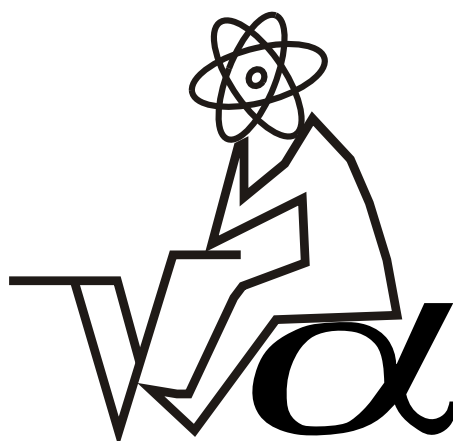


XVII Летняя Физическая Школа  
15 июля – 4 августа 2011

*Сборник материалов*



## 1. Участники ЛФШ.

### 1.1. 8 и 9 класс.

#### 8 класс

№	Фамилия, имя	Шк.	Д/б
1	Артамонов Николай	239	47
2	Багиров Фарид	533	Д1
3	Баринев Фёдор	239	Д3
4	Богомолев Егор	92	ПО
5	Бомов Фёдор	292	56
6	Галкин Георгий	—	—
7	Гера Станислава	534	Д3
8	Грибакин Борис	74	50
9	Громов Даниил	Ун.	24
10	Гуменюк Виталий	92	66
11	Жибарев Георгий	533	Д3
12	Йона Андрей	152	—
13	Кокурушников Тимофей	239	Д2
14	Коробов Артём	2	48
15	Кутимский Максим	239	—
16	Лебедев Александр	—	14
17	Мастеров Роман	366	58
18	Морозов Дмитрий	239	Д2
19	Олейник Дарья	239	53
20	Охотников Артём	239	Д2
21	Петров Степан	30	Д2
22	Приходько Алексей	366	ПО
23	Родионова Анна	239	54
24	Рутковский Илья	78	46
25	Сокольский Станислав	366	33
26	Староказников Александр	344	ПО
27	Трофимов Даниил	101	Д3
28	Уланова Арина	533	Д2
29	Усачёва Мария	295	23
30	Ходунов Павел	239	Д1
31	Шубин Григорий	550	42

#### 9 класс

№	Фамилия, имя	Шк.	Д/б
1	Агафонов Игорь	533	ПО
2	Андреев Константин	ФТШ	Д2
3	Беляков Михаил	239	Д1
4	Блехштейн Максим	239	Д3
5	Буренев Иван	ФТШ	Д3
6	Вахренев Роман	239	44
7	Глезеров Евгений	73	—
8	Гордеева Людмила	ФТШ	16
9	Гуцол Ксения	ФТШ	ПО
10	Затылкин Павел	239	47
11	Затылкин Кирилл	239	40
12	Иванов Владислав	177	Д3
13	Киселев Егор	239	Д3
14	Коско Софья	239	Л
15	Кравченко Дмитрий	—	40
16	Куксенюк Даниил	533	ПО
17	Лихачев Иван	30	44
18	Луцкий Георгий	ФТШ	ПО
19	Малышева Александра	ФТШ	39
20	Муретова Мария	239	Д1
21	Никоненко Михаил	393	—
22	Осипов Игорь	571	—
23	Портянкин Егор	ФТШ	65
24	Семенов Александр	ФТШ	31
25	Сычёв Станислав	ФТШ	Д1
26	Хвещук Анастасия	470	—
27	Цейтина Елена	ФТШ	41

В 8 классе работали: Н.В. Тараканов, М.В. Евтихий (студент 3-го курса ФТФ СПбГПУ), А.В. Лиознова (студентка 3-го курса ФТФ СПбГПУ), И. Авдеев, А. Лиознов (студенты 1-го курса ФТФ СПбГПУ), Д. Максимова (студентка 1-го курса ФТФ СПбГПУ), С. Богданов (студент 1-го курса ФФ МГУ).

В 9 классе работали: О.В. Шустова (студентка 6-го курса ФТФ СПбГПУ), Ф. Затылкин (студент 2-го курса ФМФ СПбГПУ), А. Коротченков (студент 2-го курса ФТФ СПбГПУ), Ф. Петухов (студент 1-го курса ФТФ СПбГПУ).

## 1.2. 10 и 11 класс.

### 10 класс

№	Фамилия, имя	Шк.	Д/б
1	Бальков Андрей	261	37
2	Вишняк Сергей	ФТШ	41
3	Водопьян Даниил	239	Р
4	Грудкин Антон	239	Д1
5	Егоров Антон	ФТШ	Р
6	Иващенко Дмитрий	239	32
7	Капралов Николай	ФТШ	46
8	Конаныхин Роман	ФТШ	Д1
9	Крюков Михаил	ФТШ	31
10	Лашкевич Злата	ФТШ	24
11	Люлина Анастасия	ФТШ	27
12	Максакова Мария	ФТШ	39
13	Мосягин Иван	214	42
14	Погодаев Илья	610	ПО
15	Рау Владислава	239	46
16	Серов Юрий	ФТШ	Р
17	Томп Дмитрий	ФТШ	Д3
18	Ярковой Алексей	557	24

### 11 класс

№	Фамилия, имя	Шк.	Д/б
1	Балашов Александр	30	—
2	Борздун Наталья	239	—
3	Грачёв Дмитрий	М	—
4	Жаровов Дмитрий	239	—
5	Косицын Александр	239	—
6	Максимишин Дмитрий	239	—
7	Маслов Артём	ФТШ	Р
8	Матюшин Георгий	ФТШ	Д1
9	Михайлов Кирилл	239	—
10	Никитин Денис	239	Р
11	Свирина Анна	239	—
12	Смирнов Иван	214	Д2
13	Терехов Антон	239	Р
14	Толстомятов Всеволод	239	—
15	Трофимов Павел	ФТШ	—
16	Чурилова Мария	ФТШ	—
17	Шалымов Роман	239	Д3

В 10 классе работали: И.А. Барыгин (к.ф.–м.н., преподаватель ФТШ), С. Атамась, В. Коваленко (студенты 3-го курса ФТФ СПбГПУ).

В 11 классе работали: И.Е. Шендерович, Д.О. Соколов (аспиранты ПОМИ РАН), Д.С. Смирнов (студент 4-го курса ФТФ СПбГПУ).

## 2. Ежедневные занятия.

### 2.1. 8 класс.

#### 2.1.1. Теория.

Преподаватель: Н.В. Тараканов.

#### 2.1.2. Эксперимент.

Преподаватели: А. Лиознова, Д. Максимова, И. Авдеев.

### 2.2. 9 класс.

#### 2.2.1. Теория.

Преподаватель: О.В. Шустова.

1. Системы координат. Векторы. Скорость. Масса. Импульс.
2. Равноускоренное движение. Графическое представление.

3. Потенциальные и непотенциальные силы. Работа. Потенциальная энергия.
4. Кинетическая энергия. Закон сохранения энергии.
5. Закон сохранения импульса. Абсолютно упругое/неупругое соударение.
6. Центр масс. Закон движения центра масс.
7. Движение по окружности. Момент силы, момент импульса.
8. Момент инерции. Расчёт для разных тел.
9. Уравнение моментов.

#### **2.2.2. Эксперимент.**

*Преподаватели: Ф. Затылкин, Ф. Петухов.*

#### **2.3. Смешанная группа 8–9 классов.**

##### **2.3.1. Теория.**

*Преподаватель: Н.В. Тараканов.*

##### **2.3.2. Эксперимент.**

*Преподаватели: С. Богданов, А. Лиознов.*

#### **2.4. 10 класс.**

##### **2.4.1. Теория.**

*Преподаватель: С. Атамась.*

##### **2.4.2. Эксперимент.**

*Преподаватель: И.А. Барыгин.*

1. Измерить отношение масс двух грузов.  
*Оборудование:* два груза, нитки, миллиметровка.
2. ВАХ нелинейного элемента.  
*Оборудование:* источник постоянного тока, провода, реостат, мультиметр, лампочка.
3. Измерение скорости вытекания воды из крана.  
*Оборудование:* линейка.
4. Измерение отношения длин ниток Y-образного маятника.  
*Оборудование:* нитки, грузики.
5. Измерить жесткость каучукового шарика.  
*Оборудование:* каучуковый шарик, вода, линейка, гуашь.
6. Измерить коэффициент трения линейки по столу.  
*Оборудование:* две деревянные линейки.

7. Измерить зависимость мощности теплоотдачи от разницы температур.

*Оборудование:* горячая вода, мерный стакан или линейка, термометр для воды, часы, сосуд.

## **2.5. 11 класс.**

### **2.5.1. Теория.**

*Преподаватели:* И.Е. Шендерович, Д.О. Соколов.

1. Введение. Требующие объяснения экспериментальные факты.
2. Векторный анализ. Циркуляция и поток. Градиент, дивергенция и ротор. Теорема Стокса и теорема Гаусса–Остроградского.
3. Электростатика. Теорема Гаусса. Потенциал электростатического поля.
4. Переход к движущимся зарядам. Уравнение неразрывности электрического заряда, его физический смысл.
5. Уравнение Максвелла для ротора магнитного поля. Магнитостатика. Закон Био – Савара – Лапласа, закон Ампера. Примеры: поле кругового тока, поле соленоида, поле длинного провода.
6. Ток смещения, его физический смысл. Задача о разрядке конденсатора.
7. Электромагнитные волны. Закон индукции Фарадея как необходимое условие для их существования. Сила Лоренца. Примеры.
8. Физика индукции. Примеры возникновения ЭДС индукции.
9. Движущееся электромагнитное поле. Скорость волны и скорость света.
10. Пример полного решения уравнений Максвелла: переменное поле в цилиндрическом конденсаторе. Функция Бесселя.
11. Применение уравнений Максвелла к электрическим цепям. Законы Кирхгофа. Примеры расчёта схем.

### **2.5.2. Эксперимент.**

*Преподаватель:* Д.С. Смирнов.

Идеи большинства экспериментов взяты из книги С.Д. Варламова, А.Р. Зильбермана, В.И. Зинковского «Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах».

1. Найти отношение массы монеты к массе листа миллиметровки.  
*Оборудование:* монета, миллиметровка.
2. Найти закон распределения времени, отмеряемого внутренними часами. Экспериментатор должен сто раз отмерить по внутренним часам 10 секунд и сравнить результат с истинным.
3. Определить плотность и массу куска пластилина.  
*Оборудование:* мерный стакан, миллиметровка.
4. Измерить расстояние между бороздками CD.  
*Оборудование:* лазерная указка известной длины волны, линейка.

5. Измерить и объяснить ВАХ лампочки накаливания.  
*Оборудование:* батарейка 9В, реостат 10КОм, провода, мультиметр.
6. Определить схему и номиналы элементов в чёрном ящике.  
*Оборудование:* мультиметр.
7. Определить теплоту плавления припоя.  
*Оборудование:* свечка, мерный стакан, термомпара, вода.
8. Определить отношение частот всех мод двойного маятника.  
*Оборудование:* пластилин, нитки, секундомер.

### 3. Факультативы.

1. Квантовая механика.

*Преподаватель: М.В. Евтихийев.*

История возникновения, формула Планка и фотоэффект. Атом. Модели атома, падение заряда на ядро и постулаты Бора. Дифракция и интерференция. Опыт по дифракции электронов, волна де Бройля. Амплитуда вероятности, принцип неопределенности.

2. Статистическая физика.

*Преподаватель: И.Е. Шендерович.*

Задачи статистической физики. Вероятности в физике. Флуктуации. Связь вероятности флуктуации и минимальной работы в термодинамических системах. Распределение газа в закрытом сосуде: пример нормального распределения. Понятия среднего и среднеквадратичного. Статвес. Энтропия. Распределение Гиббса. Распределение Максвелла.

3. Явления переноса.

*Преподаватель: И.А. Барыгин.*

Явление диффузии. Задача о пьяном матросе. Связь коэффициента диффузии с длиной свободного пробега. Уравнение диффузии и его функция Грина. Теплопроводность. Температуропроводность. Вязкость, динамическая и кинематическая.

4. Радуга.

*Преподаватель: Д.С. Смирнов.*

Каков размер радуги? В какой последовательности в ней идут цвета? Где небо светлее: внутри радуги или снаружи? Сколько колец радуг можно увидеть одновременно? Какая последовательность цветов во всех этих кольцах? Поляризована ли радуга?

5. Основы астрофизики.

*Преподаватель: В. Коваленко.*

Электромагнитное излучение. Понятие о фотометрии. Ослабление света при прохождении сквозь вещество. Понятие спектра. Тепловое излучение. Спектр чернотельного излучения. Формула Планка, приближения Рэлея–Джинса и Вина. Закон смещения Вина. Спектры звезд. Спектральные линии. Эффект Доплера. Смещение спектральных линий. Расширение спектральных линий. Спектральные приборы. Методы анализа наблюдений. Солнце. Общие сведения. Химический состав и спектр. Термоядерные реакции. Нейтринные детекторы на Земле. Фотосфера. Общие сведения о звездах. Спектры и светимости. Показатель

цвета. Спектральные классы, связь с температурой. Абсолютная звездная величина и светимость. Методы определения светимости и других характеристик далеких звезд. Статистические зависимости между основными характеристиками. Диаграмма Герцшпрунга–Рессела. Главная последовательность.

6. Тензоры в физике.

*Преподаватель: О.А. Хромов.*

7. Введение в теоретическую механику.

*Преподаватель: Д.О. Соколов.*

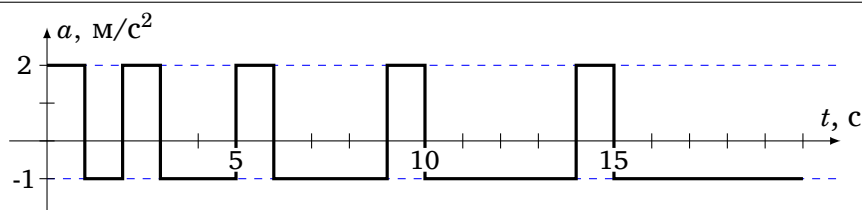
Введение. Мотивация. Функция Лагранжа. Примеры. Метод вариаций. Статика. Форма верёвки в поле тяжести. Движение в поле тяжести. Законы сохранения: энергия, импульс, момент импульса.

## 4. Материалы физических боёв.

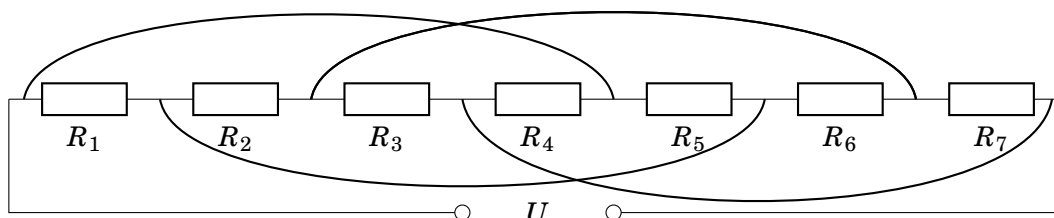
### 4.1. Физбой 9 класса.

#### 4.1.1. Полуфинал.

1	Космический корабль начинает двигаться прямолинейно с ускорением, изменяющимся во времени так, как показано на графике (см. рис.). Через какое время корабль удалится от исходной точки в положительном направлении на максимальное расстояние? Начальная скорость корабля равна нулю.
---	--



2	На гладком горизонтальном столе лежат, касаясь друг друга, две одинакового размера шайбы 1 и 2, радиус которых равен $R$ . Шайбы соединены друг с другом с помощью тонкой легкой нити (см. рис., вид сверху). Длина нити $L = 2R$ . Нить начали тянуть в горизонтальном направлении с постоянной силой $F$ . Найдите силу, с которой шайбы будут давить друг на друга, когда их движение установится. Сила $F$ приложена в середине нити. Трение можно считать малым. Рассмотрите два случая: 1) шайбы имеют одинаковую массу; 2) масса одной шайбы в два раза больше массы другой.	
3	Электрическая цепь составлена из семи последовательно соединенных резисторов: $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 2$ кОм, $R_3 = 3$ кОм, $R_4 = 4$ кОм, $R_5 = 5$ кОм, $R_6 = 6$ кОм, $R_7 = 7$ кОм и четырех перемычек. Входное напряжение $U = 53,2$ В. Укажите, в каком из резисторов сила тока минимальна. Найдите эту силу тока. В каком из резисторов сила тока максимальна? Найдите ее.	

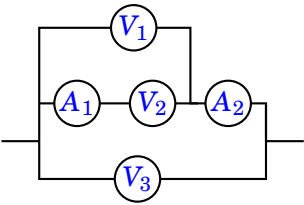
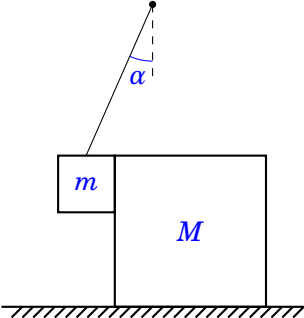




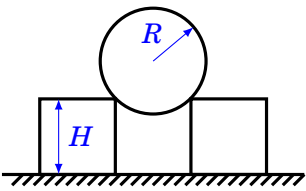
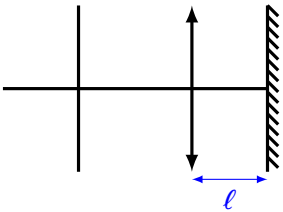
#### 4.1.2. Финал.

1	Над обрывом установлено орудие, позволяющее вести огонь в любом направлении. Снаряды имеют начальную скорость $v$ . На расстоянии $l$ от орудия под углом $\varphi$ к горизонту завис воздушный шар. Известно, что шар находится достаточно далеко от орудия — так, что снаряды в него не попадают. Обстрел стали производить снарядами, которые взрываются через время $T$ после выстрела. Под каким углом к горизонту следует стрелять, чтобы снаряды взрывались как можно ближе к шару? Ускорение свободного падения $g$ .	
2	Массивная доска АВ скользит со скоростью $u$ по гладкой горизонтальной поверхности. Из точки С той же поверхности одновременно вылетают две легкие шайбы. Первая шайба скользит по поверхности в направлении $CC_1$ параллельно доске АВ со скоростью $v_1$ , вторая скользит со скоростью $v_2$ под углом $\alpha$ к $CC_1$ . Через некоторое время шайбы сталкиваются в точке D. Определите скорости шайб $v_1$ и $v_2$ до столкновения, если известно, что время от начала движения шайб до их столкновения в $n$ раз превышает время от начала движения шайб до столкновения второй шайбы с доской. При ударе шайбы о доску потерь энергии не происходит.	
3	Тонкостенный цилиндр катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания со скоростью $v_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения между цилиндром и поверхностью равен $\mu = 0,2$ . Цилиндр сталкивается с вертикальной гладкой стенкой и упруго отражается от нее. Определите путь, пройденный цилиндром до остановки.	
4	По реке со скоростью $v$ плывут мелкие льдины, которые равномерно распределяются по поверхности воды, покрывая ее $n$ -ю часть. В некотором месте реки образовался затор. В заторе льдины полностью покрывают поверхность воды, не нагромождаясь друг на друга. Какая сила действует на 1 м ледяной границы между водой и сплошным льдом в заторе со стороны останавливающихся льдин? Плотность льда $\rho = 0,91 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> ; толщина $h = 20$ см; скорость реки $v = 0,72$ км/ч; плывущие льдины покрывают $n = 0,1$ часть поверхности воды.	

#### 4.2. Физбой 10 класса.

1	С какой силой отталкиваются грани равномерно заряженного по поверхности правильно-го тетраэдра? Длина ребра тетраэдра $a$ , заряд каждой грани $q$ .	
2	Участок цепи постоянного тока состоит из трех одинаковых вольт-метров и двух одинаковых амперметров. Показания вольтметров $V_1$ и $V_2$ равны $U_1 = 6$ В, $U_2 = 4$ В. Как вы полагаете, что показывает третий вольтметр?	
3	Ракета пришельцев стартует с поверхности Земли и практически мгновенно набирает по-стоянную вертикальную скорость $v = 800$ м/с. Злодеи обстреливают ракету из пушки, ко-торая находится в $l = 40$ км от стартовой площадки. Выстрел производится в момент стар-та. Могут ли злодеи попасть в ракету? Начальная скорость снаряда равна $u = 1000$ м/с. Сопротивлением воздуха пренебречь.	
4	Узкий пучок протонов налетает на шар радиуса $a$ . Прицельное расстояние (расстояние от центра шара до прямой, на которой лежит начальная скорость протонов) $b$ , начальная энергия протонов $E$ . Найти установившийся заряд шара. Заряд протона $e$ , масса $m$ .	
5	Кубик массы $M$ стоит на горизонтальной поверхности. Его каса-ется кубик массы $m$ , висающий на невесомой нерастяжимой нити. Нить составляет угол $\alpha$ с вертикалью. В начальный момент куби-ки неподвижны. Определите ускорения кубиков в начальный мо-мент. Трением пренебречь. Считайте, что кубики не поворачива-ются вокруг своей оси.	
6	На достаточно удаленные предметы смотрят через собирающую линзу с фокусным рассто-янием $F = 9$ см, располагая глаз на расстоянии $a = 36$ см от линзы. Оцените минимальный размер экрана, который нужно расположить за линзой так, чтобы он перекрыл все поле изображения. Считайте, что радиус зрачка равен $r = 1,5$ мм.	

#### 4.3. Физбой 11 класса.

1	Два одинаковых кубика с ребром $H$ и массой $2.5m$ каждый стоят почти соприкасаясь гранями на гладкой горизонтальной поверхности. Сверху на них аккуратно кладут шар массы $m$ и радиуса $R$ , и он начинает смещаться вертикально вниз, раздвигая кубики в стороны. Найти скорость шара непосредственно перед ударом о горизонтальную поверхность. Начальная скорость шара пренебрежимо мала.	
2	За линзой на расстоянии $\ell = 4$ см (больше фокусного) расположено перпендикулярно главной оптической оси плоское зеркало. Перед линзой, также перпендикулярно главной оптической оси, расположен лист клетчатой бумаги. На этом листе получают изображение его клеток при двух положениях листа относительно линзы. Эти положения отличаются на $L = 9$ см. Определить фокусное расстояние линзы.	
3	Вагон массой $M$ и длиной $L$ может без трения двигаться по рельсам. Он заполнен газом и разделен пополам подвижной невесомой вертикальной перегородкой. Вначале температура газа равна $T$ . В правой половине включают нагреватель и доводят температуру газа до $2T$ , в левой части температура остается прежней. Найти перемещение вагона, если масса всего газа равна $m$ .	
4	Звезда массы $M$ и радиуса $r$ образовалась из однородного облака газа с молярной массой $\mu$ радиуса $R$ , исходно имевшего температуру $T$ . Считая звезду также однородной, определите среднеквадратичное значение ее угловой скорости.	
5	Радиусы кривизны двух одинаковых, слипшихся друг с другом, мыльных пузырей равны $R$ . После того, как перегородка лопнула, образовался один пузырь радиусом $R_1$ . Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора $\sigma$ . Найти атмосферное давление.	
6	Имеется равномерно заряженная диэлектрическая сфера. Известно, что, если ее разрезать пополам, то «половинки» будут расталкиваться с силой $F_1$ . Если разрезать пополам одну из половинок (вдали от второй), то получившиеся «четвертинки» будут расталкиваться с силой $F_2$ . И, наконец, если разрезать пополам одну из «четвертинок» (вдали от оставшихся частей сферы) на «восьмушки», то они будут расталкиваться с силой $F_3$ . Найти силу, с которой будут расталкиваться «восьмушки», если их поместить так, как показано на рисунке.	