# Республиканская физическая олимпиада 2022 года
## (Заключительный этап)

## Экспериментальный тур

# *Решения задач*
# *10 класс*
## *(для жюри)*

Уважаемые члены жюри!

Задачи, предложенные школьникам для решения на олимпиаде, не стандартные и достаточно сложные. Предложенные здесь варианты путей решений не являются единственно возможными. Участники олимпиады могут предложить свои способы решения. Если эти способы приводят к правильным ответам и физически обоснованы, то задача (или ее отдельные пункты) должны оцениваться максимальными баллами.

Не забывайте, что Вы должны оценивать не только конечные ответы, но и отдельные правильные шаги в ходе решения!


***Не жалейте баллов (если, конечно, есть за что!) для наших замечательных школьников!***

# Задание 10-1. Крутильные весы Кулона.

## Часть 1. Градуировка крутильных весов

**1.1** При повороте коромысла весов на малый угол $\varphi$ нити подвеса отклоняются от вертикали на угол $\alpha$, который определяется геометрическим соотношением

$$l\alpha = r\varphi \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{r}{l}\varphi . \qquad (1)$$

При малом угле отклонения нитей от вертикали сумма сил натяжения нити равна силе тяжести коромысла с шариками (учитывая, что косинус малого угла равен 1):

$$2N = mg \qquad (2)$$

Следовательно, проекция этих сил на горизонтальную плоскость равна $2N\alpha = mg\alpha$. Наконец, момент этих сил равен

$$M = 2Nr\alpha = \frac{mgr}{l}\varphi . \qquad (3)$$

**1.2** В состоянии равновесия момент сил притяжения уравновешивается моментом сил натяжения нитей. Из формулы (3) следует, что последний пропорционален углу закручивания, поэтому и угол закручивания пропорционален действующим силам притяжения.

**1.3** Момент сил притяжения равен

$$M_1 = 2F_0R . \qquad (4)$$

Приравнивая найденные моменты сил, получим

$$\frac{mgr^2}{l}\varphi = 2F_0R \quad \Rightarrow \quad F_0 = \frac{mgr^2}{2lR}\varphi . \qquad (5)$$

Следовательно, коэффициент в формуле (1) условия описывается формулой

$$K = \frac{mgr^2}{2lR} . \qquad (6)$$

**1.4** Пробный эксперимент показывает, что расстояние между нитями должно быть примерно равно 2 см, или

$$r \approx 1 см . \qquad (7)$$

**1.5** Измерения зависимости периода колебаний от расстояния между нитями требуют терпения и занимают достаточно много времени, так как период колебаний составляет несколько секунд (и зависит от длины нитей). Методика проведения таких экспериментов традиционная: измеряется время нескольких (не менее 5) колебаний, после чего рассчитывается период этих колебаний. Для получения зависимости $T(r)$ необходимо провести измерения не менее, чем для 5 значений расстояния между нитями.

**1.6** Эксперимент подтверждает теоретические построения, из которых следует, что период малых колебаний обратно пропорционален расстоянию между нитями

$$T = \frac{C}{r} . \qquad (8)$$

**1.7** Измерение периодов колебаний при больших углах закручивания показывают, что период этих колебаний незначительно (примерно на 10%) возрастает при возрастании угла закручивания до $90°$.

**Часть 2. Электростатические взаимодействия.**

**2.1** Измерения показывают, что сила притяжения при расстоянии между шариками и пластиками порядка 1 см составляет десятые доли ньютона и быстро убывает при увеличении расстояния.

**2.2** Обработка результатов измерений показывает, что закон Кулона (закон обратных квадратов) не выполняется даже приблизительно. Это связано с тем, что в данном эксперименте измеряется сила взаимодействия заряженной пластинки с незаряженным шариком, на котором пластинка индуцирует электрические заряды, поэтому сила взаимодействия убывает в степенной зависимости

$$F = \frac{C}{r^n}. \tag{9}$$

где $n > 2$. Сделать более точные выводы данная установка не позволяет.

## Задание 10-2. Очень медленное движение.

**Часть 1. Масляный пузырек.**

**1.1** Времена всплытия масляных пузырьков составляют несколько минут. Для доказательства равномерности движения необходимо экспериментально измерить закон движения пузырька: зависимость координаты от времени. Для этого следует использовать секундомер с памятью этапов: заранее отметить 10 точек на линейке и засечь времена прохождения пузырька через эти отметки.

График экспериментальной зависимости весьма близок к прямой, что и доказывает равномерность движения пузырька.

Наиболее точным методом расчета скорости является метод наименьших квадратов, коэффициент наклона зависимости $x(t)$ равен средней скорости движения.

**1.2** Для получения зависимости скорости пузырька от его радиуса измерения необходимо провести не менее, чем для 10 различных пузырьков. График зависимости скорости пузырька от его радиуса является параболой, что можно доказать и линеаризацией $v(r^2)$. При равномерном движении разность силы Архимеда и силы тяжести уравновешивается силой сопротивления, поэтому в стационарном режиме справедливо следующее уравнение

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_0 - \rho)g = Cr^\gamma v, \tag{1}$$

Из которого следует, что

$$v = \frac{4}{3C}\pi r^{3-\gamma}(\rho_0 - \rho)g, \tag{2}$$

где $\rho_0$ - плотность мыла, $\rho$ - плотность масла.

Так как в эксперименте оказалось, что скорость пропорциональна квадрату скорости, то из этого следует, что показатель степени равен

$$\gamma = 1. \tag{3}$$

**Часть 2. Воздушный пузырек.**

**2.1-2.2** Результаты измерений времен всплытия воздушных пузырьков аналогичны результатам исследования подъема масляных пузырьков, только характерные времена всплытия примерно в 5 раз меньше. Движение воздушных пузырьков также является равномерным.

**Часть 3. Сравнение.**

**3.1** Для скорости установившегося движения воздушного пузырька справедлива формула. аналогичная формуле (2), в которой можно пренебречь плотностью воздуха:

$$v_1 = \frac{4}{3C}\pi r^{3-\gamma}\rho_0 g\,, \tag{4}$$

Отношение скоростей двух пузырьков одинакового радиуса зависит от плотностей следующим образом:

$$\frac{v}{v_1} = \frac{(\rho_0 - \rho)}{\rho_0}\,, \tag{5}$$

Из этой формулы следует, что

$$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \frac{v}{v_1}\,, \tag{6}$$

Конечно, более предпочтительным является расчет по коэффициентам наклона зависимостей $v(r^2)$.