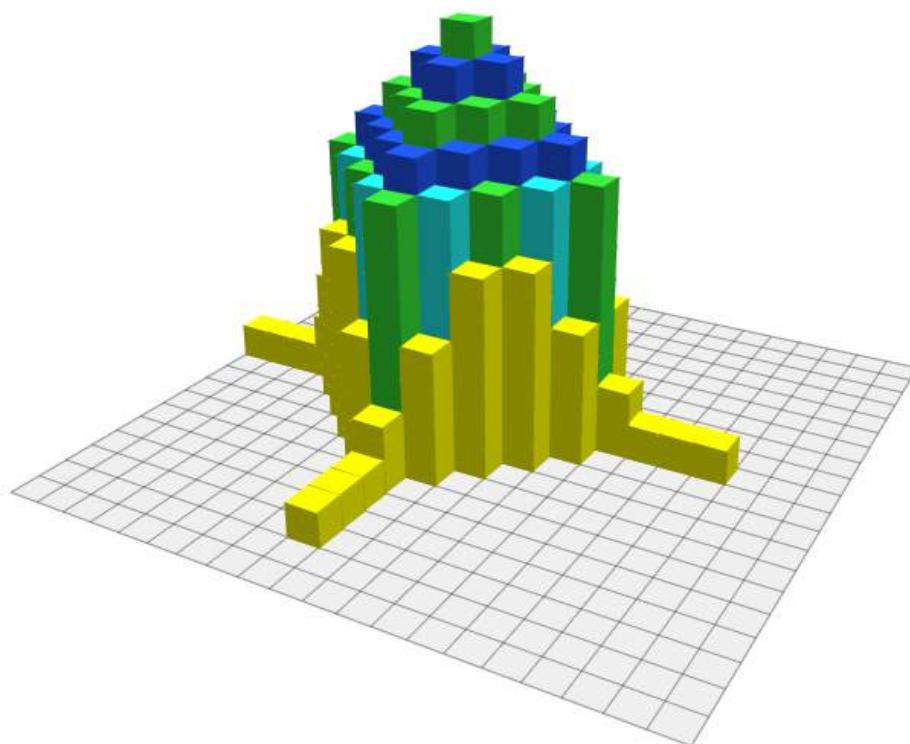


**Задания второго тура отборочного этапа Олимпиады  
«Ломоносов» по инженерным наукам 2018/2019 10-11  
классы**

**Задача 1 (15 баллов).**

Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной и профильной проекций фигуры, изображенной на рисунке.



**Решение:**

Одно из возможных решений задачи:



### **Задача 2 (15 баллов).**

В процессе нагревания воды до закипания в обычной (негерметичной) кастрюле некоторое количество воды испаряется. Из скороварки (герметично закрытой кастрюли) вода не испаряется, но кипение начинается при более высокой температуре, так как с ростом давления температура кипения повышается. Какая минимальная часть воды (массовая доля) должна испариться из обычной кастрюли в процессе нагревания воды до кипения, чтобы вода в скороварке закипела быстрее, чем в кастрюле? Считать, что в скороварке вода закипает при  $t = 110$  °С, а масса воды в скороварке равна массе воды в обычной кастрюле.

#### **Решение:**

Пусть  $c \approx 4,2$  кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость воды, а  $\lambda \approx 2,25$  МДж/кг – удельная теплота парообразования. Пусть масса воды, налитой и в кастрюлю, и в скороварку, равна  $M$ , а при нагревании обычной кастрюли испарилась вода массой  $m$ . Тогда на испарение этой воды пошла тепловая энергия  $Q_1 = \lambda m$ . В то же время на дополнительное (по сравнению с обычной кастрюлей) нагревание воды в скороварке была затрачена энергия  $Q_2 = cM(t - t_k)$ , где  $t_k = 100$  °С – температура кипения воды при атмосферном давлении. Вода в скороварке закипит быстрее, если  $Q_2 < Q_1$ , т.е. если  $\frac{m}{M} > \frac{c(t-t_k)}{\lambda} \approx 2\%$ .

**Ответ: 2%.**

### **Задача 3 (15 баллов).**

Материаловед Коля разработал три новых очень легких, но оказавшихся довольно непрочными, материала А, Б и В, которые он хочет использовать для хранения питьевой воды при температурах в диапазоне от  $-10$  °С до комнатной. Оказалось, что максимальное относительное линейное растяжение, которое эти материалы выдерживают под нагрузкой без разрушения, составляет 1%, 2% и 4% соответственно. Останутся ли целыми при охлаждении до  $-5$  °С целиком заполненные водой при комнатной температуре тонкостенные кубы, изготовленные из этих материалов? Считать, что кубы деформируются с сохранением формы.

#### **Решение:**

При замерзании объем воды увеличивается приблизительно на 9%. Это означает, что сторона куба, занятого водой, при охлаждении до  $-5$  °С удлинится приблизительно на 3% (так как  $\sqrt[3]{1,09} - 1 \approx 1,03$ ). Следовательно, емкости, изготовленные из материалов А и Б, разрушатся, а куб, сделанный из материала В, останется целым.

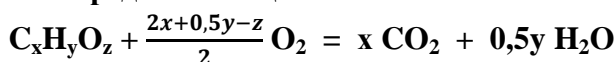
#### Задача 4 (20 баллов).

При добавлении к органическому веществу А муравьиной кислоты и долгом нагревании при пониженном давлении получили вещество В, которое затем прореагировало с гидроксидом натрия. При этом получилось вещество С, через которое пропустили раствор брома и сернистого газа в воде. В результате получилось вещество D, широко используемое в качестве алкилирующего агента при синтезе различных органических соединений.

Определите вещества А, В, С, D. Напишите уравнения соответствующих химических реакций, если известно, что при сжигании 32,2 г вещества А образуется 25,25 л углекислого газа (объем измерен при 20 °С и 1 атм) и 25,2 г воды.

#### Решение:

##### 1. Определим вещество А:

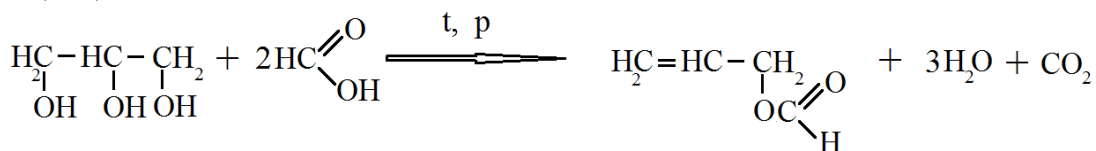


$$v(CO_2) = PV/RT = 1,05 \text{ моль} \Rightarrow v(C) = 1,05 \text{ моль}, m(C) = 12,6 \text{ г}$$

$$v(H_2O) = m/\mu = 1,4 \text{ моль} \Rightarrow v(H) = 2,8 \text{ моль}, m(H) = 2,8 \text{ г}$$

$$m(O) = m(C_xH_yO_z) - m(H) - m(C) = 16,8 \text{ г} \Rightarrow v(O) = 1,05 \text{ моль}$$

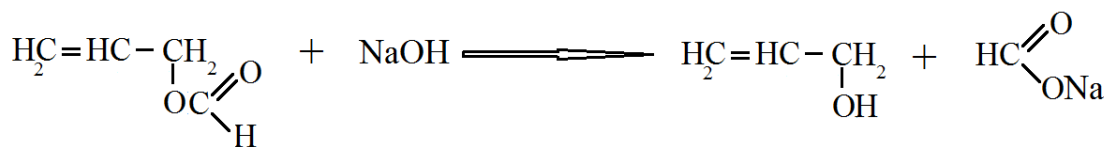
$$C_{1,05}H_{2,8}O_{1,05} \Rightarrow C_3H_8O_3 - \text{глицерин.}$$



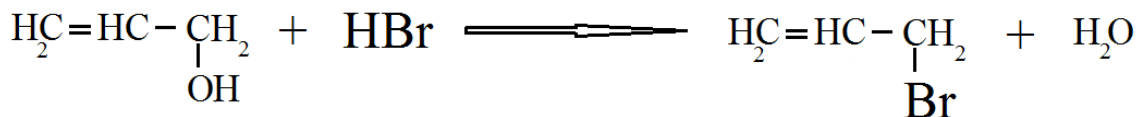
2.

А

В



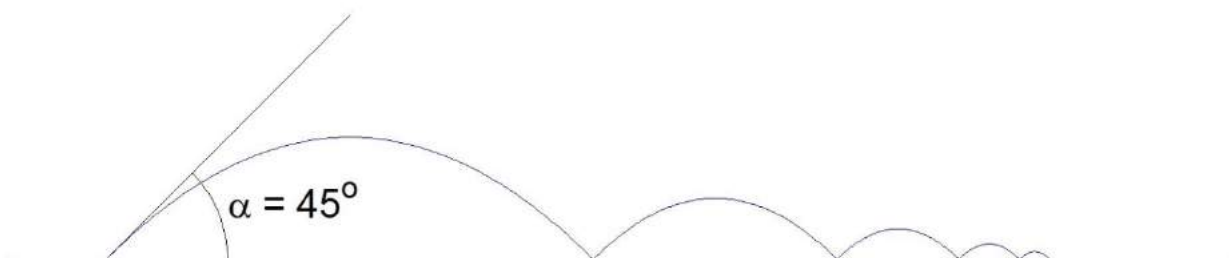
С



D

### **Задача 5 (20 баллов).**

Инженер Вася создал новый полимерный материал и изготовил из него небольшой упругий мячик массой 50 г. После долгих наблюдений за отскоками мячика от пола Вася выдвинул гипотезу о том, что отношение кинетической энергии мячика после отскока к кинетической энергии мячика до отскока – постоянная величина. Кроме того, Вася заметил, что мячик отскакивает от пола под тем же углом, под которым падает на него. Вася сделал пружинную пушку в виде трубки с закрепленной внутри пружиной с жесткостью 500 Н/м и механизмом для взведения пружины, показывающим величину ее деформации. Пушка выбрасывает мячик под углом  $45^\circ$  к ровной горизонтальной поверхности, причем при сжатии пружины на 7 см мячик после большого количества отскоков останавливается в 50 м от пушки. Какую часть кинетической энергии теряет мячик при каждом отскоке, если гипотеза Васи верна?



### **Решение:**

Пусть  $\alpha = 45^\circ$  – угол, под которым вылетает мячик,  $v$  – скорость мячика после вылета из пушки, тогда  $v \sin \alpha$  и  $v \cos \alpha$  – вертикальная и горизонтальная составляющие скорости соответственно.

Пусть  $t$  – время, прошедшее до первого отскока, тогда  $v \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0$ , откуда  $t = \frac{2v \sin \alpha}{g}$ , где

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения. Расстояние от пушки до точки первого отскока мячика от пола составляет  $v \cos \alpha \cdot t = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$ .

Пусть отношение кинетической энергии мячика после отскока к кинетической энергии мячика до отскока равно  $\eta$ . Так как кинетическая энергия мячика пропорциональна квадрату его скорости, расстояние от точки первого отскока до точки второго отскока равно  $\frac{\eta v^2 \sin 2\alpha}{g}$ , расстояние от точки второго отскока до точки третьего отскока равно

$\frac{\eta^2 v^2 \sin 2\alpha}{g}$  и так далее. Расстояние от пушки до точки остановки мячика составляет

$$S = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g} (1 + \eta + \eta^2 + \eta^3 + \dots) = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g(1-\eta)}. \text{ Поэтому } 1 - \eta = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{gS}.$$

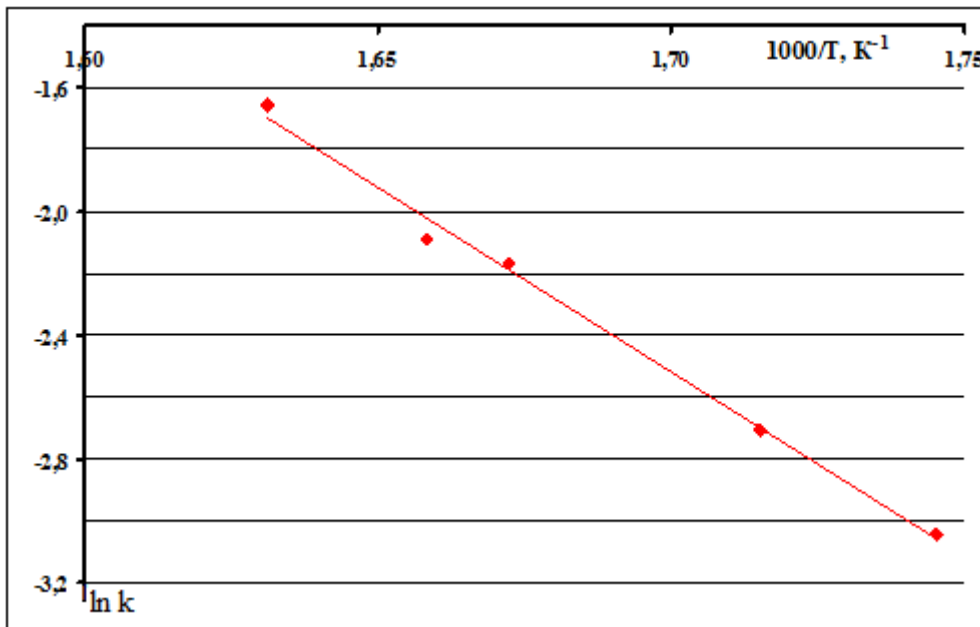
При этом начальная кинетическая энергия мячика равна потенциальной энергии взведенной пружины, то есть  $\frac{mv^2}{2} = \frac{kl^2}{2}$ , откуда  $v^2 = \frac{kl^2}{m}$ , где  $k = 500 \text{ Н/м}$  – жесткость пружины,  $l = 0,07 \text{ м}$  – сжатие пружины,  $m = 0,05 \text{ кг}$  – масса мячика.

Тогда  $1 - \eta = \frac{kl^2 \sin 2\alpha}{mgS}$ . Подставляя известные значения величин, получаем, что  $1 - \eta = 0,1$ . Таким образом, при отскоке мячик теряет 10% кинетической энергии.

**Ответ: 10%.**

### Задача 6 (20 баллов).

В 1889 году Сванте Августом Аррениусом был введен термин «энергия активации», обозначающий минимальное количество энергии, которое требуется сообщить системе, чтобы произошла реакция. Перед вами аррениусовская зависимость конверсии пропана при окислении пропана в смеси с азотом ( $[O_2] = 4,6\%$ ,  $[C_3H_8] = 10,5\%$ , остальное – азот). Определите энергию активации данного процесса.



### Решение:

Уравнение Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

Прологарифмировав это уравнение, получаем

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

Данное уравнение является уравнением прямой в координатах  $(\ln k, 1/T)$ . Тогда коэффициенту  $a$  в уравнении прямой вида  $y = b - ax$  будет соответствовать выражение  $E_a/R$ , а коэффициенту  $b$  – величина  $\ln A$ .

Запишем уравнение данной прямой в виде  $y = b - ax$ .

$$y \approx 22,2 - 11,6x \quad (x_1 \approx 1,7; y_1 \approx -2,5; x_2 \approx 1,65; y_2 \approx -1,92)$$

Из уравнения зависимости видно, что  $E_a/R = 11,6 \cdot 1000 \text{ К}$  (т.к. график дан в координатах  $(\ln k, 1000/T)$ ), отсюда  $E_a \approx 99,4 \text{ кДж/моль} \approx 23,8 \text{ ккал/моль}$ .

Ответ: 23,8 ккал/моль.