшие все испытания приносят клятву физика. Ключевой особенностью этого мероприятия является то, что его от начала и до конца готовят те, кто уже был посвящён в прошлые года, наиболее опытные участники предыдущих Школ.

В этом году уже в седьмой раз проводилось соревнование **«Ленинградец»**. На контрольных пунктах командам предлагалось ответить на различные вопросы, посвящённые истории Санкт–Петербурга, вспомнить как можно большее количество песен, посвящённых Петербургу, отгадать кроссворд, составленный из фамилий петербургских архитекторов и т.д.

Идея ещё одной игры по станциям была взята из соревнования, уже много лет проводящегося во Франции, в знаменитом **Форте Бойяр**. На каждом контрольном пункте команде приходилось соревноваться в ловкости рук с Мастером Игры (здесь, опять же, роль Мастера играли либо преподаватели, либо одиннадцатиклассники). Участникам предлагалось проверить свои силы в армреслинге, крестиках–ноликах, искусстве владения летающим диском, запоминании последовательности цифр на скорость и тому подобных вещах.

Игра «Ленинградец»

Игра «Ленинградец»

«Форт Бойяр»

«Форт Бойяр»

Кроме игр по станциям, проводились мероприятия, не имеющие чёткой траектории прохождения. Так, на территории лагеря в один их первых дней смены был проведён **«Бегущий Лагерь»** — полуспортивное соревнование, направленное на знакомство с территорией (аналогично проводящемуся во многих городах России «Бегущему Городу»).

Не остались в стороне и традиционные для ЛФШ спортивные игры. Для них был устроен специальный **вечер традиционных игр**. К ним относятся лапта, фрисби, игра **«Мамонт»**, а также **«Дед Мазай и зайцы»**.

Помимо этих игр, в течение смены несколько раз проводилась игра **«Doom»**. Участники делились на две команды (согласно цвету воздушных шариков, повязанных за спиной), а дальше пытались устранить вражескую команду путём ликвидации шариков. После окончания игры «Doom» проводился также **«Гидроquake»** — фактически, бой без правил, в котором единственным оружием является вода. Это мероприятие пользовалось особенно большим успехом, так как позволяло освежиться в жаркую погоду.

Как обычно, проводилась интеллектуальная игра **«Что? Где? Когда?»**. Она тоже вызвала большой интерес у участников школы: в ней приняло участие около 30 человек. Помимо «Что? Где? Когда?» проводилась также интеллектуально–юмористическая игра **«Завалинка»**, в которой команды соревнуются в написании лучшей энциклопедической статьи для неизвестного им слова.

«Дед Мазай и зайцы»

«Мамонт»

«Гидроquake»

«Гидроquake»

«Завалинка»

«Что? Где? Когда?»

4. Благодарности.

Организаторы и преподаватели Летней Физической Школы считают своей приятной обязанностью поблагодарить фонд некоммерческих программ «Династия», а также фонд «Современное Естествознание» за оказанную финансовую помощь в рамках проекта Р10-150 (конкурс образовательных программ для школьников).