

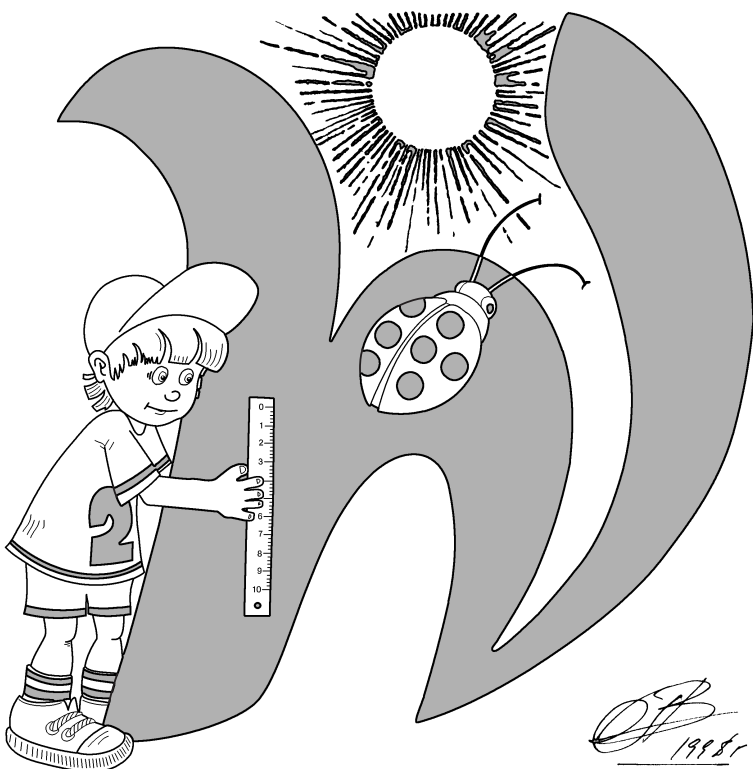
Федеральное агентство по образованию
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад
Методическая комиссия по физике

XLI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Окружной этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



Москва, 2006/2007 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
Центрального оргкомитета Всероссийских олимпиад школьников
Телефоны: (495) 408-80-77, 408-86-95, (477) 361-80-43.
E-mail: physolymp@gmail.com, vip@mail.mipt.ru

Авторы задач

8 класс

1. Слободянин В.
2. Кирьяков Б.,
Слободянин В.

10 класс

1. Шведов О.
2. Слободянин В.

9 класс

1. Шведов О.
2. Варгин А.,
Дунин С.

11 класс

1. Слободянин В.
2. Кирьяков Б.

Общая редакция — Дунин С., Слободянин В.

Оформление и вёрстка — Чудновский А.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система L^AT_EX 2_ε.
© Авторский коллектив
Подписано в печать 28 декабря 2007 г. в 15:34.

141700, Московская область, г. Долгопрудный
Московский физико-технический институт

8 класс

Задача 1. Толщина стенок

Определите толщину стенок гибкой пластиковой трубки.

Оборудование. Гибкая пластиковая трубка, шприц с делениями (объём шприца 1 мл), стакан с водой, линейка или полоска бумаги в клетку (ширина клетки — 5 мм).

Примечание. Площадь круга можно определить по формуле: $S = \pi D^2/4$, где D — диаметр круга, коэффициент $\pi = 3,14$.

Задача 2. «Чёрный» ящик

В «чёрном» ящике с четырьмя выводами заключена электрическая цепь, содержащая резисторы и провода. Определите возможную простейшую схему, этой цепи и сопротивления всех резисторов, если наименьшее из них $r_{\min} = 1$ кОм.

Оборудование. «Чёрный» ящик с четырьмя выводами, батарейка, мультиметр, работающий в режиме вольтметра.

9 класс

Задача 1. «Чёрный ящик» с омметром

В «чёрном ящике» с пятью выводами находится электрическая цепь, составленная из резисторов. К выводам 1 и 5 подключён омметр. Расшифруйте схему чёрного ящика. Разрешается соединять провода друг с другом; отсоединять омметр от выводов 1 и 5 не разрешается.

Оборудование. «Чёрный ящик», омметр.

Задача 2. Трение между ручкой и столом

Определите, какую минимальную скорость надо сообщить шариковой авторучке, положенной на горизонтальный стол, чтобы она проскользила по нему 50 см.

Оборудование. Шариковая ручка с кнопочно-пружинным механизмом выдвижения стержня, линейка, рабочий стол.

Примечание. Наклонять стол нельзя. Для каждой величины, которую вы непосредственно измеряете в ходе эксперимента, проведите не менее 10 измерений.

10 класс

Задача 1. «Серый ящик»

В «сером ящике» с двумя выводами находится электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке 1.

1. Постройте вольтамперную характеристику «серого ящика».

2. Определите сопротивление резистора r_2 , подключенного параллельно диоду, и сопротивление резистора r_1 , соединённого с диодом последовательно.

3. Постройте вольтамперную характеристику диода.

Оборудование. «Серый ящик», батарейка, которую можно считать идеальной, постоянный резистор, переменный резистор, мультиметр.

Примечание. Мультиметр разрешается использовать только в режимах вольтметра и омметра. Мультиметр в режиме омметра разрешается использовать только для измерения сопротивлений постоянного и переменного резисторов.

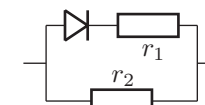


Рис. 1

Задача 2. Бифилярный подвес

Подвесьте тонкий однородный стержень длиной L на нитях длиной L так, чтобы нити были параллельны и симметричны относительно центра масс стержня (рис. 2). Пусть a — расстояние между нитями. Верхние концы нитей следует прикрепить к линейке, зажатой в лапке штатива (или с помощью кнопок к деревянной планке, которая, в свою очередь, крепится струбциной к столешнице).

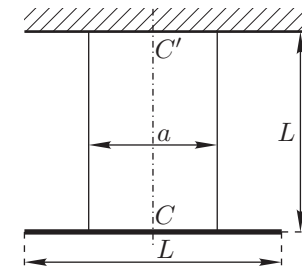


Рис. 2

1. Отклоните стержень на малый угол φ от вертикальной плоскости, проходящей через свободно висящий стержень, и отпустите. Определите период T_M колебаний получившегося маятника.

2. Поверните стержень на малый угол φ относительно вертикальной линии CC' , и отпустите его. При этом возникнут крутильные колебания. Исследуйте зависимость периода T_a этих колебаний крутильного маятника от расстояния a между нитями подвеса. Для этого определите период T_a колебаний маятника для значений a (не менее 5), лежащих в диапазоне от $0,1L$ до L .

3. Постройте график зависимости T_a/T_M от a в таких координатах, где он был бы линейным.

4. Определите из графика расстояние a_2 , при котором периоды T_a и T_M отличаются в 2 раза.

Оборудование. Металлический стержень, деревянная планка, штатив с лапкой или струбцина, нитки, канцелярские кнопки (2 шт.), линейка или полоска миллиметровой бумаги, секундомер, лист миллиметровой бумаги (для построения графика).

11 класс

Задача 1. Физический маятник

К концам тонкого однородного стержня длиной L привяжите нити. Их свободные концы прикрепите с помощью канцелярских клипс к деревянной планке (линейке), которую, в свою очередь, прикрепите к штативу или прижмите с помощью струбцины к столешнице (рис. 3). Проследите чтобы расстояния l_1 и l_2 от концов стержня до оси качания были одинаковы ($l_1 = l_2 = l$). Крепление стержня следует выполнить так, чтобы при его отклонении на малый угол φ в вертикальной плоскости, проходящей через стержень, он не выходил из этой плоскости. Будем называть этот маятник физическим.

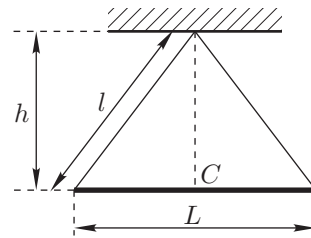


Рис. 3

1. Зарисуйте придуманную вами схему крепления стержня.
2. Исследуйте зависимость периода $T_{\text{Ф}}$ колебаний физического маятника от расстояния h между центром масс C стержня и осью качания. Для этого измерьте период $T_{\text{Ф}}$ колебаний маятника для значений h (не менее 5), лежащих в диапазоне от $0,1L$ до L .

3. Прикрепите стержень с помощью ниток к планке так, чтобы он мог колебаться в вертикальной плоскости, перпендикулярной оси стержня (рис. 4). Нетрудно видеть, что такой маятник эквивалентен математическому.

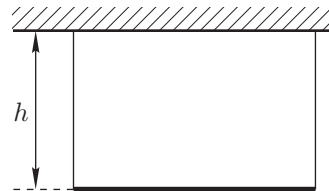


Рис. 4

4. Зарисуйте придуманную вами схему крепления стержня. Отклоните стержень на малый угол φ в этой плоскости и отпустите. Исследуйте зависимость периода $T_{\text{М}}$ колебаний математического маятника от расстояния h между центром масс C стержня и осью качания. Для этого измерьте период $T_{\text{М}}$ колебаний маятника для значений h (не менее 5), лежащих в диапазоне от $0,1L$ до L .

5. Постройте график зависимости $T_{\text{Ф}}/T_{\text{М}}$ от h . По графику определите расстояние $h = h_2$, при котором периоды $T_{\text{М}}$ и $T_{\text{Ф}}$ отличаются в 2 раза.

Оборудование. Металлический стержень с небольшими проточками на концах (для крепления нитей), деревянная планка, штатив с лапкой или струбцина, нитки, канцелярская кнопка, линейка или полоска миллиметровой бумаги, секундомер.

Задача 2. С компасом в «чёрный ящик»

В «чёрном ящике» с четырьмя выводами находятся электрическая цепь с двумя элементами (линейным и нелинейным). Расшифруйте эту схему.

Оборудование. «Чёрный ящик», батарейка, компас.

Возможные решения

8 класс

Задача 1. Толщина стенок

Чтобы определить толщину стенок трубки нужно определить её внешний и внутренний диаметры D и d . Для измерения длин следует воспользоваться полоской бумаги в клетку.

1. Для определения D можно сложить трубку «змейкой» или аккуратно (без натяжения) несколько раз (n) смотать её в бухту так, чтобы витки плотно прилегали друг к другу. Поделив длину намотки l на число витков n , найдём $D = l/n$.

2. Для нахождения d заполним трубку водой (с помощью шприца). Объём воды в трубке равен изменению объёма содержимого шприца. Поделив найденный объём V на длину L жидкости в трубке, определим площадь S её внутреннего сечения: $S = V/L$. По формуле $S = \pi d^2/4$ вычислим искомый диаметр d . Толщина стенок трубки

$$h = \frac{D - d}{2} = \frac{l}{2n} - \sqrt{\frac{V}{\pi L}}$$

Рекомендации для организаторов. Пластиковую трубку можно взять от комплекта для переливания крови. Длина трубки 30–40 см. Концы трубки следует оплавить (например, на газовой горелке) для того, чтобы было невозможно измерить толщину стенок непосредственно.

Задача 2. «Чёрный» ящик

Конструктивная особенность «чёрного» ящика такова, что батарейку можно подключить только к выводам 1,2 или 3,4. Пусть напряжение на батарейке U_0 .

Подключим батарейку к выводам 1,2 и запишем показания вольтметра, соответствующие его подключению к разным парам выводов «чёрного» ящика:

$$U_{13} = U_0/2, \quad U_{14} = U_0, \quad U_{34} = U_0/2, \quad U_{32} = U_0/2, \quad U_{42} = 0.$$

Такая ситуация возможна, если все выводы соединены между собой проводом или резисторами. Поскольку $U_{42} = 0$, заключаем, что выводы 4 и 2 «закорочены» проводом. Их можно рассматривать как один вывод 2. Рассмотрим получившийся «трёхполюсник». Минимальное число резисторов в таком ящике 3. Их можно соединить «звездой» или «треугольником».

Рассмотрим соединение «звездой» (рис. 5). В силу симметрии схемы в ней $R_1 = R_2$. Поскольку $U_{13} = U_0/2, U_{12} = U_0, U_{32} = U_0/2$, заключаем, что $R_3 = 0$.

Рассмотрим соединение «треугольником» (рис. 6). В силу симметрии схемы в ней $R_{13} = R_{32}$. Поскольку $U_{13} = U_0/2$, $U_{12} = U_0$, $U_{32} = U_0/2$, заключаем, что $R_{12} = \infty$. Но, в таком случае обе схемы эквивалентны.

Для проверки правильности сделанных выводов подключим батарейку к выводам 3,4 и повторим измерения по описанной ранее методике. Получится тот же результат.

Следовательно, в «чёрном» ящике заключены два одинаковых резистора сопротивлением $R = r_{\min} = 1$ кОм (рис. 7).

Рекомендации для организаторов. В качестве «чёрного» ящика желательно взять пластиковую или картонную трубку длиной 15–20 см. Длина каждого провода, выходящих из «чёрного» ящика не должна превышать 5 см. Используйте батарейку типа «Крона», снабжённую короткими (~ 3 см) проводниками. Проводники следует припаять к полюсам батарейки или использовать соединительную колодку.

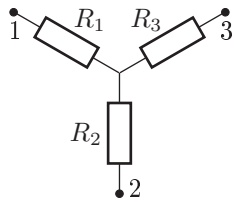


Рис. 5

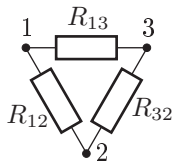


Рис. 6

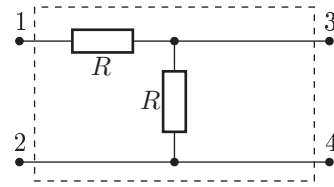


Рис. 7

9 класс

Задача 1. «Чёрный ящик» с омметром

Поскольку омметр при включении показывает бесконечное значение сопротивления, приходим к выводу, что точки 1 и 5 «чёрного ящика» друг с другом не соединены.

Чтобы понять, с какими выводами соединён внутри чёрного ящика вывод 1, проведем измерение сопротивления между точками 1 и 5 в следующих случаях: (а) соединены провода 2 и 5; (б) соединены провода 3 и 5; (в) соединены провода 4 и 5. Убеждаемся, что во всех случаях сопротивление бесконечно; это означает, что точка 1 с другими точками не соединена.

Аналогично, проведем следующую серию измерений сопротивления между точками 1 и 5: (а) соединены провода 1 и 2; (б) соединены провода 1 и 3; (в) соединены провода 1 и 4. Только в случае (в) сопротивление будет отлично от бесконечности; это означает, что точка 5 соединена резистором с точкой 4, а с другими точками соединения нет. Сопротивление этого резистора покажет омметр.

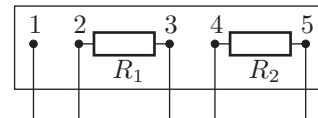


Рис. 8

Чтобы понять, соединены ли точки 2 и 3 друг с другом, соединим провод 2 с проводом 1, а провод 3 — с проводом 5. Омметр покажет значение сопротивления резистора, подключённого к выводам 2 и 3.

Другие способы соединения проводов можно использовать для проверки полученных результатов.

Рекомендации для организаторов. В «чёрный ящик» следует поместить электрическую цепь, изображённую на рисунке 8. В качестве омметра можно использовать цифровой мультиметр. У выводов длина отходящих от них проводов должна быть достаточна, чтобы соединять любые два вывода. Нумерацию выводов на внешней стороне чёрного ящика можно производить в произвольном порядке.

Задача 2. Трение между ручкой и столом

Как известно, механизм шариковой ручки срабатывает так, что «через раз» кнопка выдвигается из корпуса резко, а в следующий раз — слабо. Все описанные ниже измерения проводятся при «резком» выскакивании кнопки.

Прижимаем ручку, расположив её вертикально, кнопкой к столу, расположив рядом с ручкой линейку. Отпуская ручку, измеряем высоту подскока H . Затем измеряем, на какую длину по столу проскользит ручка. Это удобнее делать так: высунуть край линейки на пару см выше уровня стола, прижав её к торцу столешницы. Прижимая конец ручки (утапливая до отказа кнопку) запускаем ручку по столу. Учитываем только те опыты, когда ручка двигалась поступательно. Пусть L — длина скольжения ручки. Поскольку в обоих случаях начальная кинетическая энергия ручки одинакова (поскольку определяется энергией сжатой пружины), можем записать, что:

$$kMgL = Mgh$$

Отсюда находим коэффициент трения:

$$k = H/L$$

Из закона сохранения энергии определим скорость V , которую необходимо задать, чтобы ручка проскользила длину L_0 (50 см):

$$\frac{MV^2}{2} = kMgL_0 \quad V = \sqrt{2kgL_0} = \sqrt{2gHL_0/L}$$

Рекомендации для организаторов. Кнопка на ручке должна быть такой формы, чтобы при отпуске ручка, расположенная вертикально и прижатая кнопкой к столу подпрыгивала вертикально вверх. При покупке ручки нужно проверить её «прыгучесть». Если ручка подскакивает вверх не менее 5 см, то она годится для проведения работы. Линейка — деревянная или пластмассовая, толщиной 1–2 мм, длиной 25–30 см. Коэффициент трения ручки

о поверхность стола должен быть достаточен для того, чтобы ручка, запущенная вдоль стола, как это описано в решении, останавливалась, не падая со стола. В случае необходимости, коэффициент трения следует увеличить, например, покрыв поверхность стола плотной бумагой.

10 класс

Задача 1. «Серый ящик»

Соберём электрическую цепь с «серым ящиком» X , схема которой изображена на рисунке 9. Сначала в качестве R_1 выберем постоянный резистор, в качестве R_2 — переменный; затем поменяем их местами. Меняя сопротивление переменного резистора, можно добиться, чтобы напряжение на «сером ящике» принимало значения во всем интервале от нуля до напряжения батарейки \mathcal{E} . Для каждого значения сопротивления переменного резистора измеряем напряжения U_1 на резисторе R_1 и U_2 на резисторе R_2 ; по формулам

$$U_X = U_1, \quad I_X = \frac{U_2}{R_2} - \frac{U_1}{R_1}$$

находим напряжение на «сером ящике» U_X и силу тока через него I_X . По полученным точкам строим график зависимости I_X от U_X . Измерения проводятся как для прямой, так и для обратной полярности батарейки.

По результатам измерений вольтамперной характеристики убеждаемся, что в одном направлении она является линейной, в другом — нелинейной. Это связано с тем, что в одном направлении диод ток не проводит. По линейному участку вольтамперной характеристики находим значение сопротивления r_2 .

Получим вольтамперную характеристику участка цепи, состоящего из диода, соединённого последовательно с резистором r_1 . Для напряжения на этом участке U' и силы тока через него I' справедливы соотношения:

$$U' = U_X, \quad I' = I_X - \frac{U_X}{r_2}.$$

Используя их, построим график зависимости $I'(U')$.

При напряжениях, больших некоторого критического значения, полученную характеристику можно приближённо считать линейной:

$$I' \approx \frac{U' - U_0}{r_1},$$

где U_0 — напряжение, при котором «открывается» диод. Отсюда можно найти r_1 .

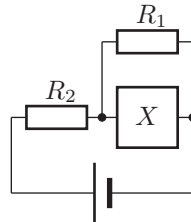


Рис. 9

Для построения вольтамперной характеристики диода выразим силу тока через диод I_D и напряжение на нём U_D через I' и U' :

$$I_D = I', \quad U_D = U' - I'r_1.$$

Отсюда строим график зависимости $I_D(U_D)$.

Рекомендации для организаторов. Сопротивления резисторов r_1 и r_2 , находящихся внутри «серого ящика», а также сопротивление постоянного резистора R следует выбирать порядка нескольких килоом. В качестве источника напряжения можно взять батарейку с ЭДС от 1,5 В до 4,5 В. Диод, открывающийся при напряжениях от 0,3 В до 0,7 В, не должен сгорать при подключении «серого ящика» к батарейке напрямую. Сопротивление потенциометра должно изменяться по крайней мере в пределах от $0,1R$ до R .

Задача 2. Бифилярный подвес

Подвесим тонкий однородный стержень длиной L на нитях длиной L так, чтобы нити были параллельны и симметричны относительно центра масс стержня.

1. Отклоним стержень на малый угол φ от вертикальной плоскости, проходящей через стержень, и отпустим. Период возникших колебаний совпадает с периодом колебаний математического маятника с длиной подвеса L :

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (1)$$

Запишем полученные данные.

2. Повернём стержень на малый угол φ относительно вертикальной линии CC' , и отпустим его. При этом возникнут крутильные колебания. Их период определяется формулой:

$$T_a = 2\pi\sqrt{\frac{1}{3}\left(\frac{L}{a}\right)^2 \frac{L}{g}} = T_M \frac{L}{a} \sqrt{\frac{1}{3}}. \quad (2)$$

Знание формул (1) и (2) участниками олимпиады не предполагается.

3. Исследуем зависимость периода T_a крутильных колебаний от расстояния a между нитями подвеса. Можно заметить, что, например, при уменьшении расстояния a в три раза, период колебаний увеличится втрое.

4. Отсюда можно заключить, что график функции T_a/T_M от L/a линеен. Из графика находится точка, соответствующая отношению $T_a/T_M = 2$, а по ней и расстояние $a_2 = L/\sqrt{12} \approx 0,29L$.

Рекомендации для организаторов. Металлический стержень следует взять длиной 30–40 см и диаметром 4–6 мм.

11 класс

Задача 1. Физический маятник

Для того чтобы во время колебаний стержень не выходил из вертикальной плоскости, проходящей через стержень, закрепим его так, как показано на рисунке 10.

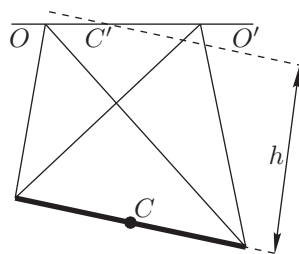


Рис. 10

1. Если отклонить маятник на малый угол φ в этой плоскости и отпустить, возбуждятся колебания с периодом T_{Φ} , совпадающим с периодом колебаний математического маятника с длиной подвеса $l = L^2/(12h) + h$: $T_{\Phi} = 2\pi\sqrt{l/g}$.

Знание этих двух формул участниками олимпиады не предполагается. Расстояние l называется приведённой длиной физического маятника.

Снимем зависимость T_{Φ} от h согласно заданию.

Повторим измерения T_M для математического маятника, длина подвеса которого пробегает ряд значений, указанных в задании.

Построим таблицу зависимости отношения T_{Φ}/T_M от расстояния h и соответствующий график. По графику определим величину h_2 , при которой периоды отличаются в два раза. Аккуратные вычисления дают $h_2 = L/6 \approx 0,17L$.

Рекомендации для организаторов. Металлический стержень следует взять длиной 30–40 см и диаметром 4–6 мм.

Задача 2. С компасом в «чёрный ящик»

При протекании тока по проводнику вокруг него создаётся магнитное поле (рис. 11). Это поле будет влиять на ориентацию стрелки компаса.

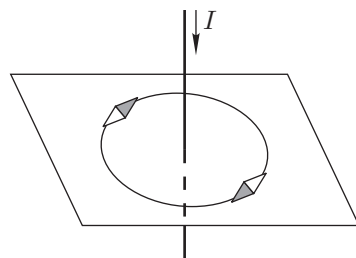


Рис. 11

Будем подключать батарейку к парам выводов чёрного ящика и с помощью компаса фиксировать наличия тока в цепи. Желательно намотать провод вокруг компаса и расположить его так, чтобы обеспечить наибольшую чувствительность к току, протекающему по проводу.

При подключении батарейки к выводам 1,2 стрелка отклоняется от направления «север–юг». Если сменить полярность батарейки, стрелка вновь отклонится от указанного направления. Отсюда можно заключить, что между выводами (1,2) находится участок цепи с омическим сопротивлением.

Если подключить батарейку к выводам (3,4) то при одной полярности стрелка отклоняется, а при другой — нет. Отсюда можно заключить, что между выводами (3,4) включён диод. Его полярность легко согласовать с полярностью батарейки.

На подключение батарейки к выводам (1,3), (1,4), (2,3), (2,4) стрелка компаса не реагирует. Это позволяет сделать заключение, что перечисленные пары выводов не соединены.

Следовательно, схема соединений элементов внутри «чёрного» ящика такая, как на рисунке 12.

Рекомендации для организаторов. Желательно приобрести компас для спортивного ориентирования (у него стрелка погружена в жидкость). Длина проводов, выходящих из «чёрного» ящика должна составлять 30–50 см.

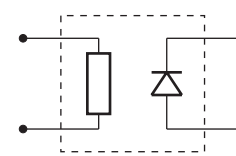


Рис. 12

Летняя физическая школа по-фрязински!

**12 дней в конце каждого июня
на острове на Волге под Дубной**

Немного физики и много игр (интеллектуальных и не очень), конкурсов, испытаний, соревнований (физических и физкультурных), солнца, неба и песен у костра. Подробнее о работе ЛФШ можно прочитать в 6 номере журнала «Потенциал» за 2006 год.

Организатор — заведующий кафедрой информатики, математики и физики гимназии города Фрязино, член жюри заключительного этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике, к.ф.-м.н. Кармазин Сергей Владимирович, при участии преподавателей и аспирантов МФТИ.

*Приглашаем физиков-романтиков после 9 и 10 классов
из Подмосковья и других регионов России.*

www.sergkar.narod.ru

sergkar@fryazino.net