

*Handwritten signature*

**F-2002 exp.**

**XXXVI Всероссийская олимпиада школьников  
по физике**

**Заключительный этап**



**ВОЛГОГРАД 2002**

XXXVI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Заключительный этап

Экспериментальный тур

Задачи составили

9 класс

ВГПУ

1. Сыродоев Г.
2. Попов К.

10 класс

ВГТУ

1. Порхун В.
2. Должиков Ю.  
Порхун В.

11 класс

ВОЛГУ

1. Коваленко И.,  
Храмов В.
2. Яцышен В.,  
Коваленко И.

Условия

9 класс

Задача 1. «Черный» сосуд

В «черный» сосуд с водой на нити опущено тело. Найти плотность тела, высоту тела, уровень воды в сосуде с погруженным телом, уровень воды в сосуде, когда тело находится вне жидкости.

Оборудование: «Черный» сосуд, динамометр, миллиметровая бумага, линейка. Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Глубина сосуда  $H = 32 \text{ см}$ .

Задача 2. Трение

Определить коэффициент трения скольжения деревянной и пластмассовой линеек о поверхность стола.

Оборудование: штатив с лапкой, отвес, деревянная линейка, пластмассовая линейка, стол.

10 класс

Задача 1. Сферическая колба

Определить показатель преломления неизвестной жидкости внутри сферической колбы, положение фокуса относительно поверхности колбы, радиус кривизны колбы.

Оборудование: Сферическая колба с жидкостью, лазер, миллиметровая бумага, штатив.

Задача 2. Вес груза

Определить вес груза.

Примечание: Во время проведения работы запрещается передвигать динамометр.

Оборудование: Динамометр с заклеенной верхней частью шкалы, груз.

11 класс

Задача 1. CD-ROM

Определить линейные размеры участка поверхности компакт-диска, приходящиеся на 1 бит информации.

Оборудование. Матрица CD-R, полупроводниковый лазер (лазерная указка), штатив, экран, линейка, карандаш.

Информация для организаторов. Дифракционная картина наблюдается равным образом и на матрице CD-R и на CD-ROM с записанной информацией. По данным пробных измерений  $d \sim 1.6 \text{ мкм}$ ,  $x \sim 2 \text{ мкм}$ .

Задача 2. Показатель преломления

Определить показатель преломления  $n$  жидкости.

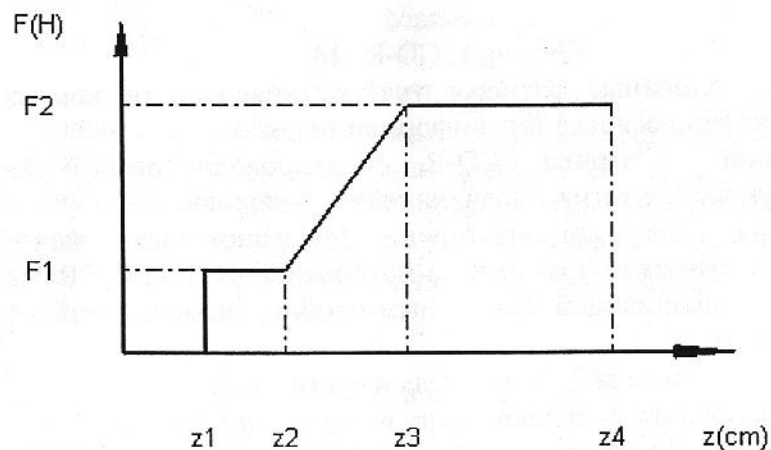
Оборудование. Цилиндрический прозрачный сосуд с небольшим отверстием в боковой стенке, причем сверху сосуд открыт, а стенки сосуда заклеены темной бумагой, кроме вертикальной щели, расположенной диаметрально к отверстию, непрозрачная кювета с неизвестной жидкостью, полупроводниковый лазер (лазерная указка), штатив, линейка, миллиметровка, липкая лента, карандаш, прищепка.

Возможные решения

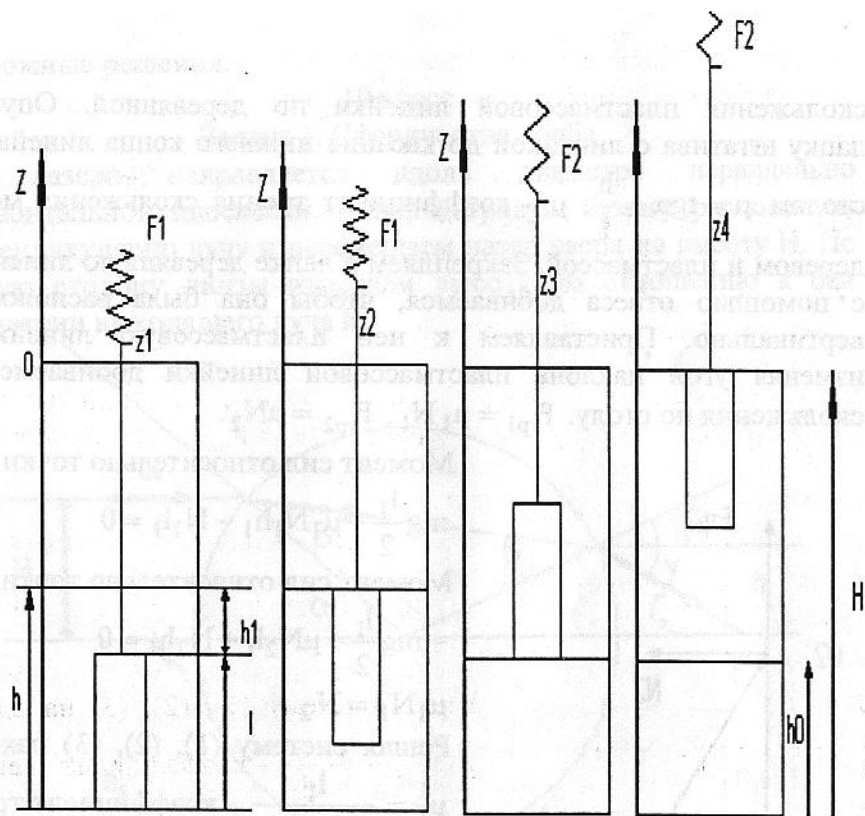
9 класс

Задача 1. «Черный» сосуд

Прикрепим верхний конец нити к динамометру и медленно поднимаем тело из воды (высота тела ~ 10 см). Построим график зависимости силы, измеренной динамометром, от координаты  $z$  верхнего конца нити. Координату  $z$  отсчитываем от крышки «черного» сосуда. При  $z = z_1$  произойдет отрыв тела от дна сосуда, от  $z_1$  до  $z_2$  тело поднимается в воде и сила  $F_1$  не меняется. Затем тело выходит из воды (при этом уровень воды в сосуде понижается). От  $z_3$  до  $z_4$  (поднимаем тело до верхней крышки сосуда), тело поднимается в воздухе и сила  $F_2$  не изменяется



$$F_1 = \rho_{\text{т}} g V - \rho g V, F_2 = \rho_{\text{т}} g V \Rightarrow \rho_{\text{т}} = \rho \frac{F_2}{F_2 - F_1}$$



$h_0 = z_3 - z_1$  - уровень воды в сосуде, когда тело поднято из жидкости

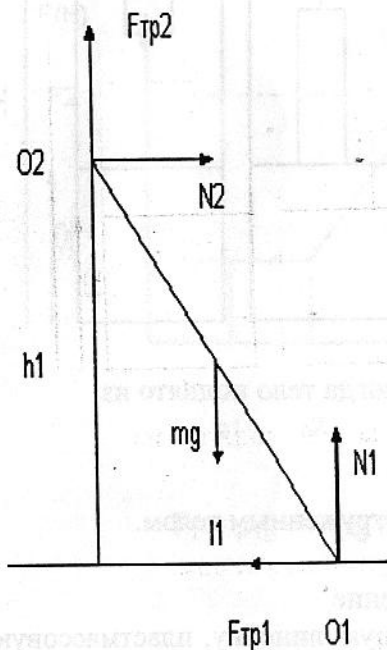
$$h_1 = z_2 - z_1, l = H - (z_4 - z_1),$$

$h = l + h_1$  - уровень воды в сосуде с погруженным телом.

Задача 2. Трение

Закрепляем в лапке штатива деревянную линейку, пластмассовую линейку кладем на деревянную. Изменяя угол наклона добиваемся

скольжения пластмассовой линейки по деревянной. Опустим лапку штатива с линейкой до касания нижнего конца линейки со столом  $\mu = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l}$ ,  $\mu$  - коэффициент трения скольжения между деревом и пластмассой. Закрепляем в лапке деревянную линейку и с помощью отвеса добиваемся, чтобы она была расположена вертикально. Приставляем к ней пластмассовую линейку и изменяя угол наклона пластмассовой линейки добиваемся ее скольжения по столу.  $F_{\text{тр}1} = \mu_1 N_1$ ,  $F_{\text{тр}2} = \mu N_2$ .



Момент сил относительно точки  $O_2$ :

$$mg \frac{l_1}{2} + \mu_1 N_1 h_1 - N_1 l_1 = 0 \quad (1)$$

Момент сил относительно точки  $O_1$ :

$$-mg \frac{l_1}{2} + \mu N_2 l_1 + N_2 h_1 = 0 \quad (2)$$

$$\mu_1 N_1 = N_2 \quad (3)$$

Решая систему (1), (2), (3) находим

$$\mu_1 = \frac{l_1}{2h_1 + \mu l_1} - \text{коэффициент трения}$$

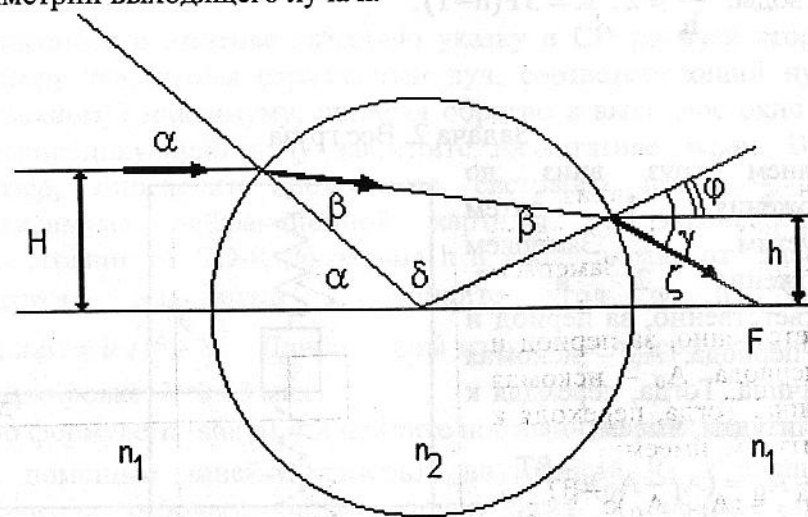
скольжения пластмассовой линейки о поверхность стола. Меняя местами линейки рассчитаем коэффициент трения скольжения деревянной линейки о поверхность стола.

Возможные решения.

10 класс

### Задача 1. Сферическая колба

Луч лазера направляется вдоль диаметра параллельно горизонтальной плоскости. Миллиметровую бумагу располагаем перпендикулярно лучу и перемещаем лазер вверх на высоту  $H$ . По другую сторону линзы измеряем высоту по отношению к оси симметрии выходящего луча  $h$ .



Для параксиальных лучей  $\sin \alpha = \alpha = \frac{H}{R}$ ,  $\sin \varphi = \frac{h}{R} = \varphi$

$$\varphi = \pi - (\alpha + \delta) = 2\beta - \alpha$$

$$\beta = \frac{H+h}{2R}; \quad n_2 = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{H}{R} \frac{2R}{H+h} = \frac{2H}{H+h}. \quad \text{Для воды } \frac{H}{h} \approx 2; \quad n_2 \approx 1.33.$$

Для нахождения  $F$  расположим бумагу по оптической оси со стороны выхода луча из сосуда. Отмечаем точку  $F$ . Для нахождения кривизны:

$$\operatorname{tg} \zeta = \frac{h}{F}; F = \frac{h}{\zeta} = \frac{h}{\gamma - \varphi} = \frac{h}{n\beta - 2\beta + \alpha} = \frac{h}{2\beta(n-1)} = \frac{hR}{(H+h)(n-1)};$$

$$R = \frac{F(H+h)(n-1)}{h} = F \left( \frac{H}{h} + 1 \right) (n-1).$$

Для воды:  $\frac{H}{h} \approx 2$ ;  $R = 3F(n-1)$ .

### Задача 2. Вес груза

Оттянем груз вниз до положения 1, затем отпустим. Замеряем положения 2 и 3, соответственно, за период и два периода.  $A_0$  – искомая величина. Тогда, переходя к амплитудам, имеем:

$$A_2 - A_0 = (A_1 - A_0)e^{-\beta T};$$

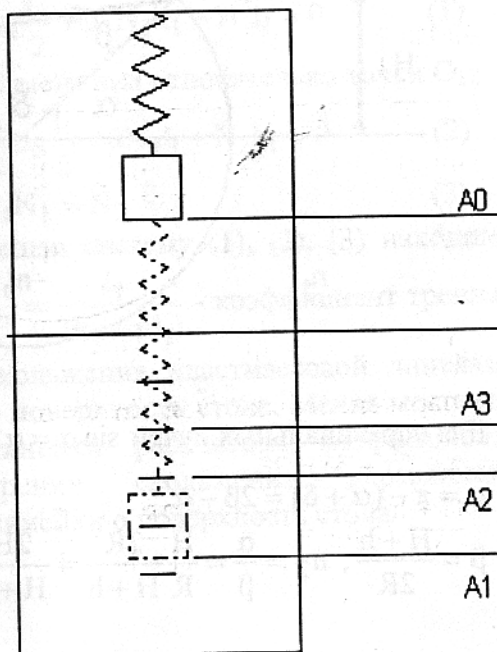
$$A_3 - A_0 = (A_2 - A_0)e^{-\beta T}.$$

Отсюда:

$$\frac{A_2 - A_0}{A_3 - A_0} = \frac{A_1 - A_0}{A_2 - A_0}. \text{ Решаем}$$

относительно  $A_0$ :

$$A_0 = \frac{A_1 A_3 - A_2^2}{A_1 + A_3 - 2A_2}.$$



### Возможные решения

11 класс

### Задача 1. CD-ROM

Информация на CD-R записывается путем нанесения микроскопических углублений, т.н. "питов", вдоль длинной спиральной дорожки ширины  $d$  и считывается лазерным лучом. Величину  $d$  можно найти, рассматривая CD-дорожку в качестве дифракционной решетки.

Закрепите в штативе лазерную указку и CD рабочей стороной к лазеру так, чтобы отраженный луч, соответствующий нулевому (главному) максимуму, попадал обратно в выходное окно лазера. Перпендикулярно лучу закрепите на штативе экран. Включив лазер, определите положение светового пятна – первого максимума дифракционной картины на экране. Измерив расстояние от CD-R до экрана  $h$  и вдоль экрана от главного до первого максимума  $l$ , найдите угол  $\varphi$  из формулы  $\sin(\varphi) = l/\sqrt{l^2 + h^2}$ . Длина волны излучения лазера указана на его маркировке:  $\lambda = 0.65$  мкм.

По формуле  $d \cdot \sin(\varphi) = \lambda$  найдите постоянную решетки  $d$ .

С помощью линейки измерьте внутренний  $R_1$  и внешний  $R_2$  радиусы рабочего поля компакт-диска и найдите площадь рабочего поля. Допустимый максимальный объем информации на CD-R указан на его лицевой стороне. Типичные значения равны 650 или 700 МБ. Поделив  $S$  на  $d$  и на  $8 \cdot 650 \cdot 1024^2$  (или, соответственно, на  $8 \cdot 700 \cdot 1024^2$ , найдите длину участка дорожки  $x$ , приходящуюся на 1 бит.

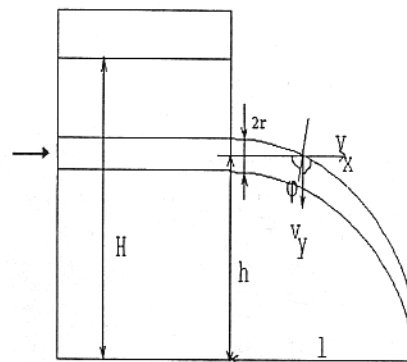
## Задача 2. Показатель преломления

Примечание для организаторов. В качестве сосуда удобно использовать пустую двухлитровую бутылку из-под Кока-колы с вырезанным горлышком, в которой на некоторой высоте  $h_0$  над уровнем дна проделано шилом отверстие диаметром 6-7 мм. Стенки бутылки заклеиваются непроницаемой бумагой для того, чтобы исключить возможность определения показателя преломления через систему параксиальных лучей. Чашка должна быть по тем же причинам непрозрачной и достаточно глубокой, ее объем – не менее 2 л. Объем жидкости должен составлять  $\approx 1-1.5$  л. В качестве жидкости желательно использовать вязкую жидкость с большим коэффициентом поверхностного натяжения.

Метод определения показателя преломления жидкости основан на использовании эффекта полного внутреннего отражения света.

На высоте  $h_0$  на штативе закрепляется лазер таким образом, чтобы его луч, проходя через стенки и содержимое сосуда, мог проникать изнутри в отверстие и захватываться вытекающей из сосуда струей как световодом (см.рис.). Когда угол падения луча света на изогнутую поверхность  $\varphi$ , т.е. угол между лучом и нормалью к поверхности, станет меньше  $\varphi_c = \arcsin(1/n)$ , луч выйдет из плена.

Из рисунка следует, что  $\sin(\varphi_c) = v_x / \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ , где  $v_x$  и  $v_y$  – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие скорости струи в точке падения луча. Подстановка  $v_y = \sqrt{2gr}$ , где  $g$  – ускорение свободного падения,  $r$  – радиус струи примерно равный радиусу отверстия, и  $v_x = \sqrt{gl^2/(2h)}$ , где  $l$  – длина, а  $h$  – высота участка вытекающей из отверстия струи, дает окончательно



$$n = 1/\sin(\varphi_c) = \sqrt{1 + 4 \frac{rh}{l^2}}.$$

Неизвестные величины  $r$ ,  $h$ ,  $l$  определяются следующим образом.

1. С помощью линейки измеряется диаметр отверстия  $D=2r$ .
2. Вертикально рядом с отверстием к стенке сосуда с помощью липкой ленты приклеивается миллиметровка.
3. В сосуд наливается из кюветы жидкость, отверстие при этом должно быть закрыто, например, с помощью липкой ленты. С помощью прищепки лазер фиксируется во включенном состоянии. Отверстие открывается, и жидкость вытекает в предварительно подставленную под отверстие кювету (характерное полное время истечения жидкости составляет от десятка секунд до одной минуты). Линейка приставляется горизонтально к стенке сосуда ниже отверстия на расстоянии  $h$  от него так, чтобы струя жидкости почти касалась края линейки, и с помощью линейки отслеживается точка пересечения струи с плоскостью линейки. В тот момент, когда свет начинает покидать световод, на линейке появляется яркий ореол, отвечающая этому моменту времени длина  $l$  измеряется.