

**Задания и решения второго тура отборочного этапа  
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018  
10-11 классы**

**Задача 1 (15 баллов).**

Юный химик Петя прочитал, что медь получается путем электролиза водного раствора нитрата меди по реакции, в результате которой на аноде образуется поддерживающий горение газ. Петя решил запустить у себя дома производство этого металла.

Напишите уравнение электролиза нитрата меди.

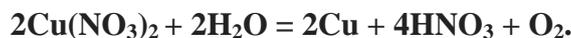
Оцените, будет ли выгодным производство меди подобным способом, используя следующие данные:

- 1) длительность синтеза – 12 часов;
- 2) стоимость покупки  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  – 250 рублей/кг;
- 3) стоимость продажи  $\text{Cu}$  – 960 рублей/кг;
- 4) тариф оплаты электроэнергии: 5,38 рублей за кВт·час фиксированно;
- 5) напряжение в сети – 220 В, сила тока – 5 А.

Сколько меди может получить Петя за один синтез? Как повысить эффективность электролиза? Назовите основное применение металлической меди.

**Решение:**

Нитрат меди будет подвергаться электролизу по реакции:



Согласно закону Фарадея для электролиза  $m = \frac{I \cdot t}{F} \cdot \frac{\mu}{z}$

масса выделяющейся меди  $m = \frac{5 \text{ А} \cdot 12 \cdot 3600 \text{ с}}{96500 \text{ Кл/моль}} \cdot \frac{64 \text{ г/моль}}{2} = 71,63 \text{ г}$  или 1,12 моль. На это пошло 210,56 г нитрата (1,12 моль). Для того, чтобы купить такое количество нитрата нужно потратить  $0,21056 \text{ кг} \cdot 250 \text{ руб/кг} = 53,9 \text{ руб}$ , а заработать Петя может  $960 \text{ руб/кг} \cdot 0,07163 \text{ кг} = 68,76 \text{ руб}$ .

Теперь рассчитаем затраты на электроэнергию:

$$P = I \cdot U = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 1100 \text{ Вт} = 1,1 \text{ кВт}.$$

Количество потребленной электроэнергии составляет  $Q = 1,1 \text{ кВт} \cdot 12 \text{ ч} = 13,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ .

Затраты на электроэнергию равны  $C = 13,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 5,38 \text{ руб} = 71 \text{ рубль}$  за 13,2 кВт·ч.

Получается, что общие затраты составляют 124,9 рубля, а доход за день может составить 68,76 руб. Данный метод синтеза меди не является экономически выгодным.

Самый простой способ повысить эффективность синтеза – это увеличить силу тока. В этом случае количество выделяемого металла будет увеличиваться в такое же количество раз, в какое будет увеличиваться ток.

Медь в чистом виде применяют для изготовления электропроводов, ведь по своей проводимости медь уступает только дорогостоящему серебру.

**Задача 2 (20 баллов).**

Ко дню рождения факультета фундаментальной физико-химической инженерии студент Роман сделал стенд с изображением эмблемы факультета (см. рисунок 1). Конструкцию синего цвета Роман изготовил из стальной проволоки диаметром 1 мм (см. рисунок 2). К сожалению, в отличие от оригинальной эмблемы, толщина всех линий получилась одинаковой. При изготовлении эмблемы Роман оценил длины дуг AC, CD и AE в 28 см, 42 см и 84 см соответственно (см. рисунок 2). Оцените сопротивление получившейся конструкции между точками A и B.



Рисунок 1

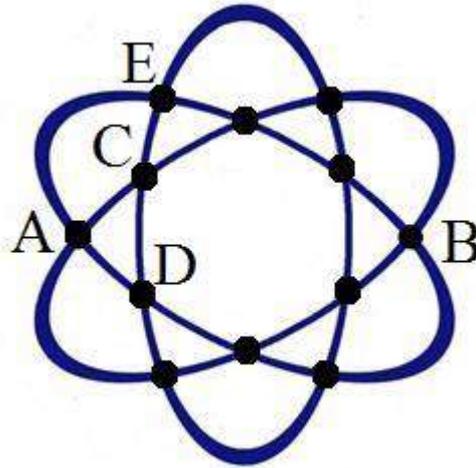
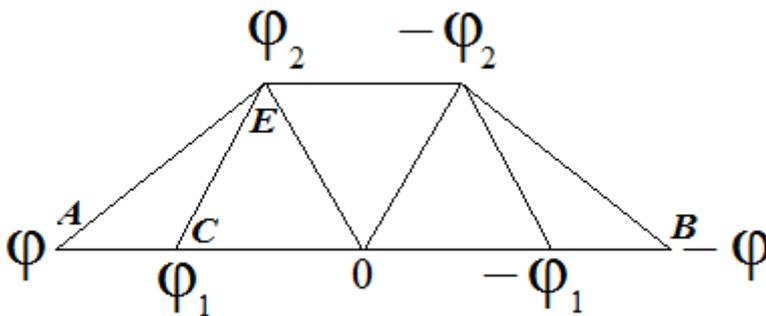


Рисунок 2

**Решение:**

Заметим, что в силу симметричности конструкции ток по дуге CD не потечет, как не потечет и по такой же дуге рядом с точкой B. Убрав эти две дуги, получаем, что схема сводится к параллельному соединению двух одинаковых участков цепи следующего вида:



Найдем сопротивление такого участка, для этого расставим потенциалы, как показано на рисунке. Потенциалы расставлены симметрично в силу симметричности участка цепи.

Примем сопротивление стальной проволоки диаметром 1 мм и длиной 1 см равным г. Записывая первое правило Кирхгофа для точек с потенциалами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , получаем следующие уравнения:

$$\frac{\varphi_1 - \varphi}{28g} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{28g} + \frac{\varphi_1}{42g} = 0;$$

$$\frac{\varphi_2 - \varphi}{84g} + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{28g} + \frac{\varphi_2}{28g} + \frac{2\varphi_2}{84g} = 0.$$

Отсюда получаем:

$$\varphi_1 = \frac{10}{21}\varphi;$$

$$\varphi_2 = \frac{17}{63}\varphi.$$

Сопротивление участка цепи равно:

$$\frac{2\varphi}{\frac{\varphi - \varphi_1}{28r} + \frac{\varphi - \varphi_2}{84r}} = \frac{10584}{145} r$$

Сопротивление всей эмблемы, состоящей из двух таких участков, соединенных параллельно, в два раза меньше и составляет  $\frac{5292}{145} r$ .

Приняв удельное сопротивление стали за  $0,13 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ , получаем, что сопротивление 1 см проводника составляет

$$r = \frac{0,13 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м} \cdot 0,01 \text{ м} \cdot 4}{\pi \cdot 1 \text{ мм}^2} \approx 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Отсюда находим, что сопротивление всей эмблемы приблизительно равно  $0,06 \text{ Ом}$ .

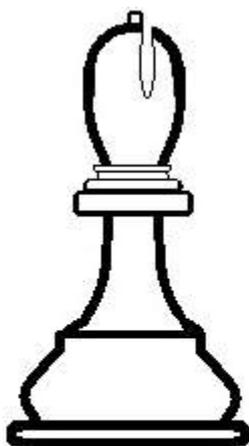
**Ответ: 0,06 Ом.**

### **Задача 3 (15 баллов).**

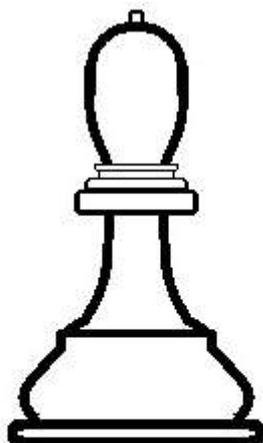
Перед вами слон – одна из шахматных фигур. Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной и профильной проекций фигуры, изображенной на рисунке. Считайте, что фронтальная проекция – это вид спереди; горизонтальная – вид сверху; профильная – вид сбоку слева.



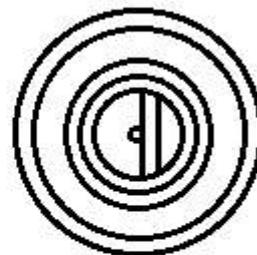
**Решение:**



Фронтальная проекция



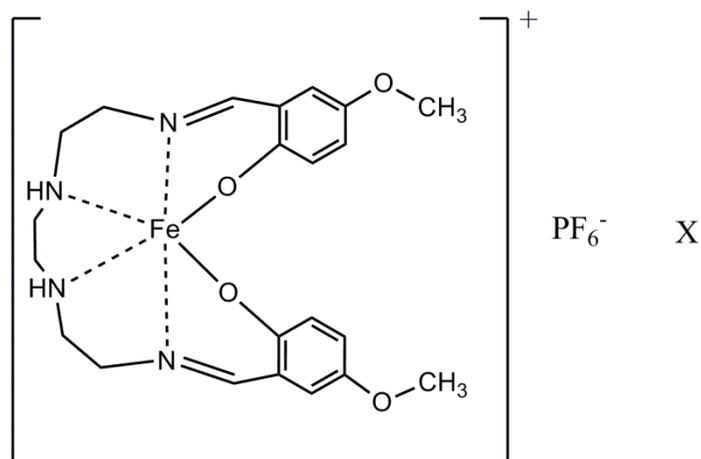
Профильная проекция



Горизонтальная проекция

**Задача 4 (15 баллов).**

Определите, какой растворитель (X:  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ) по данным элементного анализа (таблица 1) вошел в структуру соли А (см. рисунок).



Структурная формула соединения А

$\text{PF}_6^-$  X

Таблица 1. Результаты элементного анализа.

Элементы	C(%) )	H(%) )	N(%)
Получено	43,4 4	4,29	10,5
Погрешность	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 0.5$

**Решение:**

Сосчитаем молекулярную массу

соли Fe(III) без растворителя:

Брутто-формула:  $\text{C}_{22}\text{H}_{28}\text{F}_6\text{FeN}_4\text{O}_4\text{P}$

$\mu(\text{A}) = 613 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$

В эксперименте точнее всего определяется элемент азот (N): по нему наименьшая погрешность. Рассчитаем долю азота в предположении, что в кристаллическую структуру могли войти (X: CH<sub>3</sub>OH, H<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>CN):

$$1) \mu(\text{CH}_3\text{OH}) = 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{H}_2\text{O}) = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{CH}_3\text{CN}) = 41 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

$$2) \mu(\text{A} \cdot \text{CH}_3\text{OH}) = 645 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{A} \cdot \text{H}_2\text{O}) = 631 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{A} \cdot \text{CH}_3\text{CN}) = 654 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

3)

Для соли A·CH<sub>3</sub>OH:

$$\omega(\text{N})\% = \frac{4 \cdot 14 \text{ г/моль}}{645 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{56 \text{ г/моль}}{645 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 8,68\%$$

Для соли A·H<sub>2</sub>O:

$$\omega(\text{N})\% = \frac{4 \cdot 14 \text{ г/моль}}{631 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{56 \text{ г/моль}}{631 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 8,87\%$$

Для соли A·CH<sub>3</sub>CN:

$$\omega(\text{N})\% = \frac{4 \cdot 14 \text{ г/моль} + 1 \cdot 14 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{70 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 10,7\%$$

Сравнивая полученные ответы с таблицей, делаем вывод, что подходит только CH<sub>3</sub>CN:

$$\text{N}(\%) = 10,5 \pm 0,5\%;$$

$$\Delta(\text{max}) = 11\%;$$

$$\Delta(\text{min}) = 10\%.$$

4) Убедимся в правильности выбора, рассчитав доли оставшихся элементов:

$$\omega(\text{C})\% = \frac{12 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 22 + 12 \text{ г/моль} \cdot 2}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{288 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 44,04\%$$

$$\text{C}(\%) = 43,44 \pm 1\%;$$

$$\Delta(\text{max}) = 44,44\%;$$

$$\Delta(\text{min}) = 42,44\%.$$

Процентное содержание С укладывается в интервал.

$$\omega(\text{H})\% = \frac{1 \text{ г/моль} \cdot 28 + 1 \text{ г/моль} \cdot 3}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{31 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 4,74\%$$

$$\text{C}(\%) = 4,29 \pm 1\%;$$

$$\Delta(\text{max}) = 3,29\%;$$

$$\Delta(\text{min}) = 5,29\%.$$

Процентное содержание Н укладывается в интервал.

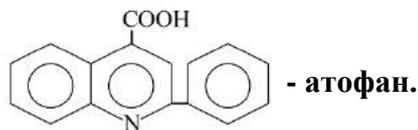
Ответ: CH<sub>3</sub>CN.

### Задача 5 (20 баллов).

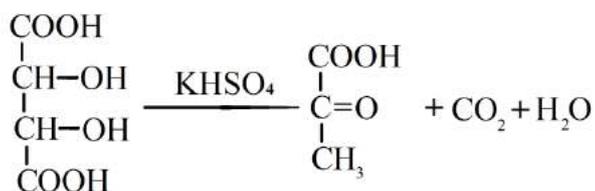
В 1887 году было синтезировано вещество атофан, применяемое как противовоспалительное и болеутоляющее средство. Предложите схему синтеза атофана из винной кислоты, анилина и

бензальдегида. Сколько нужно взять исходных органических веществ, если каждая стадия идет с выходом 75%, а масса полученного атофана равна 7,47 г. Неорганические вещества считать данными.

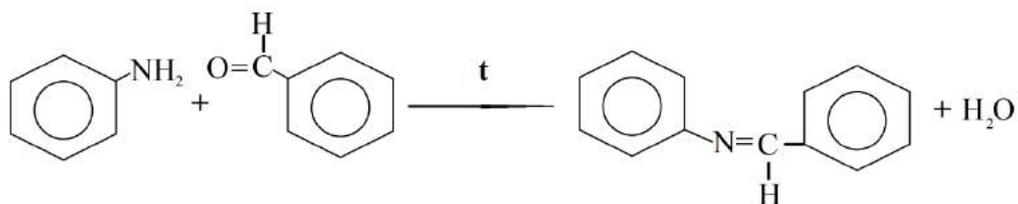
**Решение:**



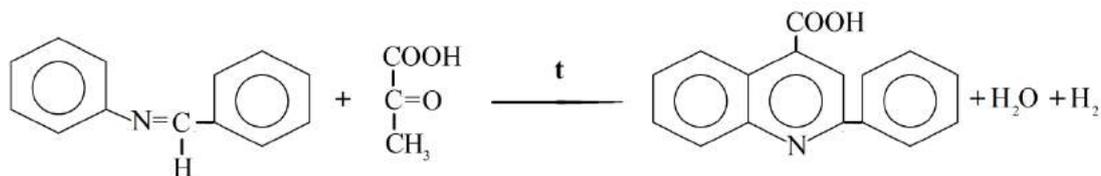
а)



б)



в)

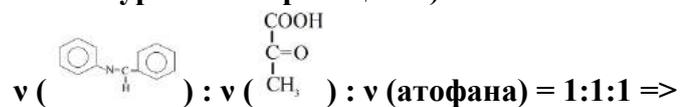


$$v = m/\mu; v_{\text{теор}} = v_{\text{пр}} \cdot \frac{100\%}{\eta\%}$$

$$1. \quad v(\text{атофана})_{\text{пр в}} = \frac{7,47 \text{ г}}{249 \text{ г/моль}} \approx 0,03 \text{ моль}$$

$$v(\text{атофана})_{\text{теор в}} = \frac{0,03 \text{ моль}}{0,75} = 0,04 \text{ моль}$$

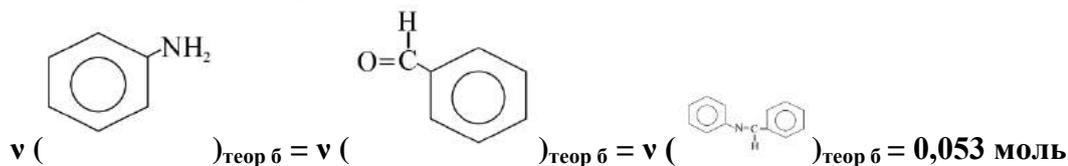
2. Из уравнения реакции в):



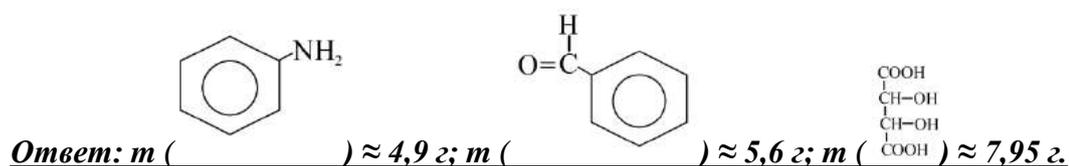
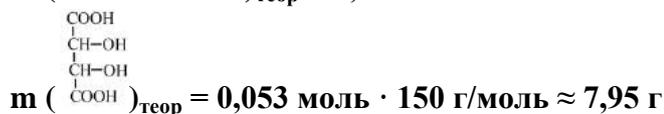
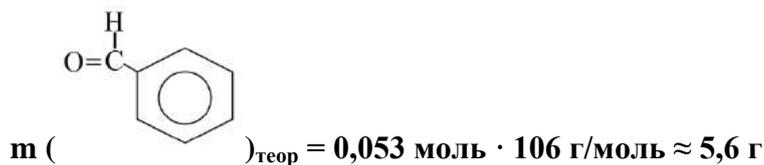
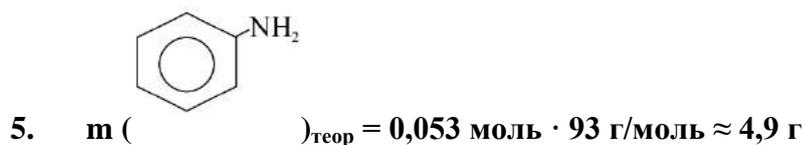
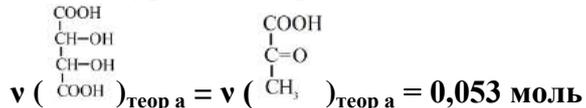
$$v \left( \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ | \\ \text{N}=\text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array} \right)_{\text{теор в}} = v \left( \begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{C=O} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_{\text{теор в}} = v(\text{атофана})_{\text{теор в}} = 0,04 \text{ моль}$$

$$v \left( \text{C}_6\text{H}_5\text{NHC}_6\text{H}_5 \right)_{\text{теор б}} = v \left( \begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{C}=\text{O} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_{\text{теор а}} = \frac{0,04 \text{ моль}}{0,75} \approx 0,053 \text{ моль}$$

3. Из уравнения реакции б):



4. Из уравнения реакции а):

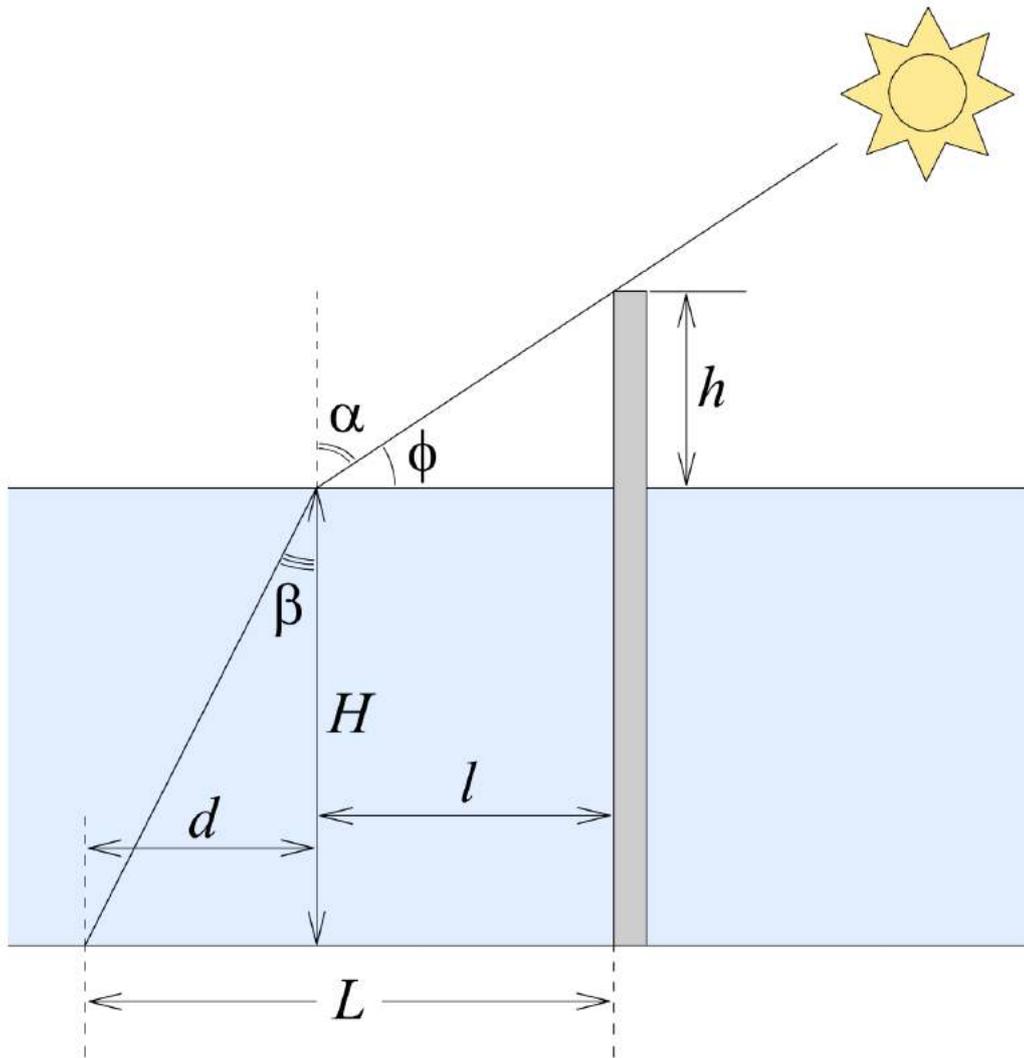


### Задача 6 (15 баллов).

В дно озера забита вертикальная труба, верхний конец которой находится на высоте 60 см над водой. В тихую ясную погоду тень, отбрасываемая трубой на дно, хорошо различима с поверхности. Рыбак, сидящий в лодке длиной 2,7 м, привязанной к трубе, обнаружил, что длина тени в точности совпадает с длиной лодки. Чему равна глубина озера, если в этот момент высота Солнца над горизонтом равна  $50^\circ$ ? Дно озера считайте горизонтальным.

### Решение:

Пусть труба выступает на высоту  $h$  над водой, длина тени от трубы на дне равна  $L$ , а высота Солнца над горизонтом равна  $\varphi$ . Тогда угол падения солнечного луча, проходящего через верхнюю точку трубы, равен  $\alpha = 90^\circ - \varphi$ , а угол преломления  $\beta$  связан с  $\alpha$  соотношением  $\sin \alpha = n \sin \beta$ , где  $n = 1,33$  – показатель преломления воды. Тогда из рисунка видно, что  $d = L - l = L - h \operatorname{tg}(\alpha)$ . Следовательно,  $H = \frac{d}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{(L - h \operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \beta} = 3,98 \text{ м} \approx 4 \text{ м}.$



Ответ: 4 м.