

**Занятия 1-го полугодия по экспериментальной физике  
в 8-м классе Олимпиадной школы МФТИ  
(преподаватель к.ф.-м.н., доцент А.А. Лукьянов)**

**Занятия 11-й и 12-й недель (12-й неделя – сдача работы)**

**Название: ГИДРОСТАТИКА. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА РАЗНОЙ ГЛУБИНЕ.  
ЗАКОН АРХИМЕДА**

**Цель работы:** Изучение законов гидростатики

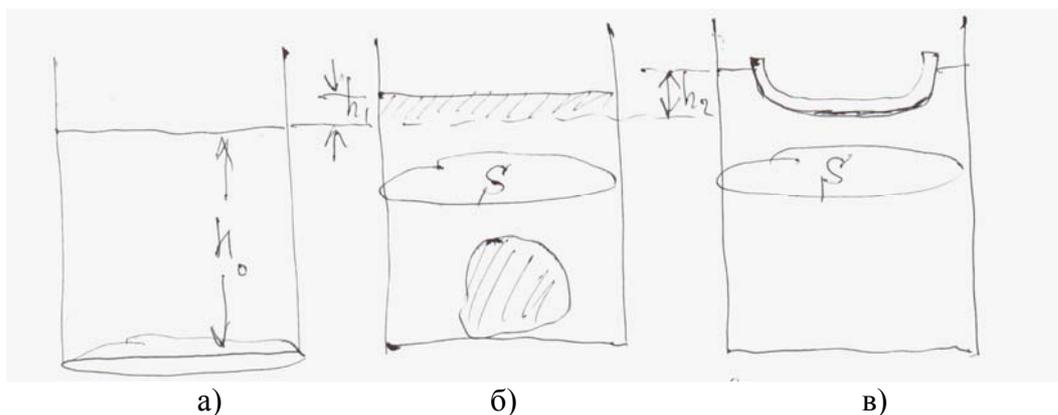
**Оборудование:** кусок пластилина, сосуд цилиндрической формы с водой (мерная кружка 0,5 л), линейка

**Задание:** Определите плотность пластилина

**Решение:** Погружаем в сосуд с водой кусок пластилина и измеряем линейкой изменение уровня  $h_1$  воды в сосуде. Изготавливаем из пластилина «кораблик» и пускаем его плавать в сосуде с водой. Вновь измеряем изменение уровня  $h_2$  воды. Плотность пластилина находим по формуле

$$\rho_{пл} = \rho \frac{h_2}{h_1}, \quad (*)$$

где  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды. Объяснение см. ниже.



Масса куска пластилина связана с плотностью пластилина и высотой  $h_1$  поднятия уровня воды, когда кусок просто бросили в воду (и он потонул (!) см. рис. б)), соотношением

$$m_{пл} = \rho_{пл} \cdot V_{пл} = \rho_{пл} \cdot S \cdot h_1, \quad (1)$$

где  $S$  – внутренняя площадь дна сосуда.

Давление вблизи дна сосуда в случае, когда в нем плавает кораблик (рис. в)), можно вычислить двумя разными способами – либо по формуле:

$$P = P_{атм} + \rho \cdot g \cdot (H_0 + h_2) = P_{атм} + \rho \cdot g \cdot H_0 + \rho \cdot g \cdot h_2, \quad (2)$$

где  $H_0$  – высота уровня воды в сосуде в первоначальном состоянии,  $\rho$  – плотность воды, либо:

$$P = P_{атм} + \frac{(m + m_{пл})g}{S} = P_{атм} + \frac{m \cdot g}{S} + \frac{m_{пл}g}{S}, \quad (3)$$

где  $m$  – масса воды в сосуде, которая равна

$$m = \rho \cdot S \cdot H_0. \quad (4)$$

С учетом соотношений (1) и (4) формула (3) дает

$$P = P_{атм} + \frac{\rho \cdot S \cdot H_0 \cdot g}{S} + \frac{\rho_{пл} \cdot S \cdot h_1 \cdot g}{S},$$

или

$$P = P_{атм} + \rho \cdot g \cdot H_0 + \rho_{пл} \cdot g \cdot h_1. \quad (5)$$

Сравнивая формулы (2) и (5), получаем соотношение между плотностями воды  $\rho$ , пластилина  $\rho_{пл}$  и высотами понятия воды  $h_1$  и  $h_2$ :

$$\rho \cdot h_2 = \rho_{пл} \cdot h_1,$$

откуда окончательно получаем

$$\rho_{пл} = \rho \frac{h_2}{h_1}. \quad (*)$$

### Рекомендации к выполняющим работу.

1. Возьмите не слишком маленькое количество пластилина, чтобы были заметны и поддавались легкому измерению изменения уровня воды в сосуде  $h_1$  и  $h_2$ .
2. Не следует опускать деревянную линейку в воду. Прислоните ее к наружной стенке сосуда.
3. Контролируйте вертикальность линейки (например, с помощью треугольника или другой линейки).
4. Не забудьте, что «нуль» шкалы линейки вряд ли совпадает с краем линейки. Измерьте другой линейкой, на сколько «нуль» отстоит от края линейки.
5. Подумайте: производя измерения высот  $H_0$ ,  $H_0 + h_1$  и  $H_0 + h_2$  снаружи сосуда, нужно ли учитывать конечную толщину дна сосуда? Почему она оказывается не важна?
6. При измерении высоты  $h_1$  кусок пластилина должен быть полностью погружен в воду.

### Пример измерений:

Измерения линейкой дают:  $H_0 \approx 5,5$  см; диаметр кружки был порядка 8 см (но эта величина не войдет в ответ).  $H_0 + h_1 \approx 5,8$  см, т.е.  $h_1 \approx 0,3$  см = 3 мм;  $H_0 + h_2 \approx 5,9$  см, т.е.  $h_2 \approx 0,4$  см = 4 мм. Таким образом  $\rho_{пл} \approx \frac{4}{3} \rho \approx 1,3\rho = 1,3 \text{ г/см}^3 = 1300 \text{ кг/м}^3$ . Это совпадает с данными из Интернета ( $1,2 \div 1,3 \text{ г/см}^3$ ).

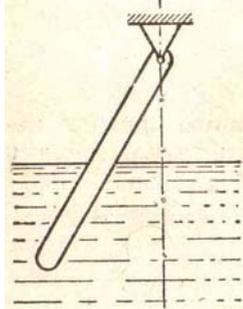
При использовании литрового кувшина, площадь основания которого значительно больше, погрешность измерений больше:  $H_0 = 3,2$  см;  $H_0 + h_1 = 3,3$  см, т.е.  $h_1 = 0,1$  см = 1 мм;  $H_0 + h_2 = 3,4$  см, т.е.  $h_2 = 0,2$  см = 2 мм. Так что,  $\rho_{пл} = 2\rho = 2 \text{ г/см}^3 = 2000 \text{ кг/м}^3$ .

### Дополнительные задачи:

1. Чему равно давление в покоящейся жидкости плотности на глубине  $h$ ?
2. Почему «кораблик» в лабораторной работе можно было делать любой формы?
3. Как зависит точность измерений от величины сосуда (от площади основания) и почему?
4. Как сказывается толщина дна сосуда на полученный результат?
5. Каково давление в воде на глубине 10 м? Сравнить его с нормальным атмосферным давлением. То же самое – на глубине 50 м, 100 м и на глубине 11022 м (на дне Марианской впадины). **Ответ:**  $\approx 2$  атм;  $\approx 6$  атм;  $\approx 11$  атм;  $\approx 1070$  атм
6. Оценить массу атмосферы Земли, зная нормальное давление (100 кПа) и радиус Земли (6370 км). Сравнить ее с массой всей Земли (примерно  $6 \times 10^{24}$  кг). **Ответ:**  $5,3 \times 10^{18}$  кг
7. Вывести формулу для силы Архимеда, действующей на тело цилиндрической формы, с осью параллельной вертикали.
8. В стакане с водой плавает кусочек льда. Как изменится уровень в стакане, когда лед растает?
9. В стакане с водой плавает кусочек льда с замороженной пробкой. Как изменится уровень в стакане, когда лед растает?
10. Известно, что подводная лодка, легшая на мягкий грунт, не может иногда оторваться от него. Почему?

11. Когда труднее вынуть пробку из сливного отверстия в ванне – когда ванна наполнена водой или когда она пустая? Не противоречит ли это закону Архимеда?

12. К какой точке приложена сила Архимеда?



13. Тонкая однородная палочка шарнирно укреплена за верхний конец. Нижняя ее часть погружена в воду. Палочка находится в равновесии, когда она расположена наклонно и погружена на половину своей длины. Чему равна плотность материала палочки? **Ответ:**  $750 \text{ кг/м}^3$ .

14. Историки рассказывают, что царь Сиракуз Гиерон заказал ювелиру сделать корону из чистого золота, для чего выдал ему 1 кг золота. Ювелир выполнил заказ, изготовив корону массой ровно 1 кг. Однако царь заподозрил ювелира в том, что тот мог подменить часть золота точно таким же по массе количеством серебра. Царь поручил Архимеду (287 до н.э. – 212 до н.э.) разобраться, был ли обман со стороны ювелира или нет. Предположим, что ювелир подменил 100 г золота в короне таким же количеством серебра. Мог ли Архимед решить задачу царя о короне из одних лишь соображений о разных объемах двух кусков одинакового веса – чистого золота и с примесью серебра, поочередно погружая в сосуд с водой корону и кусок чистого золота (для проведения измерений царь выдал Архимеду еще один кусок золота массой 1 кг)? Какой будет разность уровней в сосуде в двух этих случаях? Плотность золота –  $19,3 \text{ г/см}^3$ , плотность серебра –  $10,5 \text{ г/см}^3$ . Диаметр сосуда принять равным 20 см. Могли бы Вы отличить на глаз такую разность уровней? **Ответ.** Разность высот будет порядка 0,1 мм, что вряд ли поддается измерению на глаз.

15. Как мог помочь Архимеду открытый им закон о выталкивающей силе? Сколько «потеряют в весе» корона и кусок чистого золота (оба массой 1 кг) при поочередном погружении их в воду?