

**Задание 8.2. Баба сеяла горох (II) (Воробьев И.).** В прозрачном цилиндрическом мерном стакане находятся зёрна гороха, залитые водой. Исследуйте зависимость высоты  $H$  уровня воды в сосуде от высоты  $h$  слоя залитого водой гороха и постройте график полученной зависимости. Выведите формулы, связывающие измеренные вами величины между собой. С помощью графика и полученных формул определите долю объёма  $\alpha$ , занимаемую непосредственно горошинами в заполненном горохом объёме, объём  $V_{\text{в}}$  воды, находящейся в стакане, а также число  $N$  горошин, первоначально находившихся в стакане.

**Примечание 1.** Перед началом эксперимента тщательно продумайте последовательность его выполнения, ибо ваши действия могут оказаться необратимыми.

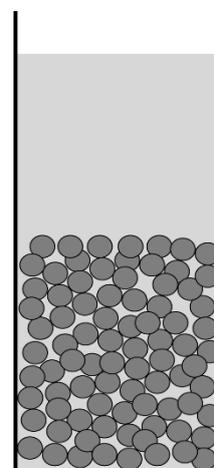
**2) Выливать воду и вынимать горох из стакана запрещается!**

**Оборудование:** мерный стакан с горохом, залитым водой; пакет с сухим горохом; линейка с миллиметровыми делениями; два листа миллиметровой бумаги для построения графиков.

**Указания организаторам.** В работе можно использовать любой цилиндрический прозрачный сосуд, но чем больше будет его диаметр, тем больше гороха понадобится для выполнения работы. Оптимальным является использование стандартного мерного стакана объёмом 100 мл, который может быть как пластиковым, так и стеклянным. Исходно сосуд заполняется горохом примерно на 20-25% высоты, и при этом чётко фиксируется количество горошин, первоначально засыпаемых в сосуд (это количество должно быть известно членам жюри). Примерно вдвое большее количество должно остаться в пакете. Воду в сосуд с горохом наливают непосредственно перед началом тура (за 5-10 минут до запуска в аудиторию участников олимпиады). У всех участников должен быть одинаковый объём воды, равный 30-40% объёма сосуда.

**Возможное решение.** Для начала выждем некоторое время с момента начала тура и последуем за тем, как изменяется высота уровня воды и высота слоя, занятого горохом. Можно убедиться, что, не смотря на разбухание гороха, уровень воды не изменяется, это означает что суммарный объём гороха и воды не изменяется в процессе разбухания.

Дождёмся, когда горох перестанет расширяться и только тогда измерим начальную толщину слоя гороха. Будем досыпать горох в сосуд небольшими порциями, считая число горошин в каждой порции, и проводить измерения. Чтобы зёрна гороха распределялись равномерно, рекомендуется потряхивать сосуд. Измерения будем выполнять быстро, чтобы досыпаемый горох не успел значительно расширяться.



Пусть высота слоя залитого водой гороха  $h$ , а высота уровня воды в сосуде  $H$  (измеренная от основания сосуда). Объём полного содержимого сосуда  $V_0$  складывается из объёма  $V_в$  воды в нём и объёма зёрен гороха. Обозначим площадь сечения сосуда  $S$ , а долю объёма, занимаемую непосредственно горошинами в заполненном горохом объёме,  $\alpha$  (коэффициент заполнения).

$$V_0 = HS = V_в + \alpha hS, \quad \text{или} \quad H = V_в/S + \alpha h.$$

Видно, что  $H$  линейно зависит от  $h$ . На графике зависимости  $H(h)$   $\alpha$  является угловым коэффициентом, а величина  $V_в/S$  определяется точкой пересечения графика с вертикальной осью. Измерим диаметр сосуда  $D$ , вычислим площадь его сечения

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \text{ и определим искомую величину } V_в.$$

Следует заметить, что если эксперимент проводится в мерном стакане с делениями, то нет необходимости измерять площадь сечения стакана. Достаточно досыпать горох в стакан до такого уровня, при котором уровень гороха сравнивается с уровнем воды  $H_1 = h_1$ . Зная коэффициент заполнения объёма  $\alpha$  и объём  $V_1$ , соответствующий уровню  $H_1$ , вычисляем объём воды в стакане:  $V_в = (1 - \alpha) V_1$ .

**LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике**  
**Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.**

Ниже представлены результаты измерений, выполненных с горохом в стандартном мерном стакане объёмом 100 мл, а также график зависимости  $H(h)$  и полученные значения искомых величин.

$$D = 27,5 \text{ мм}, S = 5,94 \text{ см}^2; \alpha = 0,55; V_B/S = 5,2 \text{ см}; V_B = 30,9 \text{ мл}.$$

(Перед проведением контрольного эксперимента в сосуд было налито  $V_{B0} = 30$  мл воды).

Для определения количества горошин, изначально находившихся в сосуде, дождемся, когда досыпанный горох тоже полностью разбухнет и затем измерим объем, занятый досыпанным разбухшим горохом. Отношение числа досыпанных горошин к числу находившихся в сосуде равно отношению объема, который занимал разбухший изначально засыпанный горох к объему разбухшего досыпанного гороха.

№	$h$ , мм	$H$ , мм
1	33	70
2	50	80
3	68	90
4	86	99
5	105	108

**Комментарии:**

1. Так как горох условно сферический, то при его набухании коэффициент  $\alpha$  не изменяется (картинка меняется пропорционально).
2. На самом деле в нижней части мензурки горох блокируется верхними слоями гороха и не может расширяться, из-за этого коэффициент  $\alpha$  в нижней части возрастает, но если он заперт, то занятый им объем не изменяется, а значит количество горошин в запертой части можно посчитать как произведение  $\alpha$  (найденное из графика) на занятый ими объем.

**Критерии оценивания**

1. Обоснована взаимосвязь измеряемых величин (метод, формула) **1 балл(0,5+0,5)**
2. Оформлена таблица (обозначения, единицы измерения) **1 балл**
3. Проведено не менее 5 измерений (разных точек) **1 балл**
4. Оформлен график **2 балла**
  - a) подписаны оси (величины и единицы измерения) 0,5 балла
  - b) оформлен масштаб на осях 0,5 балла
  - c) правильно нанесены экспериментальные точки 0,5 балла
  - d) проведена **прямая** линия 0,5 балла
5. Определён коэффициент  $\alpha$  с точностью не хуже 10% (0,52-0,64) **1 балл**  
 20% (0,46-0,51 и 0,63-0,71) **0,5 балла**
6. Определён объём  $V_B$  **2 балла**
  - с точностью не хуже 10% (47,4-57,9)см<sup>3</sup> 2 балла
  - с точностью не хуже 20% (42-47,3 и 58-63)см<sup>3</sup> 1 балл
7. Метод определения числа горошин  $N$  **1 балл**
8. Определение числа горошин  $N$  (результат) (90-150) **1 балл**

**Объем одной горошины  $V_0 = (0,14 \pm 0,02)$ мл**