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 акваланг. 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) (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, $R = 8{,}31\ \text{Дж}/(\text{К}\cdot\text{моль})$ – 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^2
- Плотность морской воды ρ_{sw} = 1,03 × 10^3 кг/м^3
- 1,00 атм = 1,01 × 10^5 Н/м^2 = 1,01 × 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 $1{,}50 \times 10^{-2}$ 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 плывет 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 $\boldsymbol{R}$. Коэффициент $\boldsymbol{R}$ 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 $\boldsymbol{R}$ в системе СИ.

Значения коэффициента $\boldsymbol{R}$ 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

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

II.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?

II.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.

II.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

$$F_d = -b\upsilon,$$

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

II.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?