

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.

1.1. Участники Летней Физической Школы.

1.2. Преподаватели Летней Физической Школы.

С 1995 года 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).

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).

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., сотрудник ФФ СПбГУ), С.Н. Тараканов (психолог).

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

2. Образовательная часть.

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 9⁴⁵ до 13⁴⁵. 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.

2.1.2. Задачи.

Преподаватель: О.В. Шустова.

2.1.3. Эксперименты.

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 более-менее сложным оборудованием. Поэтому одной из задач было показать школьникам, что даже с помощью тривиального оборудования (линейка, монетки, нитки) можно достаточно точно померять различные физические величины.

- 1) Измерение скорости муравья.

Оборудование: линейка, секундомер, муравей.

- 2) Измерение массы капли воды.

Оборудование: ведро, стакан, шприц, монетки.

- 3) Нахождение центра масс палочки.

Оборудование: линейка, монетки, нитки, палочка.

- 4) Изучение зависимости силы растяжения резинки от её удлинения.

Оборудование: резинка, монетки, линейка.

- 5) 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. Задачи.

Преподаватель: С.М. Атамась.

2.2.3. Эксперименты.

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 емкость уединенного проводника. Емкость шара.
 - 5) Емкость конденсатора. Плоский конденсатор. Соединение конденсаторов. Энергия взаимодействия зарядов. Энергия конденсатора. Электрический ток. Сила тока. 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) 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. Задачи.

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 и увлекательных 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 гидродинамикой.

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

Ниже приводятся задачи, обсуждавшиеся на занятиях.

Листок 1.

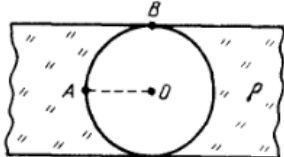
1	Что будет происходить, если потереть стеклянную палочку о шёлк и затем поднести её к бумажному шарiku на шёлковой нити? А затем коснуться палочкой второго такого же шарика? А затем сблизить шарики?
2	Как будут меняться показания электроскопа, если трижды коснуться его наэлектризованной палочкой?
3	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 поясok 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 $\pm\sigma$?

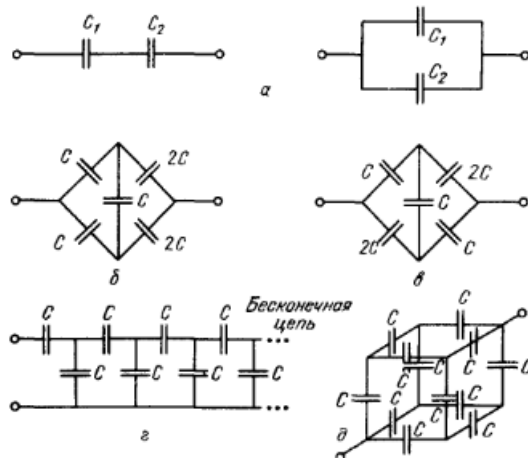
Листок 4.

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.
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?
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. Эксперименты.

Преподаватель: А.Г. Кострыгин.

- 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: миллиметрока, 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: магнетостатика. 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. Задачи.

Преподаватель: Д.В. Батькович.

2.4.3. Эксперименты.

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.

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.

Список прочитанных спецкурсов.

- 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.
- 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.
- 8) Специальная теория относительности.
Преподаватель: А.В. Лиознова.
- 9) Психология.
Преподаватель: Н.В. Тараканов.
- 10) 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.

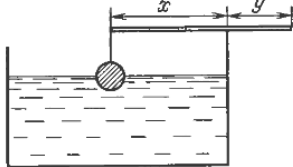
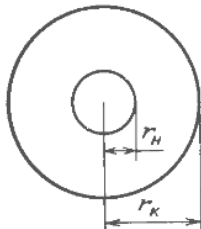
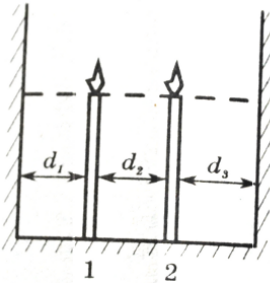
Физические бои проходили по классам. Жюри выбирало капитанов, которые могли самостоятельно набирать команду по системе, принятой в футбольных соревнованиях. Таким образом, соревнующиеся команды были примерно одинаковой силы.

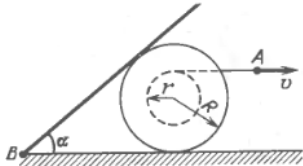
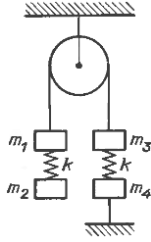
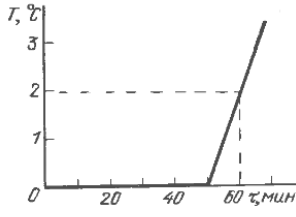
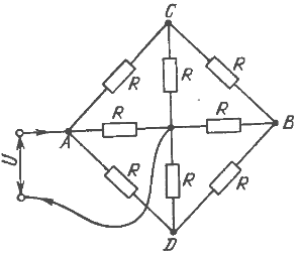
В 8 классе был проведён один физбой (участвовало 8 человек, две команды). В 9 классе был также проведён один физбой (участвовало 15 человек, три команды). В 10 и 11 классе физбои проводились в два дня (полуфинал и финал), участвовало 21 и 23 человека соответственно (по четыре команды в каждом классе).

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

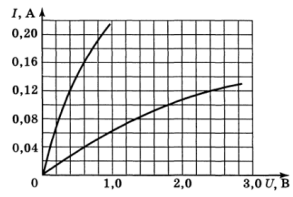
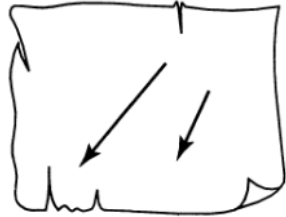
- 1) «Всероссийские олимпиады по физике 1992-2001», сборник задач под ред. С.М. Козела и В.П. Слободянина. М., 2002.
- 2) «Олимпиадные задачи по физике. Международная олимпиада “Туймадаа”», под ред. Ю.М. Григорьева, В.М. Муравьёва, В.Ф. Потапова. М., 2007.
- 3) «Польские физические олимпиады», В. Горшковский. М., 1982.
- 4) Задачи из журнала «Квант», 1970–2006.

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_{np} намотана проволока из алюминия. Плотность пробки равна $\rho_{np} = 0,5 \cdot 10^3$ 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_k намотки оказался в семь раз больше начального радиуса r_n . Время перемотки ленты равно t_1 . За какое время t_2 на катушку перематывается 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?	

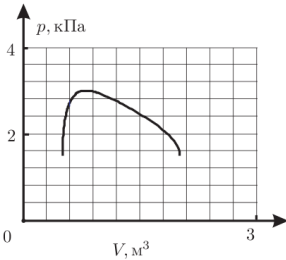
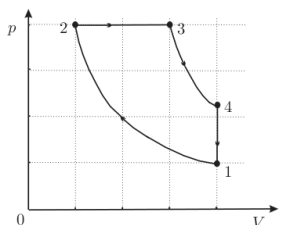
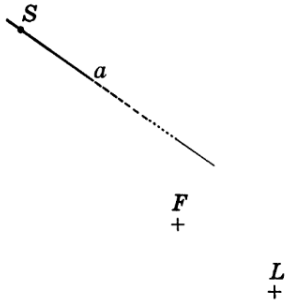
1	<p>Катушка катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности, причем скорость конца нити (точка A) горизонтальна и равна v. На катушку опирается шарнирно закрепленная в точке B доска. Внутренний и внешний радиусы катушки равны r и R соответственно. Определите угловую скорость ω доски в зависимости от угла α.</p>	
2	<p>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_k тела через интервал времени $3\Delta t$ с начала действия постоянной силы.</p>	
3	<p>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.</p>	
4	<p>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.</p>	
5	<p>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 $c_v = 4,2$ кДж/(кг · К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг. Определите массу $m_{\text{л}}$ льда в ведре, когда его внесли в комнату. Теплоемкостью ведра пренебречь.</p>	
6	<p>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.</p>	

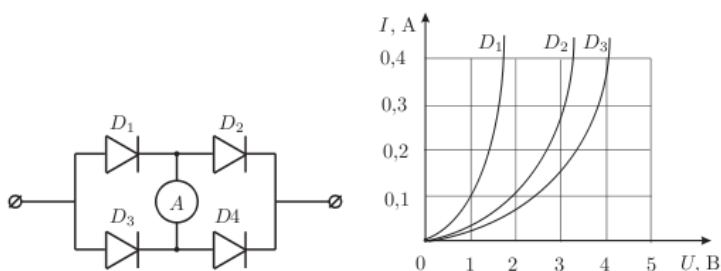
Физбой, 10 класс. Полуфинал.

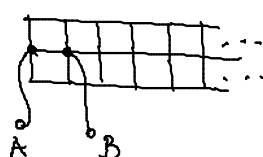
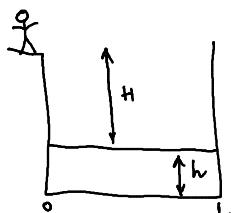
1	Тело начинает движение из точки A и движется сначала равноускоренно в течение времени T_0 , затем с тем же по модулю ускорением — равнозамедленно. Через какое время от начала движения тело вернется в точку A ?	
2	Легкая нерастяжимая нить длиной 2 м удерживается за ее концы так, что они находятся на данной высоте рядом друг с другом. На нити висит проволочная скобка в виде перевернутой буквы U. Масса скобки равна 1 грамм. 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	<p>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.</p> <p>1) восстановите построением по имеющимся данным положение линзы.</p> <p>2) найдите положение фокусов линзы.</p> <p>3) можно ли, исходя из рисунка, сказать, какая (собирающая или рассеивающая) была линза?</p>	

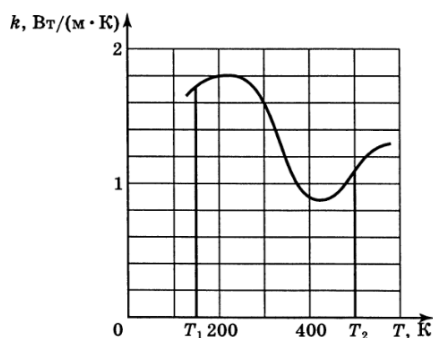
1	Над тонкостенным металлическим шаром, радиус которого $R = 5$ см, на высоте $h = 10$ см находится капельница с заряженной жидкостью. Капли жидкости падают из капельницы в небольшое отверстие в шаре. Определить максимальный заряд Q_0 , который накопится на шаре, если заряд каждой капли $q = 1.8 \cdot 10^{-11}$ 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 планете. <i>Примечание.</i> 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 T_1 . Ближайшую к термостату монету и сам термостат отделяет кусочек бумаги толщиной h . Сам цилиндр находится в воздухе, температура которого T_0 . Теплопроводность монет намного больше, чем теплопроводность бумаги. Диаметр монеты d , толщина монеты H . 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? <i>Указание.</i> 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 H 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?

Физбой, 11 класс. Полуфинал.

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 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 $F = 5$. ($F \gg mg$). 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, $T_{min} = 300$ К. 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, подведённом к выводам схемы, ток через амперметр не течет. ВАХ трех диодов D_1 , D_2 и D_3 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. <i>Примечание.</i> 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: $T_1 = 160\text{K}$ и $T_2 = 500\text{K}$ соответственно. Какой тепловой поток установится между стенками, если толщина пластины $d = 1\text{ см}$, а её площадь $S = 100\text{ см}^2$? Найдите температуру в среднем продольном сечении пластины ($x = d/2$). <i>Указание.</i> 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: $P = -kS \frac{dT}{dx}$, где k — коэффициент теплопроводности вещества.	



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.

Темы исследований по «Большой Задаче».

- 1) (8-9 класс) Определить плотность человека.
- 2) (8-9 класс) Исследовать вытекание воды из сифона.
- 3) (10-11 класс) Исследовать силу сопротивления воды.

2.8. «День Изобретателя».

2.9. «День Экспериментатора».

Во время Дня Экспериментатора (обычно второе воскресенье смены) школьники также разбиваются по командам. Всем командам выдаётся условие первых двух экспериментальных задач, вместе с необходимым оборудованием. Далее команды должны рассказать методику измерений, продемонстрировать преподавателю ход эксперимента и после этого написать отчёт. После сдачи отчёта команда получает условие нового эксперимента.

3. Развлекательная часть.

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 приемлимой для игры в футбол.