

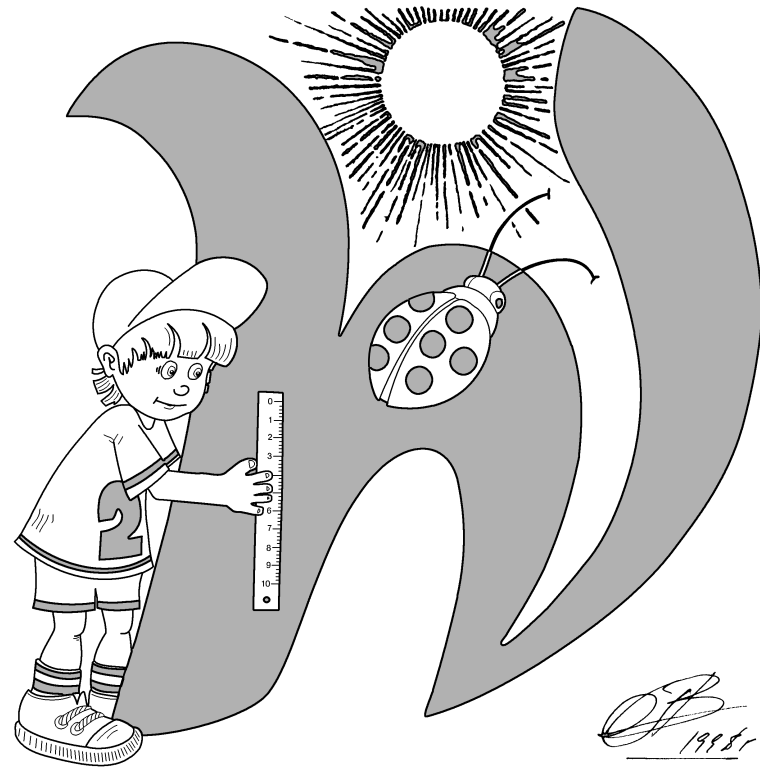
Методическая комиссия по физике  
при центральном оргкомитете  
Всероссийских олимпиад школьников

# XLIII Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2008/2009 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике при центральном оргкомитете Всероссийских олимпиад школьников  
 Телефоны: (495) 408-80-77, 408-86-95.  
 E-mail: [physolymp@gmail.com](mailto:physolymp@gmail.com)

### Авторы задач

#### 7 класс

1. Фольклор
2. Матвеев Х.

#### 8 класс

1. Фольклор
2. Слободянин В.

#### 9 класс

1. Матвеев Х.
2. Тарнопольский Г.

#### 10 класс

1. Варламов С.
2. Кармазин С.

#### 11 класс

1. Киселёв А.
2. Варламов С.

Общая редакция — Слободянин В.

Оформление и вёрстка — Гуцин И., Ерофеев И., Матвеев Х., Сметнёв Д.

При подготовке оригинал-макета использовалась издательская система  $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$ .  
 © Авторский коллектив  
 Подписано в печать 22 ноября 2008 г. в 23:40.

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

может быть весьма большим. Для регулирования периода можно заранее расположить на конце линейки небольшой моток ниток и, передвигая его, добиваться нужного периода.

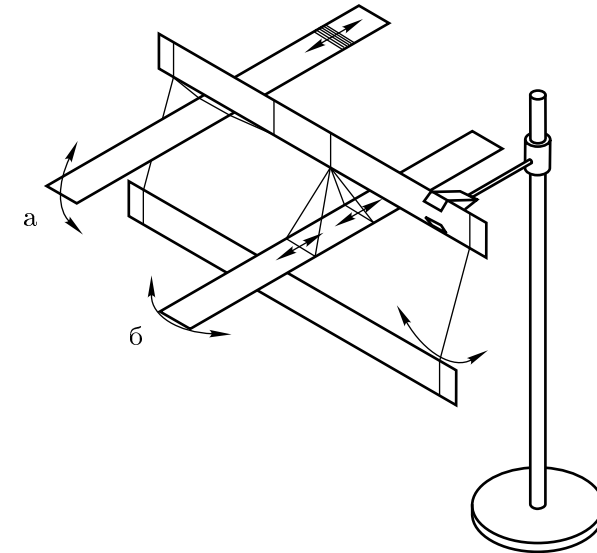


Рис. 7

В случае крутильного маятника можно регулировать период, меняя базу крепления ниток к линейке. Нити можно сделать двойными, тройными и так далее.

При одновременном запуске математического и «длиннопериодного» маятников добьёмся того, что в один период последнего укладывалось 5 периодов математического. В этом случае  $T = 5T_1 = 5$  с.

#### Критерии оценивания

Идея использования математического маятника, как часов.....	5
Подбор удачной длины маятника .....	2
Описание способа создания пятисекундного маятника .....	5
Подбор верного периода $T$ .....	3

**Задача 1. Бюрократия**

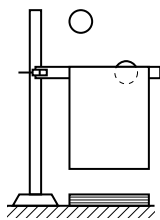


Рис. 5

Положим на стол стеклянную пластинку, а на неё — несколько листов выданной бумаги. Отпуская теннисный шарик с одинаковой высоты без начальной скорости (разумно выбрать высоту 0,5 м), снимем зависимость высоты подскока  $h$  от количества листов  $n$ , положенных на стол в месте удара шарика.

Для более точного измерения высоты подскока закрепим одну линейку в штативе и повесим на неё вертикально лист бумаги — экран (рис. 5). Будем отпускать шарик и наблюдать его подскок из-за экрана. Подберём такую высоту верхнего края экрана, при которой шарик начинает появляться из-за него. Это и будет искомая высота подскока шарика.

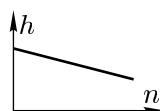


Рис. 6

Построим график измеренной зависимости (примерный вид зависимости высоты подскока  $h$  от количества листов  $n$  показан на рисунке 6). После чего проведём аналогичный эксперимент, подложив вместо бумаги «чёрный ящик». По графику найдём искомое количество листов.

*Примечание.* Если использовать экран, то определить количество листов можно с точностью  $\pm 1$  лист.

*Критерии оценивания*

Идея о получении результата.....	2
Снятие зависимости $h(n)$ .....	3
Построение графика.....	3
Увеличение точности определения высоты подскока (например, экран).....	2
Экстраполяция зависимости.....	2
Получение ответа и погрешности.....	3

**Задача 2. Очень медленный маятник**

Для начала соберём математический маятник. Закрепим одну линейку в лапке, а вторую подвесим снизу на двух нитях одной длины  $l$ . При качании линейка ведёт себя как математический маятник. Следовательно, её период  $T_1 = 2\pi\sqrt{l/g}$ . При длине  $l = 24,9$  см период маятника равен  $T = 1$  с. Этот маятник мы будем использовать как часы.

Для маятников с большими периодами колебаний были предложены две конструкции. На рисунке 7 (положения а и б) показаны способы сборки физического и крутильного маятника (возможны и другие конструкции).

В случае физического маятника линейка обматывается ниткой в области центра масс и подвешивается на растянутых подвесах. При достаточно близком расположении точки подвеса к центру масс линейки период колебаний

**Задача 1. Спичка**

*Задание.* Проведите на миллиметровой бумаге оси  $X$  и  $Y$  вдоль линий сетки. Прodelайте следующую серию опытов. Бросьте спичку с высоты 15–20 см на лист миллиметровой бумаги, приклеенной скотчем к столу. Следите, чтобы, когда вы отпускаете спичку, она находилась в вертикальном положении, а после отскока падала на поверхность листа. Отметьте координаты  $x_1$  и  $x_2$  концов спички. Запишите в таблицу модуль разницы координат  $l = |x_2 - x_1|$ . Назовём эту величину модулем проекции спички на заданное направление.

Повторите этот опыт 30 раз. Аналогичным образом измерьте 30 раз модуль проекции на ось  $Y$ . Полученные результаты также заносите в таблицу.

Расчитайте среднее арифметическое  $\langle l \rangle = (l_1 + l_2 + \dots + l_{60})/60$  всех полученных значений проекции. Измерьте длину спички  $L$  и определите отношение  $\alpha = L/\langle l \rangle$ .

**Оборудование.** Спичка, лист миллиметровой бумаги.

**Рекомендации организаторам.**

Лист миллиметровой бумаги должен быть формата не меньше А4. Для удобства его следует прикрепить к столу (например, скотчем). Головку спички следует заранее удалить.

**Задача 2. Диаметр неправильного тела**

*Задание.* Определите диаметр  $D$  тела неправильной формы и длину  $L$  его перетяжки с наибольшей точностью. Опишите методику измерений.

*Примечание.* Диаметром тела называется наибольшее расстояние между двумя его точками.

Для двух областей плоского тела, выделенных цветом, длиной перетяжки называется минимальное расстояние между точками границы тела, принадлежащими разным областям. Пример приведён на рисунке 1.

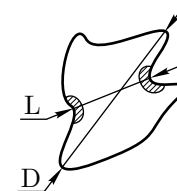


Рис. 1

**Оборудование.** Плоское тело неправильной формы, лист миллиметровой бумаги, линейка, нить.

**Рекомендации организаторам.**

Для изготовления тела неправильной формы можно взять плотный картон или разделитель для блочной тетради. Две выемки нужно выделить цветом.

8 класс

Задача 1. Капель

Задание.

1. Определите объём  $V_0$  одной капли воды из шприца. При капании держите шприц вертикально иглой вниз. Старайтесь, чтобы скорость капания не превышала 1 капли в секунду. Напишите, от чего зависит точность измерений.

2. Повторите опыт с мыльным раствором.

3. Определите коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma_M$  мыльного раствора, если известно, что для воды при комнатной температуре он равен  $\sigma_0 = 72 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

*Примечание.* Капля жидкости удерживается на кончике иглы шприца силой поверхностного натяжения  $F_{п.н.}$ , пропорциональной коэффициенту  $\sigma$ . При увеличении размеров капли наступает момент, когда  $F_{п.н.}$  достигает своего максимального значения, и при дальнейшем увеличении массы капли происходит её отрыв. Поэтому масса капли пропорциональна  $\sigma$ .

**Оборудование.** Инсулиновый шприц, стаканы с водой и мыльным раствором, пустой стакан.

**Рекомендации организаторам.**

Мыльный раствор должен быть достаточно концентрированным, чтобы коэффициенты поверхностного натяжения  $\sigma_0$  и  $\sigma_M$  отличались более, чем в полтора раза. Для приготовления раствора удобно брать стиральный порошок или моющее средство. Используйте одноразовые стаканчики.

Задача 2. Вертушка

Задание.

1. Из листа бумаги и чупа-чупса соберите вертушку, которая бы делала максимальное число оборотов при её падении с фиксированной высоты.

2. Придумайте метод точного измерения числа совершённых вертушкой оборотов и измерьте это число для вашей вертушки при падении с высоты около полутора метров. Результаты предъявите дежурному члену жюри. После этого чупа-чупс может съесть!

*Примечание.* Крепление бумаги к конфете производится следующим образом: в листе ножницами делаются необходимые отверстия. Лист надеваются на пластмассовую ножку конфеты, через отверстие в ножке продевается булавка, которая и удерживает чупа-чупс.

**Оборудование.** Чупа-чупс, 3 листа бумаги формата А4, ножницы, булавка, нить, скотч.

**Рекомендации организаторам.**

В качестве бумаги рекомендуется выдавать ватман. По просьбе участника можно выдавать дополнительные листы бумаги (чтобы не ограничивать число конструкций). В ножке чупа-чупса можно заранее проделать несколько отверстий на разном уровне, чтобы втыкание булавок не вызывало затруднений. Длина нити не должна быть меньше 3 м.

Задача 2. Брусочки

Задача предполагает множество решений. Приведём одно из них. Соберём конструкцию как показано на рисунке 4а. Нить крепится к кнопке, которая втыкается в верхнюю грань бруска. Будем нагружать чашечку до тех пор, пока она не начнёт перевешивать. В этом случае мы получим эффективный рычаг с точкой опоры на краю бруска:

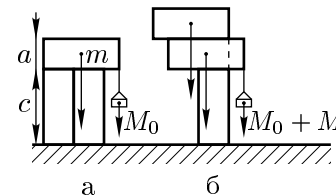


Рис. 4

$$mg(2a - c/2) = M_0g(c - 2a), \tag{1}$$

где  $M_0$  — масса чашечки с грузами.

Переложим брусочек так, как показано на рисунке 4б. Будем добавлять в чашечку грузы до тех пор, пока не нарушится равновесие верхних брусков. Пусть добавленная масса равна  $M$ . Запишем правило моментов для добавленных грузов и переставленного бруска:

$$mgc/2 = Mg(c - 2a). \tag{2}$$

Вычитая из уравнения (2) уравнение (1), получим:

$$mg(c - 2a) = (M - M_0)g(c - 2a), \quad m = M - M_0.$$

Следовательно, вес брусочка составляет  $P = (M - M_0)g$ .

*Примечание.* Чтобы не учитывать неизвестную массу кнопки, её следует втыкать строго над положением центра рычага.

*Критерии оценивания*

Метод определения $m$ .....	5
Избавление от массы кнопки .....	1
Проведение измерений .....	5
Оценка погрешности .....	1
Получение ответа .....	3

**Задача 1. Столкновение монет**

Проведём вдоль листа бумаги линию  $OO'$ . Установим большую и маленькую монетки на одной линии  $OO'$  (рис. 3). Линейку расположим перпендикулярно плоскости стола и  $OO'$ . Отводим её на небольшой угол, отпускаем, и тем самым сообщаем большой монете скорость вдоль  $OO'$ , что необходимо для того, чтобы удар был центральным. Заметим, что сделать это руками (без линейки) практически невозможно (сообщить одной монете щелчком скорость, направленную точно в центр другой).

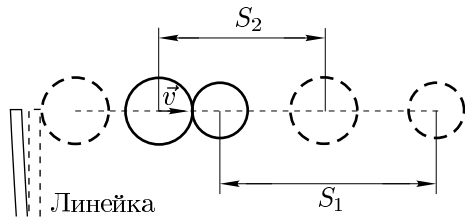


Рис. 3

Получим расчётную формулу для  $\gamma$ . Пусть  $v_1$  и  $v_2$  — скорости большой и маленькой монеток сразу после удара. Тогда имеем:

$$Mv_0 = Mv_2 + mv_1,$$

$$\gamma Mv_0^2 = Mv_2^2 + mv_1^2.$$

Длина пробега монет пропорциональна их кинетической энергии. Учитывая, что  $v_1^2 \sim S_1$  и  $v_2^2 \sim S_2$ , получаем итоговое выражение для  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{1 + \frac{m}{M} \cdot \frac{S_m}{S_M}}{\left(1 + \left(\frac{m}{M}\right)^2 \sqrt{\frac{S_m}{S_M}}\right)^2}.$$

Непосредственно измеряя  $S_1$  и  $S_2$ , можем вычислить  $\gamma$ .

*Критерии оценивания*

Методика решения .....	3
Запуск монеты линейкой .....	2
Теоретическое выражение для $\gamma$ .....	3
Измерения $S_1$ и $S_2$ .....	4
Экспериментальное значение $\gamma$ .....	3

**Задача 1. Зебра**

*Задание.* Предположим, что в некоторой комнате стоит животное: либо зебра, либо лошадь. В комнате есть дверь, сделанная из матового стекла, образец которого выдан вам. При помощи имеющегося оборудования оцените, при каком расстоянии от животного до двери, проходящий по коридору человек сможет точно определить, кто именно находится в комнате. Считайте, что ширина чёрных и белых полос зебры  $d_0 = 6$  см.

*Примечание.* Стекло имеет только одну матовую поверхность. Учтите это при выполнении эксперимента.

Чёткость картинки зависит от освещённости объекта, который вы рассматриваете сквозь матовое стекло. Постарайтесь учесть это при выполнении работы, чтобы в одной серии экспериментов не было измерений при разных уровнях освещённости объектов.

**Оборудование.** Матовое стеклышко (размером  $6 \times 4$  см), штатив, линейка, лист бумаги с рисунками со штриховкой с известным шагом  $d$  от 2 до 7 мм, скотч, ножницы (одни на аудиторию).

**Рекомендации организаторам.**

Файл с рисунками со штриховкой приложен к заданиям экспериментального тура. Ширина полос от рисунка к рисунку меняется в диапазоне от 2 до 7 мм с шагом 0,5 мм. Деления на выдаваемой линейке должны начинаться от края. Аудитория должна быть хорошо и равномерно освещена, и освещение не должно меняться в течение эксперимента.

**Задача 2. Скрытый уровень**

*Задание.* Определите уровень жидкости в коробке, когда шкала вертикальна.

**Оборудование.** Картонный пакет из под сока, частично наполненный водой, с небольшим отверстием на верхней грани и с приклеенной миллиметровой шкалой сбоку, пластиковая гибкая трубка, салфетка.

**Рекомендации организаторам.**

Удобно брать пакеты из под сока объёмом 0,5 л с отверстием под трубочку. Освободите пакет от сока. Промойте его и приблизительно на две трети заполните кипяченой водой. Если объёмы налитой жидкости в разных пакетах разные, пакеты следует пронумеровать. Гибкие трубки удобно брать от наборов для переливания крови, продающихся в аптеках. Длина выдаваемой трубки должна быть не менее удвоенной высоты коробки. В качестве шкалы рекомендуется наклеить на пакет полоску миллиметровой бумаги шириной 1 см и длиной, равной высоте коробки (отверстие для трубочки должно быть обращено вверх).

**Задача 1. Столкновение монет**

*Задание.* Рассмотрите центральный удар пятикопеечной монеты массой  $M = 2,56$  г о однокопеечную массой  $m = 1,46$  г. Необходимо установить, какая доля  $\gamma$  кинетической энергии  $E_0$  налетающей монеты выделяется в виде теплоты при столкновении.

**Оборудование.** Две монеты известной массы, лист бумаги, ластик, карандаш, линейка, скотч, ножницы (одни на аудиторию).

**Рекомендации организаторам.**

Лист бумаги следует скотчем закрепить на рабочем столе. Наиболее удобно использовать прозрачную пластиковую линейку.

**Задача 2. Брусочки**

*Задание.* Определите вес брусочков.

**Оборудование.** Три одинаковых брусочка, кнопка неизвестной массы, нитка, набор грузов и бумажная чашечка с известными массами.

**Рекомендации организаторам.**

Грузы должны иметь массы от одного грамма до 20, а их суммарная масса должна быть не меньше утроенной массы бруска. Например, можно взять набор монет разного достоинства и несколько крупных гаек. Следует указать массы грузов и чашечки для них. Для изготовления брусков рекомендуется взять рейку из мягких пород дерева (например, сосна), чтобы в них хорошо втыкалась кнопка. Размеры бруска должны быть примерно  $6 \times 3 \times 2$  см, а все их углы — прямые, чтобы брусок стоял на столе строго вертикально на любой грани. Лучше взять обычные канцелярские кнопки с треугольными остриями. Бумажную чашечку следует изготовить из плотной бумаги или картона в форме небольшой коробочки. Она должна вмещать все монеты и выдерживать их вес. Стоит предусмотреть отверстия для крепления нити.

**Задача 1. Зебра**

Приклеим скотчем лист со штриховками к столу. Стекло, обращённое матовой поверхностью вниз, закрепим в штативе параллельно плоскости стола. Обозначим через  $l$  расстояние от нижней плоскости стеклышка до плоскости стола (измеряем линейкой).

Для каждого рисунка со штриховкой с расстоянием между штрихами  $d$  будем находить  $l_{\min}$  — минимальную высоту, на которой мы точно не различаем одну полоску от другой, и  $l_{\max}$  — максимальную высоту, на которой мы еще можем отличать полоски штриховки. Тогда будем считать, что характерное расстояние, на котором теряется различие штриховки шириной  $d$ , это  $l = (l_{\max} + l_{\min})/2$ .

Таким образом получим «расстояние различимости»  $l$  для каждого из шагов штриховки  $d$ . Построим график зависимости  $l$  от  $d$ . Точки лягутся на прямую. Посчитаем угловой коэффициент наклона прямой и аналитически рассчитаем  $L_0$ , соответствующее  $d_0$ . Тогда при  $0 < L < L_0$  из коридора можно будет точно определить, кто находится за стеклом, зебра или лошадь.

*Критерии оценивания*

Методика .....	2
Матовая сторона снизу .....	1
Измерения $l$ для всех $d$ .....	2
График $l(d)$ .....	2
Идея экстраполяции .....	1
Ответ для диапазона $L$ .....	2

**Задача 2. Скрытый уровень**

Через отверстие в пакете опустим в воду максимально глубоко один конец пластиковой трубки. Заткнём другой конец пальцем и извлечём большую часть трубки из пакета так, чтобы её другой конец остался в воде. Если опустить наружный конец трубки на разные уровни, то жидкость может течь либо вниз, либо вверх. Можно подобрать такой уровень, при котором вода будет неподвижна. При этом уровень воды в трубке совпадёт с уровнем воды в пакете.

Увеличить точность измерений можно, если водой заполнить всю трубку и наблюдать за мениском на её конце. Если мениск выпуклый, то он находится чуть ниже уровня воды в пакете. Если вогнутый — поднят чуть выше. Таким образом можно получить точность до 0,5 мм.

*Критерии оценивания*

Идея определения уровня сравнением с уровнем в трубке .....	4
Определение уровня .....	4
Идея с мениском для уменьшения погрешности .....	2

к полу. При вращении нити скрутятся, и по числу оборотов нитей можно точно определить число оборотов вертушки.

*Критерии оценивания*

Описание изготовления вертушки .....	3
Идея получения числа оборотов .....	2
Максимальное число оборотов .....	5

**11 класс**

**Задача 1. Бюрократия**

*Задание.* «Чёрный ящик» представляет собой несколько листов бумаги, скреплённых друг с другом, лежащих на стеклянной подложке. Определите количество листов бумаги в «чёрном ящике». Подумайте, как можно увеличить точность вашего эксперимента.

*Примечание.* Запрещается вскрывать «чёрный ящик», откреплять листы «чёрного ящика» друг от друга, рвать или мять их.

**Оборудование.** Штатив с двумя лапками, две линейки, шарик от настольного тенниса, 15 листов бумаги формата А5, «чёрный ящик», стеклянная пластинка.

**Рекомендации организаторам.**

Линейки должны быть длиной 50 см. Бумага офисная 80 г/см<sup>2</sup>. Чтобы получить листы А5, можно резать А4 пополам. «Чёрный ящик» можно изготовить из фоторамки 15 см × 20 см и 8 листов бумаги (конструкция собирается таким образом, чтобы листы располагались поверх стекла фоторамки). Стеклянная пластинка должна быть аналогична той, что в «чёрном ящике». Листы должны прилегать друг к другу плотно, но не быть деформированными.

**Задача 2. Очень медленный маятник**

*Задание.* Из предоставленного вам оборудования изготовьте маятник, период колебания которого будет равен  $T = 5$  с, и предъявите его жюри.

*Примечание.* Возможны различные виды маятников, в частности, можно изготовить физические или крутильные маятники. Пользоваться какими-либо часами или секундомерами запрещается.

**Оборудование.** Штатив с лапкой, катушка ниток, три линейки.

**Рекомендации организаторам.**

Нити должны легко рваться руками, в противном случае нужно выдать ножницы.

## Возможные решения 7 класс

### Задача 1. Спичка

При достаточно большом количестве проведенных измерений искомое соотношение  $\alpha$  будет стремиться к  $\pi/2 \approx 1,57$ . При  $N = 60$  ошибка не должна превышать 10%.

#### Критерии оценивания

Получение 60 измерений .....	3
Таблица результатов .....	2
Измерение длины спички .....	1
Определение $L/\langle l \rangle$ .....	4

### Задача 2. Диаметр неправильного тела

Совместим край линейки с одной из линий миллиметровой бумаги и прижмём её к столу. Будем катить тело по линейке, наблюдая за наиболее удалённым от неё краем. В тот момент, когда противоположный край перестанет удаляться от линейки, отметим карандашом на бумаге точку, соответствующую его положению (это достаточно просто подметить, так как противоположный конец тела сначала пересекает линии миллиметровой бумаги, параллельные линейке, а потом перестаёт). Это положение соответствует локальному максимуму. После того, как тело сделает полный оборот, из отмеченных точек выберем ту, расстояние которой до линейки наибольшее.

Для определения длины перетяжки натянем через выделенные цветом области нить. Слегка смещая нить и натягивая её, можно подобрать положение, где длина её будет наименьшей — это и будет длиной перетяжки.

При аккуратном выполнении эксперимента возможно определение искомых величин с точностью 1 мм.

#### Критерии оценивания

Идея получения максимального диаметра .....	2
Снятие точек .....	1
Учёт возможных локальных максимумов .....	1
Ответ для диаметра .....	2
Идея получения длины перетяжки .....	2
Снятие точек .....	1
Ответ для длины перетяжки .....	1

## 8 класс

### Задача 1. Капель

1. Наберём в шприц объём  $V = 1$  мл воды и измерим, сколько капель  $N$  вытечет из иглы при полном медленном перемещении поршня. Искомый объём одной капли  $V_0 = V/N$ .

2. Аналогичным образом найдём объём  $V_M$  капли мыльного раствора.

3. Масса капли равна произведению её объёма на плотность жидкости. Плотности мыльного раствора и воды практически одинаковы, поэтому отношение масс капель воды и раствора равно отношению их объёмов. В применении было показано, что масса капли пропорциональна коэффициенту поверхностного натяжения. Сравнив массы капель воды и мыльного раствора, получим соотношение

$$\frac{\sigma_M}{\sigma_0} = \frac{m_M}{m_0} = \frac{V_M}{V_0}.$$

Из него следует, что искомое значение  $\sigma_M = (V_M/V_0)\sigma_0$ .

#### Критерии оценивания

Определение объёма капли воды .....	3
Определение объёма капли мыльного раствора .....	3
Идея получения $\sigma_M$ .....	2
Ответ .....	2

### Задача 2. Вертушка

Приведём выкройку наиболее удачной по мнению жюри вертушки (рис. 2). Сначала отрезается часть листа, чтобы получить квадрат. Потом производятся разрезы, как показано на рисунке, и прорезаются отверстия для ножки чупа-чупса. Вырезание заштрихованных областей увеличивает эффективность закручивания. Сборка производится следующим образом: сначала на ножку чупа-чупса по очереди надеваются углы вертушки, потом — центр листа. В ножку вставляется булавка, чтобы зафиксировать конструкцию. Закручивание происходит тем эффективнее, чем более «раскрыты» лопасти вертушки, то есть чем больше расстояние от конфеты до булавки.

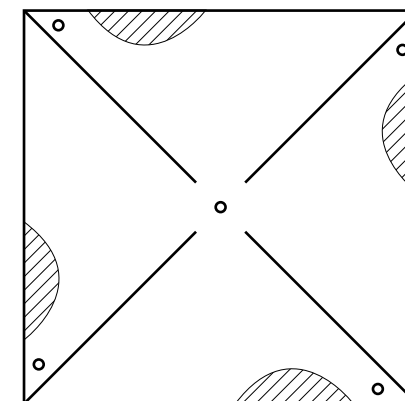
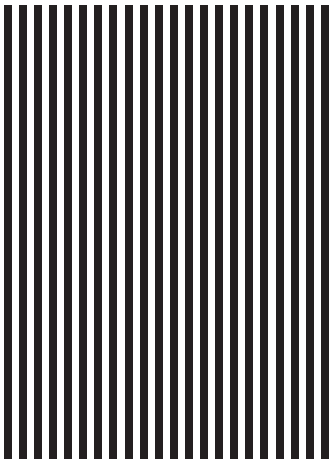


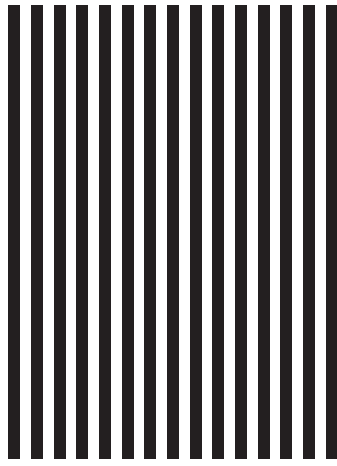
Рис. 2

Для измерения числа оборотов можно скотчем закрепить две нити на диаметрально противоположных точках конфеты, а их нижние концы приклеить

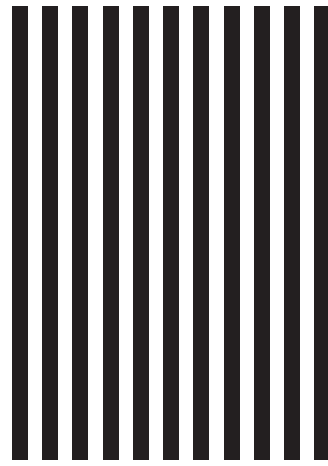




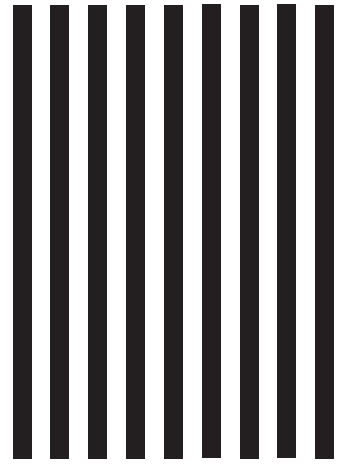
$d = 1,0 \text{ MM}$



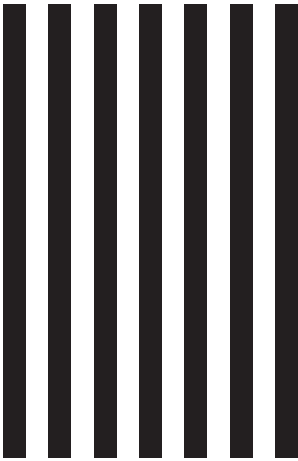
$d = 1,5 \text{ MM}$



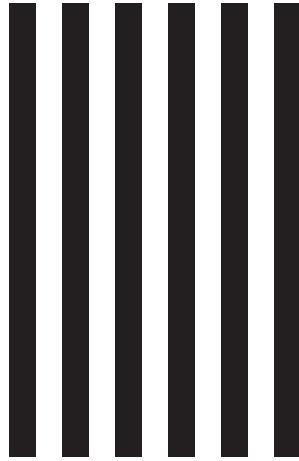
$d = 2,0 \text{ MM}$



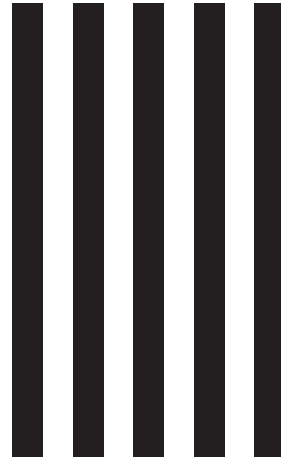
$d = 2,5 \text{ MM}$



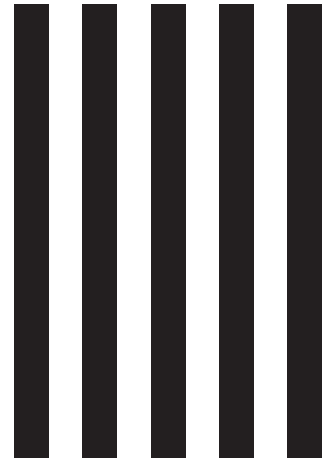
$d = 3,0 \text{ MM}$



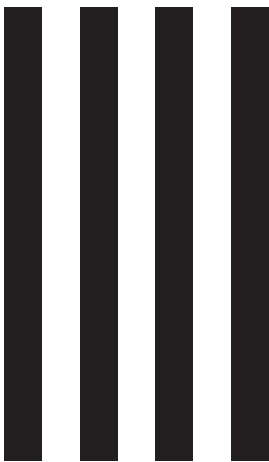
$d = 3,5 \text{ MM}$



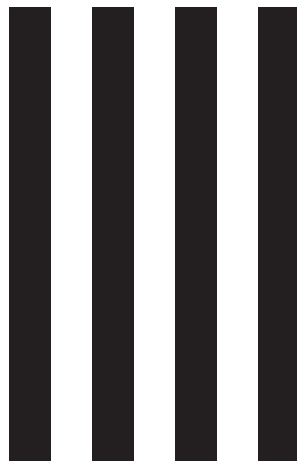
$d = 4,0 \text{ MM}$



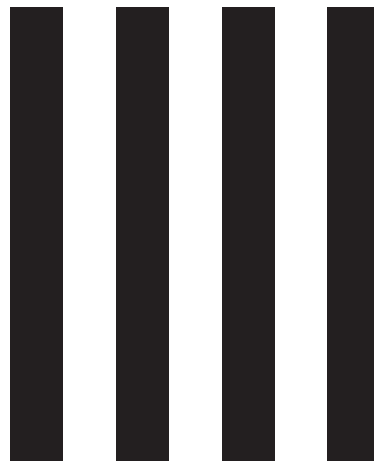
$d = 4,5 \text{ MM}$



$d = 5,0 \text{ MM}$



$d = 6,5 \text{ MM}$



$d = 7,0 \text{ MM}$