

## I. Физика подводного плавания

Подводное плавание – вид спорта, которым часто занимаются в море, чтобы насладиться его красотой. На Бали есть несколько прекрасных мест для подводного плавания, как, например, обломки грузового корабля флота США «Liberty» возле деревни Туламбен, остров Гили Тепеконг, остров Нуса Лембонган и т.д. Поскольку подводное плавание может быть опасным из-за условий окружающей среды, никогда не плавайте под водой в одиночку. Вы должны плавать вместе с тренером.

Подводное плавание можно разделить на два различных класса:

- 1) плавание с аквалангом,
- 2) плавание без снаряжения.

Подводное плавание с аквалангом – вид подводного плавания, при котором пловец использует *акваланг* для дыхания под водой. Этот аппарат представляет собой баллон с газом (воздухом), прикрепленный к телу пловца. См. рис. II.1 (а).

Плавание без снаряжения – вид подводного плавания без использования сложного снаряжения, подобного аквалангу. Перед погружением под воду пловец, находясь на поверхности, делает глубокий вдох и задерживает дыхание на время нахождения под водой. См. рис. II.1 (б).



(а)



(б)

Рис. II.1. (а) Аквалангист использует баллон с воздухом, закрепленный на теле. (Источник: [https://en.wikipedia.org/wiki/Scuba\\_diving](https://en.wikipedia.org/wiki/Scuba_diving)) (б) Пловец, не использующий снаряжение для подводного плавания. (Источник: <http://www.freediveutila.com>)

Основные различия между плаванием с аквалангом и без снаряжения состоят в следующем:

- При плавании с аквалангом можно дышать так же, как и на поверхности, и не задерживать дыхание при нахождении под водой. Аквалангист вдыхает воздух из трубки, ведущей к баллону, и выдыхает его в воду.
- При плавании без снаряжения нужно задержать дыхание и не выдыхать в воду.

Тем не менее, оба вида пловцов используют некоторое дополнительное оборудование, чтобы чувствовать себя комфортно при нахождении под водой, например, ласты на ногах для эффективного передвижения и маску, закрывающую глаза и нос.

Во всех ситуациях в задаче все газы в воздухе, человеческих легких или акваланге считаются идеальными. Уравнение состояния идеального газа можно записать в виде

$$pV = nRT,$$

где  $p$  – давление,  $V$  – объем,  $n$  – количество газа в молях,  $R = 8,31$  Дж/(К·моль) – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура.

Когда пловец погружается глубже, давление воды возрастает. Для того, чтобы избежать повреждения внутренних органов, давление воздуха в теле (например, в легких и пазухах) должно быть таким же, как и давление окружающей воды. Таким образом, пловец должен использовать так называемую методику «выравнивания», чтобы давление внутри среднего уха сравнялось с наружным давлением.

Некоторые физические постоянные:

- Ускорение свободного падения  $g = 9,80$  м/с<sup>2</sup>
- Плотность морской воды  $\rho_{sw} = 1,03 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>
- $1,00$  атм =  $1,01 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> =  $1,01 \times 10^5$  Па

**II.1 [1,0 балл]** Пусть атмосферное давление на уровне моря  $p_0 = 1,00$  атм. Найдите суммарное давление на глубине 20,0 метров под поверхностью воды.

**II.2 [2,0 балла]** Специальный клапан в акваланге автоматически регулирует давление выходящего из акваланга воздуха таким образом, что оно всегда равно суммарному давлению в окружающей воде. Пусть баллон объемом  $1,50 \times 10^{-2} \text{ м}^3$  заполнен сжатым воздухом при давлении 150 атм. Предположим, что пловец расходует воздух со скоростью  $r$ , равной 20,0 л в минуту. Считая, что аквалангист все время плавает под водой на глубине 10,0 м, найдите максимальное время (в минутах) его плавания. Температура баллона остается постоянной в течение плавания.

**II.3 [1,5 балла]** Из-за длительного пребывания под водой и разности температур между человеческим телом и морской водой (которая холоднее, чем тело) аквалангист должен использовать специальный гидрокостюм, чтобы уменьшить теплопередачу. Тепловые параметры материала гидрокостюма характеризуются значением коэффициента  $R$ . Коэффициент  $R$  определяется как величина, обратная к тепловой мощности, приходящейся на единицу площади поверхности материала и на единицу разности температур между внутренней и внешней средами. Для данного случая внутренней и внешней средами являются тело пловца и морская вода соответственно.

Номер	Единицы измерения
1	$\frac{\text{Дж м}^2 \text{ К}}{\text{с}}$
2	$\frac{\text{м}^2 \text{ К с}}{\text{Дж}}$
3	$\frac{\text{с}}{\text{Дж м}^2 \text{ К}}$
4	$\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \text{ К с}}$

**II.3.a.** Из таблицы выберите правильную единицу измерения для коэффициента  $R$  в системе СИ.

Значения коэффициента  $R$  в единицах системы СИ для некоторых материалов, из которых делают гидрокостюмы, приведены в таблице. Наилучшим материалом для гидрокостюма является тот, в котором суммарное количество теплоты, передаваемое от тела морской воде, является минимальным.

Номер	Материал (условное обозначение)	Коэффициент $R$
1	A	1,0
2	C	3,7
3	G	4,5
4	N	5,5

**П.3.b** Исходя из приведенных данных, какой материал для гидрокостюма является наилучшим?

**П.4 [1,0 балл]** Если пловец без акваланга слишком быстро погружается в глубину, внутреннее давление на барабанные перепонки остается равным атмосферному, а внешнее давление растет с глубиной погружения. На некоторой глубине разность между внутренним и внешним давлением может порвать барабанную перепонку. Перепонка может порваться, если разность давлений превышает 35,0 кПа. На какой глубине достигается такая разность давлений?

**П.5 [1,0 балл]** Перед погружением под воду пловец без акваланга делает глубокий вдох и задерживает дыхание. Пусть объем его легких после задержки дыхания равен 6,00 л. Рассчитайте объем его легких на глубине 30,0 м в предположении, что пловец хорошо «выравнивается», т.е. внутреннее давление в его легких равно суммарному внешнему давлению. Считайте, что температура внутри легких остается постоянной, и воздух не покидает легкие.

**П.6 [2,0 балла]** Пловец выпускает из рук камень от поверхности воды без начальной скорости. Камень падает в воде и испытывает силу сопротивления  $F_d$  со стороны воды в направлении, противоположном направлению движения, эта сила рассчитывается по формуле

$$F_d = -bv,$$

где  $b$  – положительная постоянная, а  $v$  – скорость камня (положительная при движении вниз). В итоге пловец обнаруживает, что установившаяся скорость камня  $v_i = 8,00$  м/с. Пусть масса и плотность камня равны  $7,50 \times 10^{-2}$  кг и  $2,60 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, соответственно. Найдите величину постоянной  $b$ .

**П.7 [1,5 балла]** Пловец, находящийся под водой, замечает, что закат практически наступил. Показатели преломления воды и воздуха равны 1,33 и 1,00 соответственно. Чему равен максимальный угол между преломленным солнечным светом и вертикалью, который видит пловец?