

# Наносистемы и наноинженерия

2022/23 учебный год

## Первый отборочный этап

### Предметный тур. Физика

#### Первая попытка. Задачи 8–9 класса

##### **Задача II.1.1.1. Увлажнитель воздуха (15 баллов)**

Темы: тепловой баланс, испарение.

##### **Условие**

Паровой увлажнитель воздуха нагревает воду и доводит ее до кипения. С помощью электрического нагревателя увлажнитель испаряет  $q$  мл воды за 1 ч,  $q$  мл/ч. Найти мощность нагревателя  $P_{\text{наг}}$ . Начальная температура воды  $t_0$  °C. Удельная теплоемкость воды  $C = 4,2$  кДж/(кг · °C), удельная теплота парообразования  $L = 2,3$  МДж/кг. Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Ответ дать в Вт с точностью 1 Вт.

##### **Решение**

За время  $\tau$  увлажнитель испаряет воду массой  $\rho q \tau$ .

Уравнение теплового баланса за это время:

$$P_{\text{наг}} \tau = q \rho \tau [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L], \text{ где } t_{\text{кип}} = 100^\circ\text{C}.$$

Отсюда:

$$P_{\text{наг}} = q \rho [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L].$$

Погрешность 2 Вт.

##### **Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$t_0$	16	24	1
$q$	200	300	5

Ответ:  $q \rho [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L]$ .

##### **Задача II.1.1.2. Электропоезд «Ласточка» начинает двигаться (20 баллов)**

Темы: КПД.

### Условие

Электропоезд «Ласточка» состоит из пяти вагонов общей массой  $m$  т. Два моторных вагона (с электродвигателями) создают общую силу тяги  $F = 280$  кН, благодаря которой поезд начинает двигаться с места с ускорением  $a$  м/с<sup>2</sup>. Найти КПД электропоезда. Ответ дать в % с точностью 1 %.

### Решение

Спустя время  $t$  после начала движения кинетическая энергия поезда равна  $\frac{m(at)^2}{2}$ , а работа силы тяги равна  $\frac{Fat^2}{2}$ . Тогда КПД электропоезда равен отношению полезной работы к затраченной:

$$\eta = \frac{ma}{F} \times 100\%.$$

Погрешность 1%.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$a$	0,60	0,70	0,01
$m$	240	260	1

Ответ:  $\eta = \frac{ma}{F} \times 100\%$ .

### Задача II.1.1.3. Электропитание оптических модулей (25 баллов)

Темы: закон Ома.

### Условие



Для глубоководного нейтринного телескопа на Байкале используют кластеры, состоящие из восьми гирлянд. Каждая гирлянда — это уходящий под воду вертикальный тонкий трос с навешенными оптическими модулями (шарами) для регистрации световых вспышек. Нижний конец троса укреплен на дне с помощью якоря, к верхнему концу троса прикреплен подводный буй, который поддерживает трос в вертикальном положении. Электропитание каждого оптического модуля осуществляется источником питания с напряжением  $U = 13$  В. Оптическому модулю для работы требуется напряжение  $U_0$  В, и он подключается к источнику питания медным проводом общей длиной  $l$  м, по которому протекает постоянный ток  $I = 250$  мА. Найти площадь сечения медного провода  $S$ . Удельное сопротивление меди  $\rho = 0,017$  Ом·мм<sup>2</sup>/м. Ответ дать в мм<sup>2</sup> с точностью 0,01 мм<sup>2</sup>.

### Решение

Напряжение на медном проводе равно  $U - U_0$ . По закону Ома сопротивление медного провода:

$$\frac{U - U_0}{I} = \frac{\rho l}{S}.$$

Отсюда площадь сечения медного провода равна:

$$S = \frac{\rho l I}{U - U_0}.$$

Погрешность 0,02 мм<sup>2</sup>.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$U_0$	11,5	12,2	0,1
$l$	170	190	1

Ответ:  $\frac{\rho l I}{U - U_0}$ .

### Задача II.1.1.4. Автомобиль с неисправностью (25 баллов)

Темы: мощность.

#### Условие

Незнайка с помощью волшебной палочки сделал обычный автомобиль, двигатель которого работал на спирту. КПД его двигателя оказался равным  $\eta_1\%$ . После длительного путешествия КПД уменьшился до значения  $\eta_2\%$ . Оказалось, что часть спирта стала вытекать через трещину в шланге. Найти долю  $\delta$  вытекающего спирта. Ответ дать в % с точностью 0,1 %.

### Решение

КПД исправного двигателя равен отношению его работы  $A$  к тепловой энергии  $Q$  сгораемого спирта:  $\eta_1 = \frac{A}{Q}$ . В двигателе с утечкой спирта работа уменьшается в  $(1 - \delta/100\%)$  раз. Поэтому  $\eta_2 = \frac{(1 - \delta/100\%)A}{Q}$ . Отсюда находим долю  $\delta$  вытекающего спирта:

$$\delta = \left(1 - \frac{\eta_2}{\eta_1} \times 100\%\right).$$

Погрешность 0,2%.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$\eta_1$	24,0	26,2	0,1
$\eta_2$	20,0	22,5	0,1

Ответ:  $\delta = \left(1 - \frac{\eta_2}{\eta_1} \times 100\%\right)$ .

### Задача II.1.1.5. (15 баллов)

Темы: простейшая динамика, силы.

#### Условие

К деревянному бруску массой 400 г, лежащему на горизонтальной деревянной доске, прикрепили пружину жесткостью 50 Н/м. Ученик потянул за пружину в горизонтальном направлении и брусок начал равномерно двигаться. Определить удлинение пружины, если коэффициент трения дерева по дереву равен 0,2.

Ответ выразить в мм и округлить до целых. Ускорение свободного падения считать равным  $10 \text{ м/с}^2$

#### Решение

Уравнения движения (2-й закон Ньютона) в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси выглядят так:  $kx = F_{\text{тр}}$ .  $mg = N$ .

Кроме того,  $F_{\text{тр}} = \mu N$ . В итоге  $x = \frac{\mu mg}{k} = 16 \text{ мм}$ .

Ответ: 16.

## Первая попытка. Задачи 10–11 класса

### Задача II.1.2.1. Ведро воды (15 баллов)

Темы: масса вещества.

### Условие

Десятиклассник наливает воду в пластмассовое ведро. Ведро имеет форму усеченного конуса высотой  $h$  см, нижним диаметром  $d_1$  см и верхним диаметром  $d_2 = 25$  см. Какая масса воды заполнит ведро целиком? Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Ответ дать в кг с точностью 0,1 кг. Объем прямого конуса равен третьей части от произведения площади основания на высоту.

### Решение

Объем ведра равен:

$$V = \frac{\pi h(d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}{12}.$$

Масса воды:

$$m = \frac{\pi h \rho (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}{12}.$$

Погрешность 0,1 кг.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$d_1$	14	24	1
$h$	22	32	1

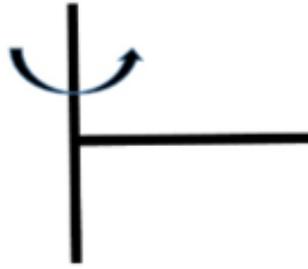
Ответ:  $\frac{\pi h \rho (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}{12}$ .

### Задача II.1.2.2. Два вращающихся прута (20 баллов)

Темы: равномерное вращение, центробежная сила.

### Условие

Два тонких стальных прута соединили под прямым углом так, что к середине первого прута приварен конец второго прута. Первый прут расположили вдоль вертикальной оси, а второй прут вращается в горизонтальной плоскости с постоянной угловой скоростью  $\omega = 3,1$  рад/с. Найти горизонтальную составляющую силы, действующей на первый прут со стороны второго прута. Масса второго прута  $m$  кг, а его длина  $L$  м. Ответ дать в Н с точностью 1 Н.



### Решение

На второй прут действует горизонтальная центробежная сила. Ее можно найти, если мысленно разрезать прут на небольшие кусочки длиной  $\Delta l$ . На такой кусочек массой  $\frac{m\Delta l}{L}$ , находящийся на расстоянии  $l$  от оси вращения, действует небольшая центробежная сила  $\Delta F = \frac{m\Delta l}{L}\omega^2 l$ . Сложив все эти силы, получим полную центробежную силу  $\left(\sum_0^L l\Delta l = \frac{L^2}{2}\right)$ :

$$F = m\omega^2 L/2.$$

Эта же сила действует на первый прут

Погрешность 1 Н.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$m$	3,0	7,0	0,5
$L$	1,3	1,7	0,1

Ответ:  $m\omega^2 L/2$ .

### Задача II.1.2.3. Полет паука (20 баллов)

Темы: второй закон Ньютона, ускорение.

#### Условие

Маленький паук размером 1 мм и массой  $m = 5,0$  мг может подняться в воздух за счет электрического заряда на нитях своей паутины  $q = 1,0$  нКл. Между землей и облаками постоянно существует электрическое поле, напряженность которого у поверхности земли на расстояниях, сравнимых с размером паука, может достигать больших значений. Известно, что после вертикального взлета паук летел равноускорено, и за время  $t$  с поднялся на высоту  $h$  см. Найти значение напряженности электрического поля  $E$  в этом случае. Ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Спротивлением воздуха пренебречь. Ответ дать в кВ/м с точностью 1 кВ/м.

---

### Решение

Вертикальное ускорение паука  $a = 2h/t^2$ . Уравнение движения паука:

$$ma = qE - mg.$$

Отсюда находим значение напряженности электрического поля:

$$E = m(g + 2h/t^2)/q.$$

Погрешность 1 кВ/м.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$h$	0,15	0,25	0,01
$t$	0,045	0,055	0,001

**Ответ:**  $m(g + 2h/t^2)/q$ .

### Задача II.1.2.4. Электромобиль (25 баллов)

Темы: мощность.

#### Условие

Винтик и Шпунтик смастерили для коротышек современный электромобиль. Они использовали электродвигатель постоянного тока, работающий от аккумулятора. КПД электродвигателя  $\eta = 0,69$ . Однажды Незнайка забрался в электромобиль, нажал на кнопку, и машина поехала. Рабочий ток в обмотке электродвигателя был равен  $I_1$ . Затем электромобиль наехал на собачью будку и электродвигатель перестал вращаться. Ток в обмотке электродвигателя увеличился до значения  $I_2$ , а напряжение на аккумуляторе осталось неизменным. Найти отношение токов  $I_2/I_1$ . Ответ дать с точностью 0,1.

#### Решение

При работе электромотора его мощность расходуется на полезную мощность  $P$  и мощность тепловых потерь:

$$UI = P + I^2R,$$

где  $U$  — напряжение аккумулятора,  $R$  — сопротивление обмотки. Отсюда получим два уравнения для двух токов:

$$UI_1 = P + I_1^2R,$$

$$UI_2 = I_2^2R.$$

Из этой системы находим КПД электродвигателя:

$$\eta = \frac{P}{UI_1} = 1 - \frac{I_1}{I_2}.$$

---

Отношение токов равно  $I_2/I_1 = 1/(1 - \eta) = 3,2$ .

Погрешность 0,1.

**Ответ:**  $3,2 \pm 0,1$ .

### **Задача II.1.2.5. (15 баллов)**

*Темы: энергия, закон сохранения энергии.*

#### **Условие**

С какой высоты должна была бы падать на землю градина при начальной температуре  $-10^\circ\text{C}$ , чтобы после падения на земле оставалась лужа при  $0^\circ\text{C}$ , если известно, что в процессе падения  $\alpha = 15\%$  механической энергии градины уходит на нагревание окружающего ее воздуха? Удельная теплоемкость льда равна  $c = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ; удельная теплота плавления льда равна  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$ . Ускорение свободного падения вблизи поверхности земли  $g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ . Ответ дайте в километрах и округлите до целого.

#### **Решение**

Перед началом падения градины ее энергия полностью была потенциальной и равнялась  $E = mgh$ , где  $m$  — масса градины,  $h$  — искомая высота. При падении известная доля энергии ушла на нагрев окружающей среды, а остальная в конечном счете превратилась в тепловую энергию градины (частично до, частично в процессе столкновения с землей). При этом тепловая энергия, необходимая для нагрева и плавления градины задается выражением:

$$Q = cm\Delta t + \lambda m.$$

Приравняв  $Q = (1 - \alpha)E$ , получим:

$$c\Delta t + \lambda = (1 - \alpha)gh \Rightarrow h = \frac{c\Delta t + \lambda}{(1 - \alpha)g} \approx 42 \text{ км}.$$

Реально облака, содержащие градины, формируются на значительно меньшей высоте, поэтому рассмотренный процесс не происходит на практике.

**Ответ:**  $42 \pm 1$ .

## **Вторая попытка. Задачи 8–9 класса**

### **Задача II.1.3.1. Электропоезд «Ласточка» (15 баллов)**

*Темы: мощность электрического тока.*

### Условие

Электропоезд «Ласточка» состоит из пяти вагонов. В поезде работают  $n$  электродвигателей общей мощностью  $P = 2932$  кВт. Питание электропоезда происходит через контактную сеть напряжением  $U$  кВ. Найти силу тока, поступающего к каждому параллельно подключенному двигателю. Ответ дать в А с точностью 1 А.

### Решение

Из выражения для мощности электрического тока получаем

$$I = \frac{P}{nU}.$$

Погрешность 1 А.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$n$	4	8	1
$U$	2,8	3,2	0,1

Ответ:  $\frac{P}{nU}$ .

### Задача II.1.3.2. КПД увлажнителя воздуха (20 баллов)

Темы: тепловой баланс, КПД.

### Условие

Паровой увлажнитель воздуха номинальной мощностью 260 Вт работает в комнате. С помощью электрического нагревателя увлажнитель нагревает и испаряет 300 мл воды за 1 ч,  $q = 300$  мл/ч. Найти КПД увлажнителя.

Удельная теплоемкость воды  $C = 4,2$  кДж/(кг · °С), удельная теплота парообразования  $L = 2,3$  МДж/кг. Температура в комнате  $t_0 = 20$  °С. Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Ответ дать в процентах с точностью 1%.

### Решение

За время  $\tau$  увлажнитель испаряет воду массой  $\rho q \tau$ .

Уравнение теплового баланса за это время:

$$P_{\text{наг}} \tau = q \rho \tau [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L], \text{ где } t_{\text{кип}} = 100^\circ\text{C}.$$

Отсюда находим мощность нагревателя:

$$P_{\text{наг}} = q \rho [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L].$$

Тогда

$$\text{КПД} = \frac{P_{\text{наг}}}{P} \times 100\% = \frac{q\rho [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L]}{P} \times 100\% = 84\%.$$

Погрешность 1%.

Ответ:  $84 \pm 1$ .

### Задача П.1.3.3. Сила натяжения троса (25 баллов)

Темы: сила Архимеда, второй закон Ньютона.

Условие



Для глубоководного нейтринного телескопа на Байкале используют кластеры, состоящие из восьми гирлянд. Каждая гирлянда — это уходящий под воду вертикальный тонкий трос с навешенными оптическими модулями (шарами массой  $m_1 = 15$  кг и объемом  $V_1 = 0,065$  м<sup>3</sup>). Нижний конец троса укреплен на дне с помощью якоря, к верхнему концу троса прикреплен подводный буй, который поддерживает трос в вертикальном положении. Буй вместе с участком троса до верхнего шара имеет массу  $M_1$  кг, а участок троса от верхнего шара до нижнего шара имеет массу  $M_2$  кг. Всего на тросе закреплено  $n = 36$  шаров на одинаковых расстояниях. К нижнему шару прикреплен участок троса с якорем. Найти силу натяжения троса в точке чуть ниже прикрепления шара с номером  $n_1 = 10$ . Шары нумеруются вдоль троса сверху вниз. Объем буя  $V = 1,8$  м<sup>3</sup>.

Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Ответ дать в Н с точностью 1 Н.

Решение

Выше этой точки находится буй со своим тросом,  $n_1$  шаров и  $n_1 - 1$  одинаковых кусков троса между соседними шарами. Из 2-го закона Ньютона для этой совокуп-

ности находим силу натяжения троса:

$$T = \rho g (V + n_1 V_1) - \left( M_1 + M_2 \frac{n_1 - 1}{n - 1} + n_1 m_1 \right) g.$$

Погрешность 10 Н.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$M_1$	1450	1550	5
$M_2$	1050	1100	5

**Ответ:**  $\rho g (V + n_1 V_1) - \left( M_1 + M_2 \frac{n_1 - 1}{n - 1} + n_1 m_1 \right) g.$

### Задача II.1.3.4. Электромобиль попал в аварию (25 баллов)

Темы: мощность, КПД.

#### Условие

Незнайка с помощью волшебной палочки сделал современный электромобиль, в котором используется электродвигатель постоянного тока, работающий от аккумулятора. КПД электродвигателя  $\eta$ . Однажды Незнайка с друзьями отправился на электромобиле в путешествие. Рабочий ток в обмотке электродвигателя был равен  $I_1 = 0,45$  А. Неожиданно электромобиль наехал на кочку, и электродвигатель перестал вращаться. Ток в обмотке электродвигателя увеличился до значения  $I_2 = 2,15$  А. Найти  $\eta$ . Ответ дать в % с точностью 1%.

#### Решение

При работе электромотора его мощность расходуется на полезную мощность  $P$  и мощность тепловых потерь:

$$UI = P + I^2 R,$$

где  $U$  — напряжение аккумулятора,  $R$  — сопротивление обмотки. Отсюда получим два уравнения для двух токов

$$UI_1 = P + I_1^2 R,$$

$$UI_2 = I_2^2 R.$$

Из этой системы находим КПД электродвигателя

$$\eta = \frac{P}{UI_1} = \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \times 100\% = 79\%.$$

Погрешность 1%.

**Ответ:**  $79 \pm 1$ .

---

### Задача II.1.3.5. (15 баллов)

Темы: кинематика.

#### Условие

Оцените продолжительность полета к звезде Тау Кита, находящейся на расстоянии 12 световых лет от Солнечной системы, на космическом корабле, летящем со скоростью 30 км/с. 1 св. год =  $9,5 \cdot 10^{12}$  км. Ответ необходимо дать в тыс. лет.

#### Решение

За время полета корабля  $t_k$  он должен преодолеть расстояние  $S = c \cdot t_{св}$ , то есть:

$$c \cdot t_{св} = V_k \cdot t_k \Rightarrow t_k = \frac{ct_{св}}{V_k} = \frac{3 \cdot 10^5 \text{ км/с} \cdot 12 \text{ лет}}{30 \text{ км/с}} = 12 \cdot 10^4 \text{ лет} = 120 \text{ тыс. лет.}$$

Ответ:  $120 \pm 2000$ .

## Вторая попытка. Задачи 10–11 класса

### Задача II.1.4.1. Взлет паука (15 баллов)

Темы: напряженность электрического поля.

#### Условие

Маленький паук размером 1 мм и массой  $m$  мг может подняться в воздух за счет электрического заряда на нитях своей паутины  $q$  нКл. Между землей и облаками постоянно существует электрическое поле, напряженность которого у поверхности земли на расстояниях, сравнимых с размером паука, может достигать больших значений. Найти минимальное значение напряженности электрического поля  $E_0$ , при котором паук сможет взлететь. Ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Ответ дать в кВ/м с точностью 1 кВ/м.

#### Решение

Условие взлета паука  $mg = qE_0$ .

Отсюда находим минимальное значение напряженности электрического поля:

$$E_0 = \frac{mg}{q}.$$

Погрешность 1 кВ/м.

## Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$m$	3,0	7,0	0,5
$q$	0,9	1,3	0,1

Ответ:  $\frac{mg}{q}$ .

### Задача II.1.4.2. Скорость заполнения ведра (20 баллов)

Темы: расход вещества, равномерное движение.

#### Условие

Десятиклассник наливает воду в пластмассовое ведро из шланга сечением  $S = 5,0 \text{ см}^2$ . Ведро имеет форму усеченного конуса высотой  $h = 26 \text{ см}$ , нижним диаметром  $d_1 = 18 \text{ см}$  и верхним диаметром  $d_2 = 25 \text{ см}$ . В какой-то момент времени уровень воды в ведре имеет высоту  $z = 12 \text{ см}$ . Найти скорость подъема уровня воды в этот момент времени. Скорость струи воды, вытекающей из шланга, равна  $v = 10 \text{ см/с}$ . Ответ дать в мм/с с точностью 0,1 мм/с.

#### Решение

Так как вода в ведро поступает равномерно, то постоянный расход воды  $Q = Sv$  будет равен произведению площади горизонтального сечения ведра на уровне воды на скорость подъема уровня воды в этот момент времени:

$$Sv = \frac{\pi d^2}{4} u,$$

где  $d$  — диаметр горизонтального сечения на высоте  $z$ . Из геометрии усеченного конуса следует, что  $d = d_1 + (d_2 - d_1)z/h$ . Отсюда находим скорость подъема уровня воды:

$$u = \frac{4Sv}{\pi(d_1 + (d_2 - d_1)z/h)^2} = 1,4 \text{ мм/с}.$$

Погрешность 0,1 мм/с.

Ответ:  $1,4 \pm 0,1$ .

### Задача II.1.4.3. Цикл Отто (20 баллов)

Темы: тепловая машина.

#### Условие

В бензиновом двигателе внутреннего сгорания расход топлива равен  $q = 0,65 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ . Удельная теплота сгорания бензина  $r = 46 \text{ МДж/кг}$ . За время  $t$  минут все отданное двигателем тепло  $Q = 12,2 \text{ МДж}$  получает система охлаждения двигателя.

Рабочий процесс такого двигателя можно приближенно описать идеальным циклом Отто, состоящим из двух изохор и двух адиабат. КПД цикла Отто рассчитывается по формуле  $\eta = 1 - 1/n^{\gamma-1}$ , где  $\gamma$  — показатель адиабаты сгорающей топливо-воздушной смеси. Найти степень сжатия двигателя  $n = V_2/V_1$ , где  $V_2$  — максимальный и  $V_1$  — минимальный объемы смеси. Ответ дать с точностью 0,1.

### Решение

От нагревателя получается тепло  $q_{rt}$  и отдается холодильнику тепло  $Q$ . Тогда КПД тепловой машины приравняем КПД цикла Отто:

$$1 - \frac{Q}{q_{rt}} = 1 - \frac{1}{n^{\gamma-1}}.$$

Отсюда находим степень сжатия двигателя:

$$n = \left( \frac{q_{rt}}{Q} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}.$$

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$t$	9,5	10,5	0,1
$\gamma$	1,30	1,37	0,01

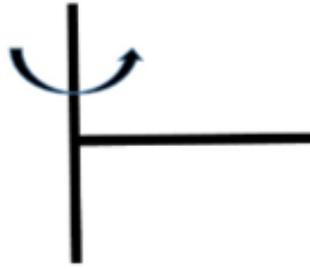
Ответ:  $\left( \frac{q_{rt}}{Q} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}.$

### Задача II.1.4.4. Энергия вращающегося прута (25 баллов)

Темы: равноускоренное вращение, кинетическая энергия.

### Условие

Два тонких стальных прута соединили под прямым углом так, что к середине первого прута приварен конец второго прута. Первый прут расположили вдоль вертикальной оси, а второй прут начинают вращать в горизонтальной плоскости с угловой скоростью  $\omega = \beta t$ , где угловое ускорение  $\beta = 1,1 \text{ рад/с}^2$ . Найти кинетическую энергию второго прута в момент времени  $t = 3,0 \text{ с}$ . Масса второго прута  $m \text{ кг}$ , а его длина  $L \text{ м}$ . Ответ дать в Дж с точностью 0,1 Дж.



### Решение

Мысленно разрежем прут на небольшие кусочки длиной  $\Delta l$ . Такой кусочек массой  $\frac{m\Delta l}{L}$  имеет скорость  $V = \beta tl$ , где  $l$  — расстояние от оси вращения. Кинетическая энергия кусочка равна  $\Delta E = \frac{m\Delta l \omega^2 l^2}{L \cdot 2}$ . Сложив все эти энергии, получим полную кинетическую энергию второго прута  $\left( \sum_0^L l^2 \Delta l = \frac{L^3}{3} \right)$ :

$$E = \frac{m\beta^2 t^2 L^2}{6}.$$

Погрешность 0,2 Дж.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$m$	3,0	7,0	0,5
$L$	1,3	1,7	0,1

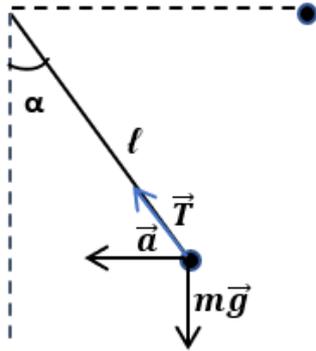
Ответ:  $\frac{m\beta^2 t^2 L^2}{6}$ .

### Задача П.1.4.5. (20 баллов)

Темы: динамика.

### Условие

К стене прикрепили тонкую невесомую нить длиной 26 см с грузом массой 500 г на втором конце. Подвешенный груз отклонили от стены так, что нить приняла горизонтальное положение и отпустили (см. рисунок). Определить, на каком расстоянии от стены ускорение груза будет направлено горизонтально? Ответ выразить в см и округлите до целых.



*Решение*

$$\text{ЗСЭ: } mgl = mgl(1 - \cos \alpha) + \frac{mv^2}{2} \Rightarrow gl \cos \alpha = \frac{v^2}{2}.$$

$$\text{II з-н на нормаль: } T - mg \cos \alpha = m \frac{v^2}{l} \Rightarrow T = 3mg \cos \alpha.$$

$$\text{II з-н на } OY: T \cos \alpha = mg \Rightarrow 3 \cos^2 \alpha = 1 \Rightarrow \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

$$\text{Или } \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha} = \sqrt{2}, \alpha \approx 55^\circ.$$

Из тригонометрической функции  $\cos \alpha$  найдем расстояние от груза до стены, зная угол и гипотенузу.

**Ответ:** 15.

## Третья попытка. Задачи 8–9 класса

### Задача П.1.5.1. Буй гирлянды (20 баллов)

Темы: сила Архимеда.

Условие



Для глубоководного нейтринного телескопа на Байкале используют кластеры, состоящие из восьми гирлянд. Каждая гирлянда – это уходящий под воду вертикальный тонкий трос с навешенными оптическими модулями (шарами массой  $m_1 = 15$  кг и объемом  $V_1 = 0,065$  м<sup>3</sup>). Нижний конец троса укреплен на дне с помощью якоря, к верхнему концу троса прикреплен подводный буй, который поддерживает трос в вертикальном положении. Буй вместе с участком троса до верхнего шара имеет массу  $M_1$  кг, а участок троса от верхнего шара до нижнего шара имеет массу  $M_2$  кг. Всего на тросе закреплено  $n = 36$  шаров на одинаковых расстояниях. К нижнему шару прикреплен участок троса с якорем. В этой точке прикрепления сила натяжения троса равна  $T = 10000$  Н. Найти объем буя  $V$ . Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Ответ дать в м<sup>3</sup> с точностью 0,01 м<sup>3</sup>.

Решение

На часть гирлянды, расположенной выше точки прикрепления участка троса с якорем, действуют сила тяжести, сила Архимеда и сила натяжения троса:

$$(M_1 + M_2 + nm_1)g + T = \rho g(V + nV_1).$$

Отсюда находим объем буя

$$V = \frac{M_1 + M_2 + nm_1}{\rho} + \frac{T}{\rho g} - nV_1.$$

Погрешность 0,02 м<sup>3</sup>.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$M_1$	1450	1550	5
$M_2$	1050	1100	5

Ответ:  $\frac{M_1 + M_2 + nm_1}{\rho} + \frac{T}{\rho g} - nV_1.$

### Задача II.1.5.2. Сила трения (25 баллов)

Темы: второй закон Ньютона.

#### Условие

Электропоезд «Ласточка» состоит из пяти вагонов общей массой  $m$  т. Каждый из двух моторных вагонов создает силу тяги  $F_1 = 140$  кН, благодаря которой поезд начинает двигаться с места с ускорением  $a$  м/с<sup>2</sup>. Найти силу трения, действующую на поезд. Силой сопротивления воздуха пренебречь. Ответ дать в кН с точностью 1 кН.

#### Решение

2-ой закон Ньютона:

$$ma = 2F_1 - F_{\text{тр}}.$$

Отсюда

$$F_{\text{тр}} = 2F_1 - ma.$$

Погрешность 1%.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$m$	240	260	1
$a$	0,60	0,70	0,01

Ответ:  $2F_1 - ma.$

### Задача II.1.5.3. Повышение температуры воздуха (0 баллов)

Темы: тепловой баланс, испарение и нагревание.

## Условие



Паровой увлажнитель воздуха номинальной мощностью 260 Вт работает в закрытой комнате объемом  $V$  м<sup>3</sup>. С помощью электрического нагревателя увлажнитель нагревает и испаряет 300 мл воды за 1 ч:  $q = 300$  мл/ч. Начальная температура воздуха в комнате  $t_0 = 20$  °С. Удельная теплоемкость воды  $C = 4,2$  кДж/(кг · °С), удельная теплота парообразования  $L = 2,3$  МДж/кг. Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Найти температуру воздуха в комнате  $t$  через время  $T$  мин после начала работы увлажнителя. Плотность воздуха  $\rho = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>, а его удельная теплоемкость равна  $C_{\text{воз}} = 1,0$  кДж/(кг · °С). Теплоемкостью увлажнителя, водяного пара и стен комнаты пренебречь. Ответ дать в °С с точностью 0,1 °С.

## Решение

За время  $T$  увлажнитель испаряет воду массой  $\rho q T$ .

Уравнение теплового баланса за это время:

$$P_{\text{наг}} T = \rho q T [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L],$$

где  $t_{\text{кип}} = 100$  °С.

Отсюда находим мощность, затраченную на испарение воды

$$P_{\text{наг}} = \rho q [C(t_{\text{кип}} - t_0) + L].$$

Оставшаяся мощность увлажнителя идет на нагрев воздуха в комнате:

$$(P - P_{\text{наг}}) T = C_{\text{воз}} \rho_{\text{воз}} V (t - t_0).$$

Тогда получаем температуру воздуха в комнате через время  $T$  мин после начала работы увлажнителя:

$$t = t_0 + \frac{(P - P_{\text{наг}}) T}{C_{\text{воз}} \rho_{\text{воз}} V}.$$

Погрешность 0,2 °С.

## Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$T$	200	300	10
$V$	80	120	5

Ответ:  $t_0 + \frac{(P - P_{\text{нар}})T}{C_{\text{воз}}\rho_{\text{воз}}V}$ .

### Задача II.1.5.4. Электромобиль (35 баллов)

Темы: мощность.

#### Условие

Незнайка с помощью волшебной палочки сделал современный электромобиль, в котором используется электродвигатель постоянного тока мощностью  $P$  Вт, работающий от аккумулятора с напряжением  $U = 12$  В. Рабочий ток в обмотке электродвигателя равен  $I$  А. Найти сопротивление  $R$  обмотки электродвигателя. Ответ дать в Ом с точностью 0,1 Ом.

#### Решение

При работе электромотора его мощность расходуется на полезную мощность и мощность тепловых потерь:

$$UI = P + I^2R.$$

Отсюда находим сопротивление  $R$  обмотки электродвигателя

$$R = \frac{UI - P}{I^2}.$$

Погрешность 0,2 Ом.

Величина	min	max	Шаг
$P$	3,0	4,2	0,1
$I$	0,44	0,55	0,1

Ответ:  $\frac{UI - P}{I^2}$ .

### Задача II.1.5.5. (20 баллов)

Темы: кинематика.

---

### Условие

Астроном наблюдает в телескоп ближайшую к нам звезду звездную систему Альфа Центавра, которая находится на расстоянии  $4,05 \cdot 10^{13}$  км от Солнечной системы. Какой он видит эту звезду? Такой, какая она есть сейчас, или такой, какая она была в прошлом? В ответе указать 0 лет, если астроном видит звезду такая она есть сейчас, или то количество лет (приблизительно) какой она была в прошлом. При этом помним о том, что свет распространяется со скоростью 300 тыс. км/с. Ответ дать с точностью до десятых года.

### Решение

От звезды до астронома свет идет время

$$t = \frac{S}{c} = \frac{4,05 \cdot 10^{13} \text{ км}}{3 \cdot 10^5 \text{ км/с}} = 1,35 \cdot 10^8 \text{ с} \approx 4,28 \text{ лет},$$

то есть астроном видит звезду такой, какой она была примерно 4,28 года назад.

**Ответ:**  $4,3 \pm 0,1$ .

## Третья попытка. Задачи 10–11 класса

### Задача П.1.6.1. Два прута (15 баллов)

Темы: момент силы.

#### Условие

Два тонких стальных прута соединили под прямым углом так, что к середине первого прута приварен конец второго прута. Первый прут закрепили неподвижно в вертикальном положении. Найти результирующий момент всех вертикальных сил, действующих на второй прут, относительно его свободного конца. Масса второго прута  $m$  кг, а его длина  $L$  м. Ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Ответ дать в Н · м с точностью 1 Н · м.



### Решение

На второй прут действуют две вертикальные силы: направленная вниз сила тяжести и направленная вверх сила реакции первого прута. Их суммарный момент сил равен:

$$N = mgL/2.$$

Погрешность 1 Н · м.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$m$	3,0	7,0	0,5
$L$	1,3	1,7	0,1

Ответ:  $N = mgL/2$ .

### Задача II.1.6.2. Время заполнения ведра (20 баллов)

Темы: расход вещества, равномерное движение.

### Условие

Десятиклассник наливает воду в пластмассовое ведро из шланга сечением  $S$ . Ведро имеет форму усеченного конуса высотой  $h = 26$  см, нижним диаметром  $d_1 = 18$  см и верхним диаметром  $d_2 = 25$  см. За какое время пустое ведро заполнится полностью? Скорость струи воды, вытекающей из шланга, равна  $v$  см/с. Ответ дать в с с точностью 1 с.

### Решение

Так как вода в ведро поступает равномерно, то объем ведра равен произведению расхода воды  $Q = Sv$  на время заполнения  $t_1$ :

$$V = Svt_1.$$

Отсюда находим время заполнения ведра водой:

$$t = \frac{\pi h(d_1^2 + d_1d_2 + d_2^2)}{12Sv}.$$

Погрешность 2 с.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$m$	3,0	7,0	0,5
$L$	1,3	1,7	0,1

Ответ:  $\frac{\pi h(d_1^2 + d_1d_2 + d_2^2)}{12Sv}$ .

### Задача II.1.6.3. Система охлаждения двигателя (20 баллов)

Темы: расход жидкости, тепловой баланс.

#### Условие

В бензиновом двигателе внутреннего сгорания за время  $t$  мин все отданное работающим двигателем тепло  $Q$  МДж получает система охлаждения двигателя. В системе охлаждения двигателя циркулирует жидкость — антифриз, который прокачивается насосом, забирает тепло у рубашки двигателя и отдает это тепло радиатору. Рубашка и радиатор соединяются трубками (их площадь сечения  $S = 3,0 \text{ см}^2$ ). В рабочем режиме двигателя разность температур антифриза на входе и выходе рубашки равна  $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Найти скорость течения антифриза  $V$  по трубкам. Плотность антифриза  $\rho = 1120 \text{ кг/м}^3$ , а его удельная теплоемкость  $C = 3600 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$ . Ответ дать в м/с с точностью 0,1 м/с.

#### Решение

За небольшой промежуток времени  $\tau$  в рубашку втекает масса антифриза  $\rho S V \tau$ . Тогда запишем уравнение теплового баланса:

$$\frac{Q\tau}{t} = \rho S V \tau C \Delta T.$$

Отсюда находим скорость течения антифриза

$$V = \frac{Q}{t\rho S C \Delta T}.$$

Погрешность 0,2 м/с.

#### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$t$	9,5	10,5	0,1
$Q$	11,5	12,7	0,01

Ответ:  $\frac{Q}{t\rho S C \Delta T}$ .

### Задача II.1.6.4. Высота полета (25 баллов)

Темы: второй закон Ньютона, ускорение, скорость.

#### Условие

Маленький паук размером 1 мм и массой  $m = 5,0 \text{ мг}$  может подняться в воздух за счет электрического заряда на нитях своей паутины  $q = 1,0 \text{ нКл}$ . Между землей и облаками постоянно существует электрическое поле, напряженность ( $E = 53 \text{ кВ/м}$ )

которого у поверхности земли на расстояниях, сравнимых с размером паука, может достигать больших значений. Известно, что на паука в полете также действует сила сопротивления воздуха  $F_c = -kV$ , где коэффициент сопротивления равен  $k = 50$  мкН/(м/с). На какую высоту  $H$  поднимется паук за время  $\tau$  с? Ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Ответ дать в см с точностью 0,1 см.

### Решение

Уравнение движения паука:

$$ma = qE - mg - kV.$$

Скорость максимальна при нулевом ускорении  $a = 0$ :

$$V_m = \frac{qE - mg}{k}.$$

Для небольшого промежутка времени  $\Delta t$ :

$$m \frac{\Delta V}{\Delta t} = qE - mg - k \frac{\Delta h}{\Delta t}.$$

Отсюда  $m\Delta V = (qE - mg)\Delta t - k\Delta h$ .

Суммируя это уравнение по  $\Delta t$  от 0 до  $\tau$  получим высоту:

$$H = V_m \left( \tau - \frac{m}{k} \right).$$

Погрешность 0,1 см.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$\tau$	0,30	0,60	0,01

Ответ:  $V_m \left( \tau - \frac{m}{k} \right)$ .

### Задача II.1.6.5. (20 баллов)

Темы: электростатика.

#### Условие

На краях диэлектрической спицы длиной 10 см закреплены заряженные шарики: слева закреплен шарик с зарядом  $+9$  нКл, а справа — с зарядом  $+16$  нКл. Между шариками на спице расположена бусинка, способная скользить по ней практически без трений.

Определить на каком расстоянии до левого шарика окажется бусина через очень большое время, если сообщить ей заряд  $-2$  нКл. Ответ выразить в мм и округлить до целых.

---

**Решение**

Условие равновесия среднего шарика:  $\frac{kq_1q_3}{r_1^2} = \frac{kq_2q_3}{r_2^2}$ .

Кроме того  $r_1 + r_2 = l$ .

Решая эту систему, получим  $r_1 = \frac{l\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_2} + \sqrt{q_1}} = 43$  мм.

**Ответ:** 43.

## Четвертая попытка. Задачи 8–9 класса

### Задача II.1.7.1. Автомобиль (15 баллов)

Темы: КПД.

**Условие**

Незнайка с помощью волшебной палочки сделал обычный автомобиль, двигатель которого работал на спирту. В спиртовом двигателе внутреннего сгорания расход топлива равен  $q = 1,05$  мкг/с. Удельная теплота сгорания спирта  $r = 26$  МДж/кг. За время  $t$  мин все отданное двигателем тепло  $Q$  Дж получает система охлаждения двигателя. Найти КПД спиртового двигателя. Ответ дать в % с точностью 1%.

**Решение**

От нагревателя получается тепло  $qrt$  и отдается холодильнику тепло  $Q$ . Тогда:

$$\text{КПД} = \left(1 - \frac{Q}{qrt}\right) \times 100\%.$$

Погрешность 1%.

**Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$t$	10,5	11,5	0,1
$Q$	11,0	11,7	0,1

**Ответ:**  $\left(1 - \frac{Q}{qrt}\right) \times 100\%$ .

### Задача II.1.7.2. Повышение влажности воздуха (20 баллов)

Темы: влажность воздуха.

### Условие

Паровой увлажнитель воздуха номинальной мощностью 260 Вт работает в закрытой комнате объемом  $V = 100 \text{ м}^3$ . С помощью электрического нагревателя увлажнитель испаряет  $q$  мл воды за 1 ч,  $q$  мл/ч. Постоянная температура в комнате  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Плотность насыщенного водяного пара при этой температуре  $\rho_{\text{нас}} = 17,3 \text{ г/м}^3$ . Начальная влажность воздуха  $\varphi_0\%$ . Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Найти влажность воздуха  $\varphi\%$  через время  $T = 50$  мин после начала работы увлажнителя. Ответ дать в % с точностью 1%.

### Решение

Начальная плотность водяного пара в воздухе равна  $\varphi_0\rho_{\text{нас}}/100\%$ . За время  $T$  увлажнитель испаряет воду массой  $\rho qT$ . Тогда плотность водяного пара увеличится на величину  $\rho qT/V$  и влажность воздуха станет равной:

$$\varphi = \frac{\varphi_0\rho_{\text{нас}}/100\% + \rho qT/V}{\rho_{\text{нас}}} \times 100\%.$$

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$\varphi_0$	20	35	1
$q$	200	300	5

Ответ:  $\frac{\varphi_0\rho_{\text{нас}}/100\% + \rho qT/V}{\rho_{\text{нас}}} \times 100\%$ .

### Задача П.1.7.3. КПД оптического модуля (25 баллов)

Темы: закон Джоуля – Ленца, КПД.

### Условие



Для глубоководного нейтринного телескопа на Байкале используют кластеры, состоящие из восьми гирлянд. Каждая гирлянда — это уходящий под воду вертикальный тонкий трос с навешенными оптическими модулями (шарами) для регистрации световых вспышек. Нижний конец троса укреплен на дне с помощью якоря, к верхнему концу троса прикреплен подводный буй, который поддерживает трос в вертикальном положении. Электропитание каждого оптического модуля сопротивлением  $R$  Ом осуществляется низковольтным источником питания с напряжением  $U$ . Оптическому модулю для работы требуется напряжение  $U_0 < U$  и он подключается к источнику питания медным проводом общей длиной  $l$  м, по которому протекает постоянный ток  $I$ . Площадь сечения медного провода  $S = 1,5 \text{ мм}^2$ . Удельное сопротивление меди  $\rho = 0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ . Найти КПД оптического модуля. Ответ дать в % с точностью 1%.

### Решение

Сопротивление медного провода равно:  $\frac{\rho l}{S}$ . КПД равно отношению полезной работы к затраченной. С использованием закона Джоуля – Ленца получим:

$$\text{КПД} = \frac{I^2 R}{I^2 (R + \rho l / S)} \times 100\% = \frac{100\%}{1 + \rho l / (SR)}$$

Погрешность 2%.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$R$	14,0	16,0	0,1
$l$	170	190	1

Ответ:  $\frac{100\%}{1 + \rho l / (SR)}$ .

### Задача II.1.7.4. Постоянная скорость поезда (25 баллов)

Темы: второй закон Ньютона, равномерное движение.

#### Условие

Электропоезд «Ласточка» состоит из пяти вагонов общей массой  $m = 260$  т. Каждый из двух моторных вагонов создает силу тяги  $F_1 = 120$  кН, благодаря которой поезд двигается с постоянной скоростью  $V$ . Сила трения, действующая на поезд, равна  $F_{\text{тр}} = 80$  кН. Сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости поезда  $F_c = -kV$ , где коэффициент сопротивления равен  $k = 4,0$  кН/(м/с). Найти скорость поезда. Ответ дать в м/с с точностью 1 м/с.

### Решение

При движении с постоянной скоростью сумма проекций горизонтальных сил равна нулю:

$$2F_1 - F_{\text{тр}} - F_c = 0.$$

Отсюда находим постоянную скорость:

$$V = \frac{2F_1 - F_{\text{тр}}}{k} = 40 \text{ м/с}.$$

Погрешность 1 м/с.

Ответ:  $40 \pm 1$ .

### Задача II.1.7.5. (15 баллов)

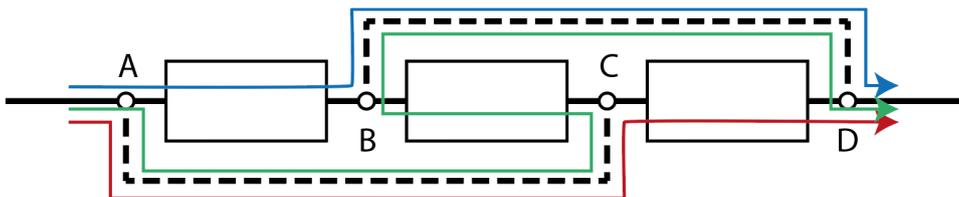
Темы: электродинамика.

#### Условие

Три прибора с одинаковым сопротивлением распаяны на плате с четырьмя контактами:  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ . Первый прибор включен между контактами  $A$  и  $B$ , второй — между контактами  $B$  и  $C$ , третий — между контактами  $C$  и  $D$ . При этом сопротивление между контактами  $A$  и  $D$  оказывается равно  $R_0$ . Во сколько раз уменьшится это сопротивление, если впаять два соединительных провода с пренебрежимо малым сопротивлением: один, соединяющий контакты  $A$  и  $C$ , и второй, соединяющий контакты  $B$  и  $D$ ? Ввести ответ одним числом.

#### Решение

Изобразив схему изначального соединения приборов, несложно увидеть, что она представляет собой простое последовательное соединение. Добавление проводов  $AC$  и  $BD$  (пунктирные на рисунке) создаёт схему, эквивалентную параллельному соединению, поскольку ток может пройти между контактами  $A$  и  $D$  через любой из включённых приборов независимо (соответствующие «траектории» изображены на схеме разными цветами), а потенциалы точек  $A$ ,  $C$  и  $B$ ,  $D$  соответственно, оказываются равны. Используя формулы для эффективного сопротивления последовательно и параллельно подключённых резисторов, легко показать, что сопротивление цепи уменьшится в 9 раз.



Ответ: 9.

---

## Четвертая попытка. Задачи 10–11 класса

### Задача П.1.8.1. Бензиновый двигатель (15 баллов)

Темы: КПД.

#### Условие

В бензиновом двигателе внутреннего сгорания расход топлива равен  $q = 0,65 \cdot 10^{-3}$  кг/с. Удельная теплота сгорания бензина  $r = 46$  МДж/кг. За время  $t$  мин все отданное двигателем тепло  $Q$  МДж получает система охлаждения двигателя. Найти КПД бензинового двигателя. Ответ дать в % с точностью 1%.

#### Решение

От нагревателя получается тепло  $qrt$  и отдается холодильнику тепло  $Q$ . Тогда:

$$\text{КПД} = \left(1 - \frac{Q}{qrt}\right) \times 100\%.$$

Погрешность 1%.

#### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$t$	9,5	10,5	0,1
$Q$	11,5	12,7	0,1

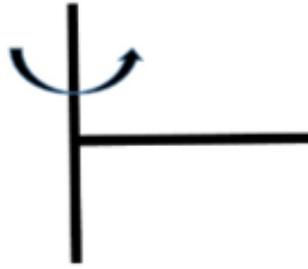
Ответ:  $\left(1 - \frac{Q}{qrt}\right) \times 100\%$ .

### Задача П.1.8.2. Полное ускорение (20 баллов)

Темы: равноускоренное вращение.

#### Условие

Два тонких стальных прута соединили под прямым углом так, что к середине первого прута приварен конец второго прута. Первый прут расположили вдоль вертикальной оси, а второй прут начинают вращать в горизонтальной плоскости с угловой скоростью  $\omega = \beta t$ , где угловое ускорение  $\beta = 1,1$  рад/с<sup>2</sup>. Найти полное ускорение свободного конца второго прута в момент времени  $t$  с. Масса второго прута  $m = 5,0$  кг, а его длина  $L$  м. Ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Ответ дать в м/с<sup>2</sup> с точностью 0,1 м/с<sup>2</sup>.



### Решение

Скорость свободного конца второго прута равна  $V = \beta tL$ , а его центростремительное ускорение это  $\beta^2 t^2 L$ . Так как свободный конец второго прута движется равноускоренно по окружности, то составляющая ускорения, касательная к окружности, равна  $\beta L$ . Полное ускорение находим по теореме Пифагора:

$$a = \sqrt{(\beta^2 t^2 L)^2 + (\beta L)^2} = \beta L \sqrt{1 + \beta^2 t^4}.$$

Погрешность  $0,1 \text{ м/с}^2$ .

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$L$	1,3	1,7	0,1
$t$	2,8	3,9	0,1

Ответ:  $\beta L \sqrt{1 + \beta^2 t^4}$ .

### Задача II.1.8.3. Максимальная скорость полета (20 баллов)

Темы: второй закон Ньютона, сила сопротивления.

#### Условие

Маленький паук размером 1 мм и массой  $m = 5,0$  мг может подняться в воздух за счет электрического заряда на нитях своей паутины  $q = 1,0$  нКл. Между землей и облаками постоянно существует электрическое поле, напряженность ( $E = 53$  кВ/м) которого у поверхности земли на расстояниях, сравнимых с размером паука, может достигать больших значений. Известно, что на паука в полете также действует сила сопротивления воздуха  $F_c = -kV$ , где коэффициент сопротивления равен  $k = 50$  мкН/(м/с). Найти максимальное значение скорости полета паука  $V_m$ . Ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Ответ дать в см/с с точностью  $0,1 \text{ см/с}$ .

#### Решение

Уравнение движения паука:

$$ma = qE - mg - kV.$$

Скорость максимальна при нулевом ускорении  $a = 0$ :

$$V_M = \frac{qE - mg}{k} = 8,0 \text{ см/с.}$$

Погрешность 0,1 см/с.

**Ответ:**  $8,0 \pm 0,1$ .

### **Задача II.1.8.4. Время выливания воды (25 баллов)**

Темы: расход вещества, равноускоренное движение.

#### **Условие**

Десятиклассник выливает воду из полного пластмассового ведра таким образом, что расход воды уменьшается со временем  $t$  линейным образом:  $Q = q_0 \cdot (1 - t/t_2)$ , где  $q_0$  л/с — начальный расход,  $t_2$  — время выливания всей воды из ведра ( $0 \leq t \leq t_0$ ). Расход воды — это объем воды, выливаемый из ведра за единицу времени. Ведро имеет форму усеченного конуса высотой  $h$  см, нижним диаметром  $d_1 = 18$  см и верхним диаметром  $d_2 = 25$  см. Найти  $t_2$ . Ответ дать в с с точностью 0,1 с.

#### **Решение**

Так как вода из ведра выливается равноускорено, то объем ведра равен произведению среднего расхода воды  $Q_0/2$  на время выливания  $t_2$ :

$$V = t_2 Q_0 / 2.$$

Отсюда находим время выливания воды:

$$t_2 = \frac{\pi h (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}{6Q_0}.$$

Погрешность 0,2 с.

#### **Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$Q_0$	1,0	6,0	0,5
$h$	22	32	1

**Ответ:**  $\frac{\pi h (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)}{6Q_0}$ .

### **Задача II.1.8.5. (20 баллов)**

Темы: равноускоренное движение.

---

### Условие

На представлении жонглер одной рукой подбрасывает мяч и в этот же момент ловит следующий. Всего жонглер использует пять мячей. Определите, чему равно расстояние от мяча в наивысшей точке до соседних мячей, если жонглер подбрасывает их на 1,25 м? Ответ выразите в см и округлите до целых. Ускорение свободного падения считайте равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

### Решение

$$t_{\text{н}} = \frac{v_0}{g};$$

$$\Delta t = \frac{2t_{\text{н}}}{4} = \frac{v_0}{2g}.$$

$$\Delta y = h_{\text{н}} - v_0 \Delta t + \frac{g \Delta t^2}{2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} + \frac{g}{2} \frac{v_0^2}{4g^2} = \frac{v_0^2}{8g} \approx 31 \text{ см}.$$

Ответ: 31.

# Предметный тур. Химия

## Первая попытка. Задачи 8–9 класса

### Задача П.2.1.1. (25 баллов)

Темы: растворы, молярная концентрация.

#### Условие

Одним из методов нанесения нанопокровтий на металлические украшения является электрохимическое восстановление малоактивных металлов из водных растворов их солей на поверхности этих объектов. При этом происходит вытеснение металла из его соли и осаждение на покрываемой поверхности. Деталь в форме равнобедренного треугольника с основанием  $a = 6$  см и боковыми сторонами равными  $c = 5$  см, погрузили в стакан, содержащий раствор нитрата серебра концентрацией  $C = 0,001$  М и начали процесс нанесения покрытия при перемешивании раствора соли. Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $d$  нм, а концентрация соли уменьшилась до  $C_0$  М. Какой объем исходного раствора был взят для нанесения покрытия? Ответ выразите в мл и округлите до целого числа. Толщиной детали и изменением объема раствора пренебречь. Плотность серебра —  $10,5$  г/см<sup>3</sup>.

#### Решение

Найдем площадь поверхности детали. Равнобедренный треугольник можно разрезать на два прямоугольных треугольника с гипотенузой 5 см и одним из катетов, равным 3 см. В этом случае второй катет, по теореме Пифагора, равен  $b = \sqrt{(c_2 - a_2)} = 4$  см, а общая площадь поверхности детали равна  $S = 2ab = 24$  см<sup>2</sup>.

Теперь найдем количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$ .

Объем выделившегося серебра на поверхности может быть найден по формуле  $V = Sd$ .

Так как  $m(\text{Ag}) = n \cdot M(\text{Ag})$ ,  $V(\text{Ag}) = m/\rho$ ,  $V(\text{Ag}) = Sd$ , получаем  $n = \rho d S / M(\text{Ag})$ .

Количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$  равно разнице между начальным количеством серебра и конечным в растворе, существующем в форме ионов  $\text{Ag}^+$ . Эти количества выражаются через объем раствора и его концентрацию в начальный момент и конечный:  $n = CV - C_0V$ , откуда

$$V(\text{мл}) = n / (C - C_0) = \rho d S / (M(\text{Ag}) \cdot (C - C_0)) = 2,333 \cdot 10^{-4} d / (0,0010 - C_0),$$

если в подставлять  $d$  в нанометрах.

Таким образом, необходимо подставить необходимые величины в полученную формулу с учетом их размерности. Ответ в задании зависит от исходных данных.

Диапазон ответов — 20–250 мл. Точность  $\pm 2$  мл.

## Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$C_0$	0,0002	0,0008	0,0001
$d$	70	130	5

### Задача П.2.1.2. (20 баллов)

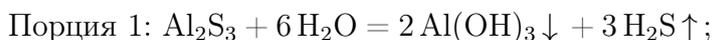
Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

#### Условие

Измельченную смесь алюминия и серы прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, при этом выделилось  $X$  л (н. у.) газа, а к второй — избыток раствора гидроксида натрия, при этом выделилось  $Y$  л (н. у.) газа. Какова масса алюминия в исходной смеси? Ответ выразите в г и округлите до целых.

#### Решение

Факт выделения газа при добавлении раствора гидроксида натрия означает, что алюминий в смеси находился в избытке, поскольку в противном случае этого бы не произошло (сера и сульфид алюминия реагируют со щелочью без выделения газообразных продуктов). Таким образом, в смеси после прокаливания находились сульфид алюминия и избыток самого алюминия.



Найдем массы веществ после прокаливания в каждой порции:

$$n(\text{H}_2\text{S}) = X/V_m n(\text{Al}_2\text{S}_3) = n(\text{H}_2\text{S})/3 = X/3V_m, m(\text{Al}_2\text{S}_3) = M(\text{Al}_2\text{S}_3) \cdot X/3V_m.$$

$$n(\text{H}_2) = Y/V_m, n(\text{Al}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{S})/3V_m = 2Y/3V_m, m(\text{Al}) = 2M(\text{Al}) \cdot Y/3V_m.$$

При прокаливании происходила химическая реакция  $2 \text{Al} + 3 \text{S} = \text{Al}_2\text{S}_3$ , при этом алюминий находился в избытке, поэтому его масса равна:

$$m(\text{нач}) = 2 \cdot (m(\text{Al}) + m(\text{Al}_2\text{S}_3)w(\text{Al})),$$

где  $w(\text{Al})$  — массовая доля элемента алюминия в его сульфиде.

Таким образом,  $m(\text{нач}) = 4M(\text{Al}) \cdot Y/3V_m + 4M(\text{Al}) \cdot X/3V_m$ ,  $V_m = 22,4$  л/моль,  $M(\text{Al}) = 27$  г/моль.  $m(\text{нач}) = 4M(\text{Al}) \cdot Y/3V_m + 2M(\text{Al}) \cdot X/3V_m = 1,607(Y + X)$ .

Итоговый ответ зависит от исходных значений  $X$  и  $Y$ .

## Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$X$	2,24	22,4	2,24
$Y$	2,24	22,4	2,24

### Задача II.2.1.3. (20 баллов)

Темы: растворы, содержание элемента в смеси.

#### Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в литровой мерной колбе. Имеются 0,1 М растворы нитрата аммония, нитрата калия и дигидрофосфата калия, с помощью этих солей готовится концентрат, содержащий  $X$  мг азота,  $Y$  мг фосфора и  $Z$  мг калия. Какой объем раствора нитрата аммония необходимо взять для приготовления такого концентрата? Отклонением плотности растворов от 1 г/мл пренебречь. Ответ выразите в мл и округлить до целых.

#### Решение

Фосфор вносится только с помощью  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

$$n(\text{P}) = Y/31, n(\text{K}) = Z/39, \text{отсюда } n(\text{KNO}_3) = n(\text{K}) - n(\text{P}) = Z/39 - Y/31.$$

$$n(\text{N}) = n(\text{KNO}_3) + 2n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = X/14, \text{откуда}$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31)).$$

$$V(\text{р-ра}) = n/C = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31))/0,1 = 5X/14 + 5Y/31 - 5Z/39 \text{ мл.}$$

#### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	140	350	70
Y	31	37,2	6,2
Z	78	208	13

### Задача II.2.1.4. (15 баллов)

Темы: нахождение элемента по молярной массе, доля вещества в смеси.

#### Условие

Композиты для отверждаемых пломб в стоматологии — многокомпонентная смесь, включающая, главным образом, органические вещества, отвечающие за образование твердеющей смолы, а также неорганический микро- или наноразмерный наполнитель, который обеспечивает сопротивляемость усадке пломбы со временем. В некотором композите белого цвета на наполнитель приходится 40% его массы. Определите материал наполнителя, если известно, что он представляет собой оксид некоторого элемента, а масса образца композита, содержащего 0,1 моль этого наполнителя, составляет 20 г. В ответе запишите название элемента одним словом на русском языке.

## Решение

Найдем массу и молярную массу неизвестного оксида  $A_xO_y$ .

$m(A_xO_y) = 20 \cdot 0,4 = 8$  г,  $M(A_xO_y) = 8/0,1 = 80$  г/моль. Пусть валентность элемента в оксиде  $n$ .

При  $n = 1$   $M(A) = (80 - 16)/2 = 32$ , это сера, но оксида  $S_2O$  не существует.

$n = 2$   $M(A) = 80 - 16 = 64$ , это медь, но оксид меди (II) — черный, не подходит.

$n = 3$   $M(A) = (80 - 16 \cdot 3)/2 = 16$ , это кислород, противоречит смыслу задачи.

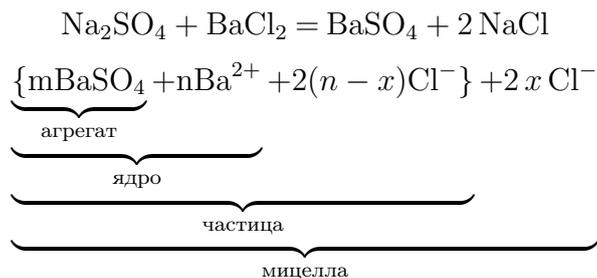
$n = 4$   $M(A) = 80 - 16 \cdot 2 = 48$ , это **титан**,  $TiO_2$  белый, подходит.

**Ответ:** титан.

## Задача П.2.1.5. (12 баллов)

*Темы: неорганическая химия, коллоидные системы.*

Мицелла — это отдельная частица дисперсной фазы коллоидной системы с жидкой дисперсионной средой, состоящая из кристаллического или аморфного ядра и поверхностного слоя, включающего сольватно связанные молекулы окружающей жидкости. Пример: реакция сульфата натрия и избытка хлорида бария:



Избыток одного из компонентов действует как стабилизатор коллоидного раствора. Вначале образуется агрегат мицеллы, являющийся мельчайшим кристалликом. На поверхности кристалла  $BaSO_4$  имеются вакантные места, которые занимают ионы  $Ba^{2+}$ , вследствие избирательной ионной адсорбции достраивающие кристаллическую решетку. Они придают положительный заряд поверхности ядра, поэтому называются потенциалопределяющими ионами (ПО-ионами).

Ионы  $Cl^-$  под действием электростатических сил притягиваются к ядру и нейтрализуют заряд. Противоионы находятся в тепловом движении. Часть противоионов  $(n-x)$ , находящихся в непосредственной близости от ядра, связаны с ним помимо электростатических сил адсорбционными силами. Другая часть противоионов  $x$ , находящаяся вследствие теплового движения и электростатического отталкивания между одноименно заряженными ионами, находится на некотором удалении от ядра, образуя диффузионный слой.

Таким образом, вокруг мицеллы существует двойной электрический слой, стабилизирующий мицеллу. Заряды потенциалопределяющих ионов и противоионов полностью скомпенсированы, поэтому мицелла электронейтральна.

Принципы построения формулы мицелл:

- Агрегат мицеллы должен быть нерастворимым соединением.
- Потенциалопределяющими ионами могут быть ионы из дисперсной фазы, изоморфные им или органические ионы с высокой адсорбционной способностью.

- Противоионы образуют с потенциалопределяющим ионом растворимое соединение.
- Мицелла в целом электронейтральна.
- Коэффициенты  $m$ ,  $n$ ,  $(n - x)$ ,  $x$  являются постоянными для любой мицеллы и численно не определены.

### Условие

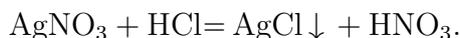
Мицелла образуется в ходе взаимодействия избытка раствора соединения **A** с раствором соединения **B**. Установите компонент **A** если известно, что:

- в ходе реакции взаимодействия вещества **A** с соляной кислотой происходит выпадение белого осадка;
- под действием гидроксида натрия из вещества **A** образуется темно-коричневый осадок, который растворяется в водном растворе аммиака;
- при сильном нагревании ( $350^\circ\text{C}$ ) вещество **A** разлагается с образованием бурого газа.

В качестве ответа введите формулу вещества **A**.

### Решение

Основываясь на условиях задачи, можно сделать вывод, что компонентом **A** является  $\text{AgNO}_3$ , так как:

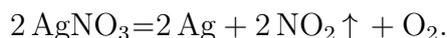
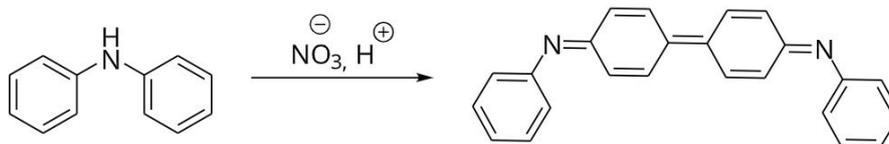


$\text{AgCl}$  — нерастворимый в воде осадок белого цвета.



$\text{Ag}_2\text{O}$  — темно-коричневый осадок растворимый в водном растворе аммиака.

При взаимодействии дифениламина с нитрат-ионами в кислой среде наблюдается темно-синее окрашивание:



В ходе реакции разложения  $\text{AgNO}_3$  происходит выделение бурого газа  $\text{NO}_2$ .

Ответ:  $\text{AgNO}_3$ .

### Задача II.2.1.6. (8 баллов)

Темы: общая и неорганическая химия.

### Условие

Выберите химические и физико-химические процессы, в ходе которых одним из продуктов реакции будет являться кислород  $O_2$ .

1. Горение фосфора.
2. Нагревание пероксида водорода.
3. Оксид ртути (II) + сконцентрированный двояковыпуклой линзой пучок солнечных лучей.
4. Взаимодействие раствора серной кислоты и алюминия.
5. Взаимодействие металлического магния с парами воды.
6. Реакция замещения меди железом в растворе сульфата меди (II).

Ответ: 2, 3.

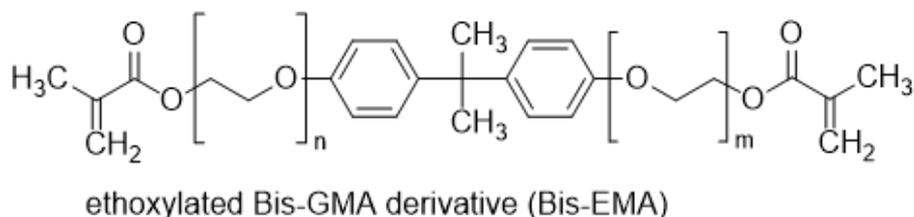
## Первая попытка. Задачи 10–11 класса

### Задача II.2.2.1. (15 баллов)

Темы: установление формулы органического вещества по продуктам сгорания.

### Условие

Композиты для отверждаемых пломб в стоматологии — многокомпонентная смесь, включающая, главным образом, неорганический микро- или наноразмерный наполнитель, который обеспечивает сопротивляемость усадке пломбы со временем, а также органический мономер, который при активации катализатором или с помощью ультрафиолета полимеризуется и превращается в смолу. Одним из таких мономеров является bis-EMA — соединение с формулой, представленной на изображении, при этом  $n + m$  обычно не превышает 10. Рассчитайте точное количество звеньев ( $n + m$ ), если при сгорании 5,4 г этого соединения образуется 6,944 л (н. у.) углекислого газа и 3,6 г воды.



### Решение

Найдем соотношение  $n(C) : n(H)$  по продуктам сгорания.

$$n(CO_2) = 6,944 / 22,4 = 0,31 \text{ моль}, n(C) = n(CO_2) = 0,31 \text{ моль}.$$

$$n(H_2O) = 3,6 / 18 = 0,2 \text{ моль}, n(H) = 2n(H_2O) = 0,4 \text{ моль}.$$

$$n(C) : n(H) = 31 : 40.$$

---

Общая формула мономера —  $C_{23}H_{24}O_4(C_2H_4O)_{n+m}$ .

При  $m + n = 4$  общей формулой будет  $C_{31}H_{40}O_8$ , и соотношение  $n(C) : n(H) = 31 : 40$  выполняется.

Уравнение горения мономера:  $C_{31}H_{40}O_8 + 37 O_2 = 31 CO_2 + 20 H_2O$ .

Можно решить это задание и стандартным способом через нахождение молярной массы мономера.

**Ответ:** 4.

### **Задача II.2.2.2. (20 баллов)**

*Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.*

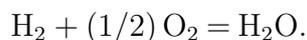
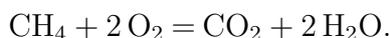
#### **Условие**

Измельченную смесь  $a$  г алюминия и  $b$  г углерода прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, а к второй — избыток раствора гидроксида натрия, в обоих случаях наблюдалось выделение бесцветного газа. Газы, выделившиеся в результате этих реакций, объединили и высушили, а затем сожгли. Чему равна плотность полученной смеси при  $200^\circ C$  и атмосферном давлении ( $1 \text{ атм} = 101,3 \text{ кПа}$ )? Ответ выразите в г/мл и округлите до десятых.

#### **Решение**



При горении смеси метана и водорода выделится смесь углекислого газа и воды:



Найдем количества алюминия и углерода.  $n(Al) = a/M(Al)$ ,  $n(C) = b/M(C)$ . Значения  $a$  и  $b$  в задании подобраны таким образом, чтобы алюминий находился в избытке (иначе можно было бы дать ответ на поставленный вопрос, избегая расчетов по уравнениям реакций, так как смесь газов состояла бы из чистого метана).

Видно, что в обоих случаях выделяется одинаковое количество метана, а во второй порции еще и водород за счет реакции избытка алюминия с раствором щелочи. Найдем их количества.

Обратим внимание на то, что в результате всех химических превращений весь углерод перешел сначала в форму карбида алюминия, затем в форму метана, а затем — в форму углекислого газа, таким образом количество вещества метана равно начальному количеству вещества углерода:  $n(CH_4) = n(CO_2) = n(C) = b/M(C)$ .

Осталось рассчитать количество вещества водорода. Для начала найдем количество алюминия, содержащееся в смеси после прокаливания  $n(\text{Al})_{\text{ост}}$ .

$$n(\text{Al})_{\text{реак}} = 4/3 \cdot n(\text{C}) = 4b/3M(\text{C}).$$

$$n(\text{Al})_{\text{ост}} = (1/2) \cdot [a/M(\text{Al}) - 4b/3M(\text{C})].$$

$$\text{Тогда } n(\text{H}_2) = (3/2) \cdot n(\text{Al})_{\text{ост}} = (3/4) \cdot [a/M(\text{Al}) - 4b/3M(\text{C})].$$

Подставим в формулы  $M(\text{C}) = 12$  г/моль,  $M(\text{Al}) = 27$  г/моль, чтобы они стали менее громоздкими.

$$\text{Тогда } n(\text{CO}_2) = b/12, n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2) + 2n(\text{CH}_4) = a/36 + b/12.$$

Найдем среднюю молярную массу газовой смеси.

$$\begin{aligned} M_{\text{ср}} &= \frac{m(\text{общ})}{n(\text{общ})} = \frac{[m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{CO}_2)]}{[n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{CO}_2)]} = \frac{[44(b/12) + 18(a/36 + b/12)]}{[a/36 + b/6]} = \\ &= 6 \cdot (3a + 31b)/(a + 6b). \end{aligned}$$

$$pV = (m/M_{\text{ср}})RT, \rho = M(p/RT).$$

$$T = 200 + 273 = 473 \text{ К}, R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}), p = 101,3 \text{ кПа}.$$

$$\rho = (101,3/(473 \cdot 8,31)) \cdot 6 \cdot (3a + 31b)/(a + 6b) = 0,1546 \cdot (3a + 31b)/(a + 6b) \text{ г/мл}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений  $a$  и  $b$ .

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$a$	27	54	3
$b$	8	12	1

### Задача II.2.2.3. (25 баллов)

Темы: растворы, электролиз.

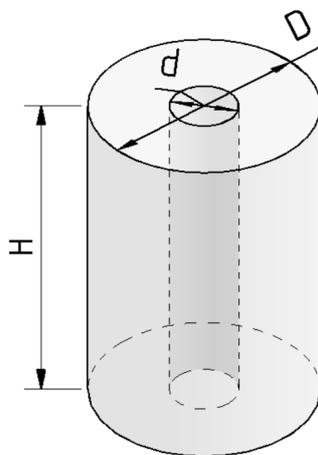
#### Условие

Одним из методов нанесения защитных покрытий на изделия из алюминия является их анодирование, заключающееся в том, что изделие подключается в электрохимическую цепь в качестве анода, в результате чего происходит частичное растворение металла и его покрытие тонким слоем инертного оксида.

В деталь в форме цилиндра с диаметром основания  $D = 6$  см и высотой  $H$  см ( $D < H$ ) просверлили продольное сквозное отверстие диаметром  $d$ , а затем погрузили в стакан, содержащий раствор серной кислоты и начали процесс нанесения покрытия, подключив к источнику постоянного тока силой  $I = 50$  А на  $t = 30$  мин. Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $x = 0,02$  мм и плотностью 4 г/мл.

Рассчитайте диаметр просверленного отверстия, если выделявшийся на электродах кислород не улетучивался и не участвовал в сторонних химических процессах? Толщиной растворившегося слоя алюминия пренебречь.

Количество выделившегося в ходе электролиза вещества пропорционально заряду, пропущенного через раствор и может быть найдена по закону Фарадея:  $n = It/(zF)$ , где  $I$  — сила тока в А,  $t$  — время в с,  $z$  — количество участвующих в процессе электронов, а  $F$  — постоянная Фарадея, равная 96500 Кл/моль.



### Решение

Найдем площадь поверхности детали:

$$S = 2S(\text{оснований}) + S(\text{боковая внешняя}) + S(\text{боковая внутренняя}) = \\ = \pi(D^2 - d^2)/2 + \pi(D + d)H.$$

Выразим  $d$  через  $S$ , для этого потребуется решить квадратное уравнение:

$$d = H \pm \sqrt{(H + D)^2 - 2S/\pi}.$$

Так как  $D < H$ , нужно выбрать меньший из корней:  $d = H - \sqrt{(H + D)^2 - 2S/\pi}$ .  
 $V = Sx$ ,  $m = M(\text{Al}_2\text{O}_3)n = \rho V = \rho Sx$ , значит  $n = \rho Sx/M(\text{Al}_2\text{O}_3)$ .

Кислород генерируется на алюминиевом аноде в ходе полуреакции окисления:  $2\text{H}_2\text{O} - 4e^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$ , таким образом, на 1 моль образующегося кислорода тратится 4 электрона,  $z = 4$ .

$4\text{Al} + 3\text{O}_2 = 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $n = n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2/3 \cdot n(\text{O}_2) = 2It/(3ZF) = It/6F$ , откуда  $\rho Sx/M(\text{Al}_2\text{O}_3) = It/6F$ .

Получаем  $S = M(\text{Al}_2\text{O}_3)It/[6F\rho x]$ , тогда

$$d = H - \sqrt{(H + D)^2 - M(\text{Al}_2\text{O}_3)It/(3F\rho x\pi)}.$$

Подставим постоянные величины:  $I = 5$  А,  $t = 1800$  с,  $F = 96500$  Кл/моль,  $D = 6$  см,  $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102$  г/моль,  $\pi = 3,14$ ,  $\rho = 4$  г/мл.

$$d = H - \sqrt{(6 + H)^2 - 0,252/x}.$$

$x$  необходимо перевести в сантиметры.

$$d = H - \sqrt{(6 + H)^2 - 126}.$$

## Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$H$ см	6,5	7,3	0,05

### Задача П.2.2.4. (20 баллов)

Темы: растворы, содержание элемента в смеси.

#### Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в мерной колбе. Имеются растворы нитрата аммония, нитрата калия и гидрофосфата калия концентрацией 0,05 М. При доведении до метки по ошибке вместо дистиллированной воды был использован 0,1 М раствор поваренной соли.

Какова массовая доля кислорода в смеси солей, образующейся при осторожном выпаривании досуха питательного раствора, который содержит  $X$  мг азота,  $Y$  мг фосфора и  $Z$  мг калия? Возможными процессами разложения и гидролиза солей пренебречь. Ответ дайте в процентах с точностью до десятых.

#### Решение

Будем сначала считать, что ошибки не произошло. Для получения ответа на вопрос необходимо рассчитать массу каждой из солей, которые вносят вклад в формирование раствора. Фосфор вносится только с помощью  $K_2HPO_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

Найдем молярные массы солей:

$NH_4NO_3$  — 80 г/моль,  $KNO_3$  — 101 г/моль,  $K_2HPO_4$  — 174 г/моль.

$$n(P) = n(KH_2PO_4) = Y/31, \quad n(K) = Z/39, \quad \text{отсюда}$$

$$n(KNO_3) = n(K) - 2n(K_2HPO_4) = Z/39 - 2 \cdot Y/31.$$

$$n(N) = n(KNO_3) + 2n(NH_4NO_3) = X/14, \quad \text{откуда}$$

$$n(NH_4NO_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)).$$

$$m(\text{солей}) = 80n(NH_4NO_3) + 101n(KNO_3) + 174n(K_2HPO_4).$$

$$\begin{aligned} m(\text{солей}) &= 40 \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)) + 101 \cdot (Z/39 - 2 \cdot Y/31) + 174 \cdot Y/31 = \\ &= 20X/7 + 61Z/39 + 52Y/31. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(O) &= 16 \cdot (4n(KH_2PO_4) + 3 \cdot n(NH_4NO_3) + 3 \cdot n(KNO_3)) = \\ &= 64Y/31 + 24 \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)) + 48 \cdot (Z/39 - 2 \cdot Y/31) = 16Y/31 + 12X/7 + 24Z/39. \end{aligned}$$

Теперь необходимо рассчитать, сколько  $NaCl$  было добавлено. Для этого нам требуется знать объемы всех стандартных растворов солей, взятых для приготовления концентрата, чтобы по остаточному принципу вычислить объем добавленного раствора поваренной соли.

$$V(KH_2PO_4) = n(KH_2PO_4)/C(KH_2PO_4) = Y/31/0,05 = 20Y/31.$$

$$V(\text{KNO}_3) = C(\text{KNO}_3) \cdot n(\text{KNO}_3) = (Z/39 - 2 \cdot Y/31)/0,05 = 20Z/39 + 40Y/31.$$

$$V(\text{NH}_4\text{NO}_3) = C(\text{NH}_4\text{NO}_3) \cdot n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31))/0,05 =$$

$$= 10X/14 - 10Z/39 + 20Y/31.$$

$$V(\text{NaCl}) = 1 - 20Y/31 - 20Z/39 + 40Y/31 - [10X/14 - 10Z/39 + 20Y/31].$$

$$V(\text{NaCl}) = 1 - 10Z/39 - 10X/14.$$

$$m(\text{NaCl}) = M(\text{NaCl}) \cdot C(\text{NaCl}) \cdot V(\text{NaCl}) = 5,85 \cdot (1 - 10Z/39 - 10X/14).$$

$$m(\text{общ}) = m(\text{солей}) + m(\text{NaCl}) = 20X/7 + 61Z/39 + 52Y/31 + 5,85 \cdot (1 - 10Z/39 - 10X/14).$$

$$W(\text{O}) = m(\text{O})/m(\text{общ}).$$

$$W(\text{O}) (\%) = \frac{[16Y/31 + 12X/7 + 24Z/39]}{[20X/7 + 61Z/39 + 52Y/31 + 5,85 \cdot (1 - 10Z/39 - 10X/14)]} \cdot 100.$$

Подставлять X, Y, Z необходимо в г.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	49 мг = 0,049 г	63 мг = 0,063 г	7 мг = 0,007 г
Y	31 мг = 0,031 г	37,2 мг = 0,0372 г	6,2 мг = 0,0062 г
Z	117 мг = 0,117 г	195 мг = 0,195 г	39 мг = 0,039 г

### Задача II.2.2.5. Доставка прямо в точку (12 баллов)

Темы: органическая химия, системы доставки.

Липосомы — это микроскопические сферы, стенки которых устроены так же, как клеточная мембрана. Впервые их получили еще в 1960-х годах, в 1970-х ученые предложили использовать липосомы для доставки лекарств, а сейчас лекарства в липосомах применяются для лечения целого ряда болезней от гриппа до различных видов злокачественных новообразований.

Липосомы могут осуществлять адресную доставку веществ туда, где они нужны. Понятие «адресная доставка» сопровождается практически любой рассказ о перспективах развития фармакологии, и это не случайно — при химиотерапии рака, например, только адресной доставкой можно уменьшить тяжесть побочных эффектов от достаточно токсичных препаратов.



Рис. II.2.1. Липосома и строение липоконъюгата

---

Основными структурными компонентами липосом являются липоконъюгаты, в состав которых входят:

- гидрофобный домен (углеводородные цепи);
- спейсерная группа (аминокислоты, глицерин, полиэтиленгликоли);
- адресный лиганд (антитела, углеводы и небольшие пептиды).

Особенный интерес представляют именно адресные лиганды, так как они отвечают за направленную доставку содержимого липосомы. Одним из таких лигандов является пептид **АВС**, состоящий из трех последовательно связанных между собой протеиногенных аминокислот.

### Условие

При горении 87 г одноосновной аминокислоты **А** выделяется 63 мл воды и 89,6 л (н. у.) газообразной смеси, при пропускании которой через известковую воду образуется 300 г осадка. В качестве ответа запишите тривиальное название аминокислоты **А**. Ответ введите одним словом на русском языке в именительном падеже. Например, лизин.

### Решение

При горении аминокислоты образуются следующие продукты: вода, углекислый газ и азот. Из двух получаемых газов только углекислый газ при пропускании через известковую воду вступает в реакцию:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Из условия задачи известно, что в ходе приведенной выше реакции образуется 300 г осадка карбоната кальция. Из уравнения реакции находим количество вещества и объем углекислого газа:

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \frac{m}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{300 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 3 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{CaCO}_3) = 3 \text{ моль},$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot V_m = 3 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 67,2 \text{ л}.$$

Затем находим объем и количество вещества выделившегося азота:

$$V(\text{N}_2) = V(\text{CO}_2 + \text{N}_2) - V(\text{CO}_2) = 89,6 \text{ л} - 67,2 \text{ л} = 22,4 \text{ л},$$

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} = 22,4 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 1 \text{ моль}.$$

Для дальнейшего расчета необходимо определить количество вещества воды:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})}{M} = \frac{63 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл}}{18 \text{ г/моль}} = 3,5 \text{ моль}.$$

Из полученных значений количеств вещества продуктов находим значение количеств веществ основным элементов, входящих в состав аминокислоты. Так, на одну молекулу углекислого газа приходится один атом углерода и их количества вещества совпадают:

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 3 \text{ моль}.$$

На молекулу вещества воды приходится 2 атома водорода, поэтому количество вещества воды умножаем на 2:

$$\nu(\text{H}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2 = 3,5 \text{ моль} \cdot 2 = 7 \text{ моль}.$$

Аналогично и в случае азота, на одну молекулу газа приходится 2 атома азота:

$$\nu(\text{N}) = \nu(\text{N}_2) \cdot 2 = 1 \text{ моль} \cdot 2 = 2 \text{ моль}.$$

Опираясь на полученные данные рассчитываем массы соответствующих элементов:

$$m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 3 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 36 \text{ г},$$

$$m(\text{H}) = \nu(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 7 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 7 \text{ г},$$

$$m(\text{N}) = \nu(\text{N}) \cdot M(\text{N}) = 2 \text{ моль} \cdot 14 \text{ г/моль} = 28 \text{ г}.$$

Затем находим массу и количество вещества кислорода в аминокислоте:

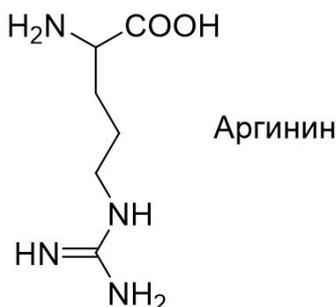
$$m(\text{O}) = m(\text{A}) - (m(\text{C}) + m(\text{H}) + m(\text{N})) = 87 \text{ г} - (36 \text{ г} + 7 \text{ г} + 28 \text{ г}) = 16 \text{ г},$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m}{M(\text{O})} = \frac{16 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 1 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{N}) : \nu(\text{O}) = 3 : 7 : 2 : 1.$$

Таким образом, простейшая формула аминокислоты **A** —  $\text{C}_3\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_1$ .

Из условия задачи нам известно, что аминокислота **A** одноосновная, следовательно, в ней содержится минимум 2 атома кислорода и рассчитанная формула принимает вид —  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_2$ .



Из всех известных протеиногенных аминокислот, только в случае аргина в состав входят 4 атома азота.

Аминокислота **A** — аргинин.

Ответ: аргинин.

### Задача II.2.2.6. (8 баллов)

Темы: органическая химия.

---

### Условие

Выберите верное описание процесса взаимодействия реагентов.

1. При охлаждении в пробирке черного порошка  $\text{CuO}$  в воде можно наблюдать постепенное растворение осадка и окрашивание раствора в изумрудный цвет.
2. При нагревании в пробирке черного порошка  $\text{CuO}$  с бесцветным раствором уксусной кислоты можно наблюдать постепенное растворение осадка и окрашивание раствора в голубой цвет.
3. При нагревании в пробирке черного порошка  $\text{CuO}$  в воде можно наблюдать постепенное растворение осадка и окрашивание раствора в голубой цвет.
4. При охлаждении в пробирке черного порошка  $\text{CuO}$  с бесцветным раствором уксусной кислоты можно наблюдать постепенное растворение осадка и окрашивание раствора в изумрудный цвет.

Ответ: 2.

## Вторая попытка. Задачи 8–9 класса

### Задача II.2.3.1. (25 баллов)

Темы: растворы, молярная концентрация.

### Условие

Одним из методов нанесения металлических нанопокровов на украшения является электрохимическое восстановление малоактивных металлов из водных растворов их солей на поверхности этих объектов. При этом происходит вытеснение металла из его соли и осаждение на покрываемой поверхности.

Деталь в форме ромба с диагоналями 6 и 8 см, погрузили в стакан, содержащий  $V = 100$  мл раствор нитрата серебра и начали процесс нанесения покрытия при перемешивании раствора соли. Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $d$ , а концентрация соли уменьшилась до  $C_0$ .

Какую навеску кристаллического нитрата серебра нужно взять для приготовления 100 л исходного раствора? Ответ укажите в г, округлив до целых. Толщиной детали и изменением объема раствора пренебречь. Плотность серебра —  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

### Решение

Найдем площадь поверхности детали. Если разрезать ромб по диагоналям, получится 4 одинаковых прямоугольных треугольника с катетами  $a = 3$  см и  $b = 4$  см, а площадь поверхности всей детали будет равна  $S = 4ab = 48 \text{ см}^2$ .

Теперь найдем количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$ .

Объем выделившегося серебра на поверхности может быть найден по формуле  $V = Sd$ .

Так как  $m(\text{Ag}) = n \cdot M(\text{Ag})$ ,  $V(\text{Ag}) = m/\rho$ ,  $V(\text{Ag}) = Sd$ , получаем  $n = \rho dS/M(\text{Ag})$ .

Количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$  равно разнице между начальным количеством серебра и конечным в растворе, существующем в форме ионов  $\text{Ag}^+$ . Тогда начальное количество серебра равно  $n(\text{Ag}) = n + C_0V$ .

Так как для покрытия берется 1/1000 часть приготовленного раствора (100 мл из 100 л), то искомая масса навески будет в 1000 раз превышать массу, которая содержит  $n(\text{Ag})$  серебра. Тогда  $m(\text{Ag}) = 1000 \cdot n(\text{Ag}) \cdot M(\text{AgNO}_3) = 1000 \cdot (\rho d S / M(\text{Ag}) + C_0 V) \cdot M(\text{AgNO}_3) = 108000(4,666 \cdot 10^{-5}d + 0,1C_0)$ , если подставлять  $d$  в нм.

Таким образом, необходимо подставить необходимые величины в полученную формулу с учетом их размерности. Ответ в задании зависит от исходных данных. Среднее значение — 100 мг. Точность  $\pm 2$  мг.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$C_0$	0,0002	0,0008	0,0001
$d$	70	130	5

### Задача П.2.3.2. (27 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

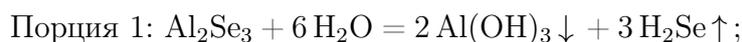
#### Условие

Измельченную смесь алюминия и селена прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, при этом выделилось  $X$  л газа, а к второй — избыток раствора гидроксида натрия, при этом выделилось  $Y$  л газа. Какова массовая доля селена в исходной смеси? Ответ выразите в процентах, округлив до целых.

#### Решение

Поведение селена в вышеперечисленных процессах напоминает поведение серы, поэтому уравнения реакции также записываются аналогичным образом.

Факт выделения газа при добавлении раствора гидроксида натрия означает, что алюминий в смеси находился в избытке, поскольку в противном случае этого бы не произошло (селен и селенид алюминия реагируют со щелочью без выделения газообразных продуктов). Таким образом, в смеси после прокаливания находились селенид алюминия и избыток самого алюминия.



Найдем массы веществ после прокаливания в каждой порции:

$$n(\text{H}_2\text{Se}) = X/V_m, n(\text{Al}_2\text{Se}_3) = n(\text{H}_2\text{Se})/3 = X/3V_m, m(\text{Al}_2\text{Se}_3) = M(\text{Al}_2\text{Se}_3) \cdot X/3V_m.$$

$$n(\text{H}_2) = Y/V_m, n(\text{Al}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{S})/3V_m = 2Y/3V_m, m(\text{Al}) = 2M(\text{Al}) \cdot Y/3V_m.$$

Массовая доля селена в начальной смеси до прокаливания равна таковой в каждой из полученных порций (в этом процессе масса сохраняется, так как не выделяется газообразных продуктов). Найдем массу селена в одной порции — это можно сделать через количество вещества селеноводорода, так как количество атомов селена также сохраняется:  $m(\text{Se}) = M(\text{Se}) \cdot n(\text{H}_2\text{Se}) = M(\text{Se}) \cdot X/V_m$ .

$$\text{Тогда } \omega(\text{Se}) = m(\text{Se})/[m(\text{Al}_2\text{Se}_3) + m(\text{Al})] = 3M(\text{Se}) \cdot X/[M(\text{Al}_2\text{Se}_3) \cdot X + 2M(\text{Al}) \cdot Y].$$

$$M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}, M(\text{Se}) = 79 \text{ г/моль}.$$

$$\omega(\text{Se}) \% = 237 \cdot X/[291X + 54Y] \cdot 100.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений  $X$  и  $Y$ .

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$X$	2,24	22,4	2,24
$Y$	2,24	22,4	2,24

### Задача II.2.3.3. (20 баллов)

Темы: растворы, содержание элемента в смеси.

#### Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в литровой мерной колбе. Имеются 0,05 М растворы нитрата аммония, нитрата калия и гидрофосфата калия. С помощью этих солей готовится концентрат, содержащий  $X$  мг азота,  $Y$  мг фосфора и  $Z$  мг калия. Какой объем раствора нитрата аммония необходимо взять для приготовления такого концентрата? Отклонением плотности растворов от 1 г/мл пренебречь. Ответ выразить в мл и округлить до целых.

#### Решение

Фосфор вносится только с помощью  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

$$n(\text{P}) = n(\text{K}_2\text{HPO}_4) = Y/31, n(\text{K}) = Z/39, \text{ отсюда}$$

$$n(\text{KNO}_3) = n(\text{K}) - 2n(\text{K}_2\text{HPO}_4) = Z/39 - 2 \cdot Y/31.$$

$$n(\text{N}) = n(\text{KNO}_3) + 2n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = X/14, \text{ откуда}$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)).$$

$$V(\text{р-ра}) = n/C = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31))/0,05 = 5X/7 - 10Z/39 + 20Y/31 \text{ мл}.$$

## Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	280	490	70
Y	31	37,2	6,2
Z	117	195	39

### Задача П.2.3.4. (20 баллов)

Темы: нахождение элемента по молярной массе, доля вещества в смеси.

#### Условие

Композиты для отверждаемых пломб в стоматологии — многокомпонентная смесь, включающая, главным образом, органические вещества, отвечающие за образование твердеющей смолы, а также неорганический микро- или наноразмерный наполнитель, который обеспечивает сопротивляемость усадке пломбы со временем. В некотором композите на органические компоненты приходится 40% его массы. Определите материал наполнителя, если известно, что он представляет собой оксид некоторого элемента, а при высокотемпературном обжиге 10 г этого композита, в ходе которого органические компоненты сгорают с образованием углекислого газа и воды, и последующей обработке остатка плавиковой кислотой выделяется 2,24 л газа. В ответе запишите название элемента одним словом русскими буквами.

#### Решение

При высокотемпературном обжиге композита органическая часть сгорит, а останется неорганическая часть, состоящая из неизвестного оксида неизвестного оксида  $A_xO_y$ . При его обработке фтороводородной кислотой, скорее всего, газообразным продуктом будет фторид элемента А. Предположим сначала, что количества оксида и фторида совпадают. Это произойдет, если валентность А в оксиде — четная. Тогда  $m(A_xO_y) = 10 \cdot 0,6 = 6$  г,  $M(A_xO_y) = 6/0,1 = 60$  г/моль. Пусть валентность элемента в оксиде  $n$ , и она четная.

При  $n = 2$   $M(A) = 60 - 16 = 44$ , это скандий, но он находится в III группе и оксид состава ScO не образует.

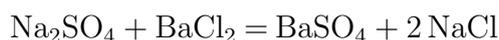
$n = 4$   $M(A) = 60 - 16 \cdot 2 = 28$ , это **кремний**,  $SiO_2$ . Подходит, так как действительно твердый и инертный, но в плавиковой кислоте растворяется.

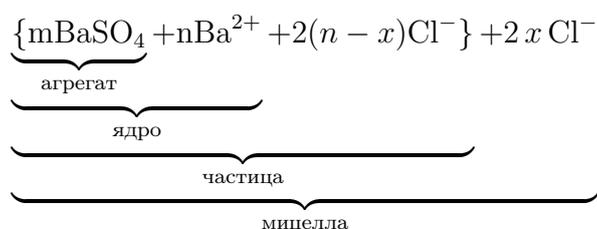
**Ответ:** кремний.

### Задача П.2.3.5. (16 баллов)

Темы: неорганическая химия, коллоидные системы.

Мицелла — это отдельная частица дисперсной фазы коллоидной системы с жидкой дисперсионной средой, состоящая из кристаллического или аморфного ядра и поверхностного слоя, включающего сольватно связанные молекулы окружающей жидкости. Пример: реакция сульфата натрия и избытка хлорида бария:





Избыток одного из компонентов действует как стабилизатор коллоидного раствора. Вначале образуется агрегат мицеллы, являющийся мельчайшим кристалликом. На поверхности кристалла  $\text{BaSO}_4$  имеются вакантные места, которые занимают ионы  $\text{Ba}^{2+}$ , вследствие избирательной ионной адсорбции достраивающие кристаллическую решетку. Они придают положительный заряд поверхности ядра, поэтому называются потенциалопределяющими ионами (ПО-ионами).

Ионы  $\text{Cl}^-$  под действием электростатических сил притягиваются к ядру и нейтрализуют заряд. Противоионы находятся в тепловом движении. Часть противоионов  $(n-x)$ , находящихся в непосредственной близости от ядра, связаны с ним помимо электростатических сил адсорбционными силами.

Другая часть противоионов  $x$ , находящаяся вследствие теплового движения и электростатического отталкивания между одноименно заряженными ионами, находится на некотором удалении от ядра, образуя диффузионный слой. Таким образом, вокруг мицеллы существует двойной электрический слой, стабилизирующий мицеллу. Заряды потенциалопределяющих ионов и противоионов полностью скомпенсированы, поэтому мицелла электронейтральна.

Принципы построения формулы мицелл:

- Агрегат мицеллы должен быть нерастворимым соединением.
- Потенциалопределяющими ионами могут быть ионы из дисперсной фазы, изоморфные им или органические ионы с высокой адсорбционной способностью.
- Противоионы образуют с потенциалопределяющим ионом растворимое соединение.
- Мицелла в целом электронейтральна.
- Коэффициенты  $m$ ,  $n$ ,  $(n-x)$ ,  $x$  являются постоянными для любой мицеллы и численно не определены.

### Условие

Мицелла образуется в ходе взаимодействия избытка раствора соединения **A** с раствором соединения **B**. Установите компонент **B** если известно, что:

- раствор вещества **B** окрашивает пламя горелки в фиолетовый цвет;
- в ходе реакции взаимодействия раствора вещества **B** с гексанитрокобальтатом (III) натрия наблюдается выпадение осадка желтого цвета;
- при добавлении к раствору вещества **B** хлорида бария реакции не наблюдается;
- раствор вещества **B** взаимодействует с нитритом натрия в кислых условиях с образованием темного осадка и буряющего газа.

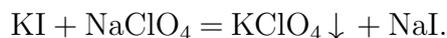
В качестве ответа приведите формулу вещества **B**.

---

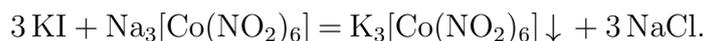
### Решение

Основываясь на условиях задачи, можно сделать вывод, что компонентом **В** является KI, так как:

Ионы калия окрашивают пламя в фиолетовый цвет.



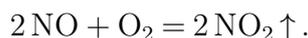
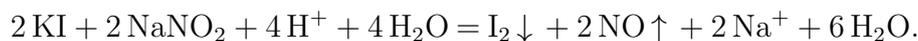
$\text{KClO}_4$  — белый осадок, плохо растворимый в воде.



$\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$  — желтый осадок.



KI не взаимодействует с  $\text{BaCl}_2$ .



$\text{I}_2$  — черный осадок.

NO — бесцветный газ, который взаимодействует с кислородом воздуха с образованием бурого газа  $\text{NO}_2$ .

Ответ: KI.

### Задача II.2.3.6. (10 баллов)

Темы: общая и неорганическая химия.

#### Условие

В пробирке находится вещество **X** — прозрачная жидкость, при добавлении лакмуса к которой, индикатор окрашивается в красный. Известно, что при добавлении в пробирку с раствором магния или цинка с различной интенсивностью будет выделяться газообразный водород, при добавлении нитрата серебра выпадет белый творожистый осадок, а при добавлении меди реакция происходить не будет. Назовите вещество **X**.

Ответ: HCl.

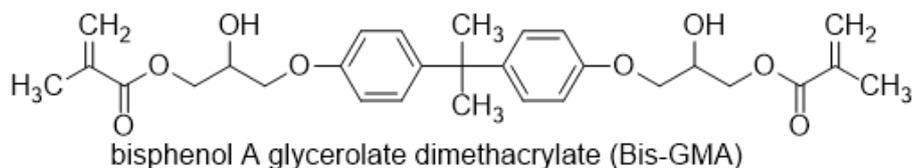
## Вторая попытка. Задачи 10–11 класса

### Задача II.2.4.1. (15 баллов)

Темы: установление формулы органического вещества по продуктам сгорания.

### Условие

Композиты для отверждаемых пломб в стоматологии — многокомпонентная смесь, включающая, главным образом, неорганический микро- или наноразмерный наполнитель, который обеспечивает сопротивляемость усадке пломбы со временем, а также органический мономер, который при активации катализатором или с помощью ультрафиолета полимеризуется и превращается в смолу. Одним из таких мономеров является bis-EMA — соединение с формулой, представленной на изображении. Видно, что оно является сложным эфиром метакриловой кислоты ( $C_3H_5COOH$ ) и спирта — производного бисфенола. Какую минимальную массу хлорангидрида метакриловой кислоты нужно взять для синтеза 128 г этого мономера, если предположить, что выход реакции равен 100%? Ответ укажите в граммах с точностью до сотых.



### Решение

Молекула содержит 2 фрагмента метакриловой кислоты (в формуле мономера ее остатки — справа и слева), а значит, для получения 1 моля Bis-GMA необходимо взять 2 моля хлорангидрида  $C_3H_6COCl$ . Брутто-формула Bis-GMA —  $C_{29}H_{36}O_8$ ,  $M(\text{Bis-GMA}) = 512$  г/моль.

$n(\text{Bis-GMA}) = m/M = 128/512 = 0,25$  моль, значит  $n(C_3H_6COCl) = 0,5$  моль,  $M(C_3H_6COCl) = 105,5$  г,  $m(C_3H_6COCl) = 105,5 \cdot 0,5 = 52,75$  г.

**Ответ:**  $52,75 \pm 0,1$ .

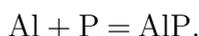
### Задача П.2.4.2. (20 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

### Условие

Измельченную смесь алюминия и красного фосфора прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, а ко второй — избыток раствора гидроксида натрия. Выделившийся газ во втором случае оказался легче первого. Все газы собрали и сожгли в избытке кислорода, а затем смесь остудили, при этом образовался единственный продукт — раствор  $Y$  %-ного раствора ортофосфорной кислоты. Какова массовая доля алюминия в исходной смеси? Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

### Решение



То, что во втором случае газ оказался легче первого говорит о том, что алюминий был взят в избытке, так как в противном случае этого бы не произошло, так как и фосфид алюминия, и сам фосфор при взаимодействии со щелочью образует газ фосфин. В случае избытка алюминия выделяющийся фосфин будет разбавляться выделяющимся водородом.



При сгорании смеси газов будет протекать следующие процессы:



Сначала найдем количества фосфорной кислоты и воды:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = m\omega/M = XY/(100 \cdot 98).$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = X(100 - Y)/(100 \cdot 18).$$

Обратим внимание на то, что в результате всех химических превращений весь фосфор перешел сначала в форму фосфида алюминия, затем — фосфина и фосфорной кислоты, таким образом, количество вещества выделившегося из обеих порций фосфина равно начальному количеству вещества фосфора:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{PH}_3) = n(\text{P}) = XY/9800.$$

В водород перешла половина алюминия, оставшегося в избытке после прокаливания, причем из каждых 2 молей алюминия образовывалось 3 моля водорода согласно уравнению реакции. Поэтому  $n_{\text{изб}}(\text{Al}) = 2 \cdot (2/3) \cdot n(\text{H}_2) = (4/3) \cdot X(100 - Y)/(100 \cdot 18) = X(100 - Y)/1350$ .

Количество прореагировавшего по реакции  $\text{Al} + \text{P} = \text{AlP}$  алюминия равно количеству фосфора:

$$n_{\text{реак}}(\text{Al}) = n(\text{P}) = XY/9800.$$

Общее количество алюминия в смеси:

$$n(\text{Al}) = n_{\text{изб}}(\text{Al}) + n_{\text{реак}}(\text{Al}) = X(100 - Y)/1350 + XY/9800.$$

$$\omega(\text{Al}) = \frac{n(\text{Al})M(\text{Al})}{[n(\text{Al})M(\text{Al}) + n(\text{P})M(\text{P})]}.$$

$$\omega(\text{Al}) = \frac{27X(100 - Y)/1350 + 27XY/9800}{[27X(100 - Y)/1350 + 27XY/9800 + 31XY/9800]}.$$

$$\omega(\text{Al}) \% = 100 \cdot (19600 - 169Y)/(19600 - 138Y) = 100 - 3100Y/(19600 - 138Y).$$

Итоговый ответ зависит от исходного значения  $Y$ .

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$Y$	60	99	1

### Задача П.2.4.3. (25 баллов)

Темы: растворы, электролиз.

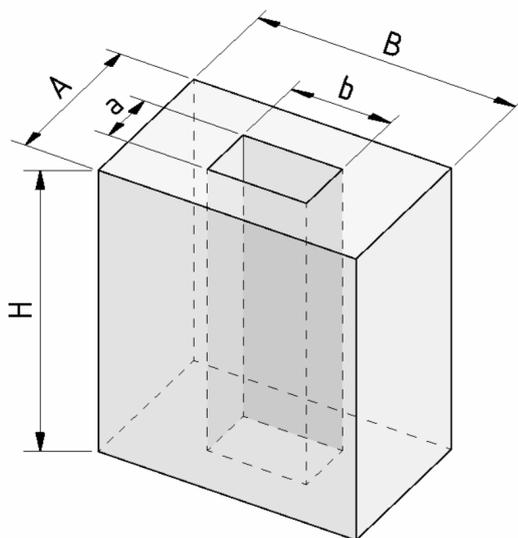
#### Условие

Одним из методов нанесения защитных покрытий на изделия из алюминия является их анодирование, заключающееся в том, что изделие подключается в электрохимическую цепь в качестве анода, в результате чего происходит частичное растворение металла и его покрытие тонким слоем инертного оксида.

Деталь в форме прямоугольного параллелепипеда с размерами  $A \times B \times H$  ( $8 \times 6 \times H$ ) и прямоугольным сквозным отверстием размерами  $a \times b$  ( $6 \times 4$ ) погрузили в стакан, содержащий раствор серной кислоты и начали процесс нанесения покрытия, подключив к источнику постоянного тока силой  $I = 5$  А на  $t = 30$  мин. Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $d$  мкм.

Рассчитайте плотность образовавшегося покрытия, если выделявшийся на электродах кислород не улетучивался и не участвовал в сторонних химических процессах? Ответ дайте в г/мл с точностью до десятых.

Количество выделившегося в ходе электролиза вещества пропорционально заряду, пропущенного через раствор и может быть найдена по закону Фарадея:  $n = It/(zF)$ , где  $I$  — сила тока в А,  $t$  — время в с,  $z$  — количество участвующих в процессе электронов, а  $F$  — постоянная Фарадея, равная 96500 Кл/моль.



#### Решение

Найдем площадь поверхности детали:

$$S = 2S(\text{оснований}) + S(\text{боковая внешняя}) + S(\text{боковая внутренняя}) = \\ = 2(AB - ab) + 2(A + B)H + 2(a + b)H = 2(AB - ab + AH + aH + BH + bH).$$

$$V = Sd, m = M(\text{Al}_2\text{O}_3)n = \rho V = \rho Sd, \text{ значит}$$

$$n = 2\rho d(AB - ab + AH + aH + BH + bH)/M(\text{Al}_2\text{O}_3).$$

Кислород генерируется на алюминиевом аноде в ходе полуреакции окисления:

$2\text{H}_2\text{O} - 4e^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$ , таким образом, на 1 моль образующегося кислорода тратится 4 электрона,  $z = 4$ .

$4\text{Al} + 3\text{O}_2 = 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $n = n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2/3 \cdot n(\text{O}_2) = 2It/(3ZF) = It/6F$ , откуда

$$\rho = IM(\text{Al}_2\text{O}_3)t/[12Fd(AB - ab + AH + aH + BH + bH)].$$

Подставим постоянные величины:  $I = 5\text{ А}$ ,  $t = 1800\text{ с}$ ,  $F = 96500\text{ Кл/моль}$ ,  $d_1 = 6\text{ см}$ ,  $d_2 = 8\text{ см}$ ,  $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102\text{ г/моль}$ .

$$\rho = 0,0661/[d(1 + H)].$$

$d$  необходимо перевести в сантиметры, тогда  $\rho = 661/[d(1 + H)]$ .

Порядки верных ответов: 1,0–3,7 г/мл.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$H$ см	4	8	1
$d$ мкм	40	70	5

### Задача П.2.4.4. (20 баллов)

Темы: растворы, электролиз.

#### Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в литровой мерной колбе. Имеются растворы нитрата аммония, нитрата калия и дигидрофосфата калия концентрацией 0,2 М.

При доведении до метки по ошибке вместо дистиллированной воды был использован 0,1 М раствор поваренной соли. Какую общую минерализацию (массу всех солей в 1 л раствора) будет иметь раствор, который содержит  $X$  мг азота,  $Y$  мг фосфора и  $Z$  мг калия? Ответ выразите в г и округлите до сотых.

#### Решение

Будем сначала считать, что ошибки не произошло. Для получения ответа на вопрос необходимо рассчитать массу каждой из солей, которые вносят вклад в формирование раствора. Фосфор вносится только с помощью  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

Найдем молярные массы солей:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 80 г/моль,  $\text{KNO}_3$  — 101 г/моль,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 136 г/моль.

$$n(\text{P}) = n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = Y/31, n(\text{K}) = Z/39, \text{отсюда}$$

$$n(\text{KNO}_3) = n(\text{K}) - n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = Z/39 - Y/31.$$

$$n(\text{N}) = n(\text{KNO}_3) + 2n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = X/14, \text{ откуда}$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31)).$$

$$m(\text{солей}) = 80n(\text{NH}_4\text{NO}_3) + 101n(\text{KNO}_3) + 136n(\text{KH}_2\text{PO}_4).$$

$$\begin{aligned} m(\text{солей}) &= 40 \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31)) + 101 \cdot (Z/39 - Y/31) + 136 \cdot Y/31 = \\ &= 20X/7 + 61Z/39 + 75Y/31. \end{aligned}$$

Теперь необходимо рассчитать, сколько NaCl было добавлено. Для этого нам потребуется знать объемы всех стандартных растворов солей, взятых для приготовления концентрата, чтобы по остаточному принципу вычислить объем добавленного раствора поваренной соли.

$$V(\text{KH}_2\text{PO}_4) = n(\text{KH}_2\text{PO}_4)/C(\text{KH}_2\text{PO}_4) = Y/31/0,2 = 5Y/31.$$

$$V(\text{KNO}_3) = n(\text{KNO}_3)/C(\text{KNO}_3) = (Z/39 - Y/31)/0,2 = 5Z/39 - 5Y/31.$$

$$\begin{aligned} V(\text{NH}_4\text{NO}_3) &= n(\text{NH}_4\text{NO}_3)/C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31))/0,2 = \\ &= (5/2)(X/14 - Z/39 + Y/31). \end{aligned}$$

$$V(\text{NaCl}) = 1 - 5Y/31 - (5Z/39 - 5Y/31) - (5/2)(X/14 - Z/39 + Y/31).$$

$$V(\text{NaCl}) = 1 - 2,5 \cdot (Z/13 - X/14 - Y/31).$$

$$m(\text{NaCl}) = M(\text{NaCl}) \cdot C(\text{NaCl}) \cdot V(\text{NaCl}) = 5,85 \cdot (1 - 2,5 \cdot (Z/13 - X/14 - Y/31)).$$

$$\begin{aligned} m(\text{общ}) &= m(\text{солей}) + m(\text{NaCl}) = 20X/7 + 61Z/39 + 75Y/31 + \\ &+ 5,85 \cdot (1 - 2,5 \cdot (Z/13 - X/14 - Y/31)). \end{aligned}$$

Подставлять X, Y, Z необходимо в г.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	49 мг = 0,049 г	63 мг = 0,063 г	7 мг = 0,007 г
Y	31 мг = 0,031 г	37,2 мг = 0,0372 г	6,2 мг = 0,0062 г
Z	78 мг = 0,078 г	273 мг = 0,273 г	39 мг = 0,039 г

### Задача II.2.4.5. Доставка прямо в точку (12 баллов)

Темы: органическая химия, системы доставки.

Липосомы — это микроскопические сферы, стенки которых устроены так же, как клеточная мембрана. Впервые их получили еще в 1960-х годах, в 1970-х ученые предложили использовать липосомы для доставки лекарств, а сейчас лекарства в липосомах применяются для лечения целого ряда болезней от гриппа до различных видов злокачественных новообразований.

Липосомы могут осуществлять адресную доставку веществ туда, где они нужны. Понятие «адресная доставка» сопровождается практически любой рассказ о перспективах развития фармакологии, и это не случайно — при химиотерапии рака, например, только адресной доставкой можно уменьшить тяжесть побочных эффектов от достаточно токсичных препаратов.



Рис. П.2.2. Липосома и строение липоконъюгата

Основными структурными компонентами липосом являются липоконъюгаты, в состав которых входят:

- гидрофобный домен (углеводородные цепи);
- спейсерная группа (аминокислоты, глицерин, полиэтиленгликоли);
- адресный лиганд (антитела, углеводы и небольшие пептиды).

Особенный интерес представляют именно адресные лиганды, так как они отвечают за направленную доставку содержимого липосомы. Одним из таких лигандов является пептид **АВС**, состоящий из трех последовательно связанных между собой протеиногенных аминокислот.

### Условие

При каталитическом окислении 22,4 л (н. у.) неразветвленного симметричного алкана образуется карбоновая кислота, которая при последовательной обработке желтовато-зеленым газом в присутствии красного фосфора и избытком аммиака дает 150 г аминокислоты В. В качестве ответа запишите тривиальное название аминокислоты В. Ответ введите одним словом на русском языке в именительном падеже. Например, железо.

### Решение

Каталитическое окисление алканов является распространенным способом получения карбоновых кислот. В условии задачи алкан неразветвленный и симметричный:



Последующее воздействие на полученную карбоновую кислоту желтовато-зеленым газом (хлором) в присутствии красного фосфора приводит к образованию продукта галогенирования  $\alpha$ -метиленовой группы кислоты, который в ходе взаимодействия с аммиаком дает желаемую аминокислоту:



---

Согласно уравнениям реакции, можно рассчитать количество вещества образовавшейся карбоновой кислоты:

$$\nu(\text{алкан}) = \frac{V(\text{алкан})}{V_m} = \frac{22,4 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{карб. к-та}) = \nu(\text{алкан}) \cdot 2 = 1 \text{ моль} \cdot 2 = 2 \text{ моль}.$$

Опираясь на значения, стехиометрических коэффициентов последующих реакций можно сделать вывод о том, что количество вещества аминокислоты **В** соответствует количеству вещества карбоновой кислоты:

$$\nu(\text{В}) = \nu(\text{карб. к-та}) = 2 \text{ моль}.$$

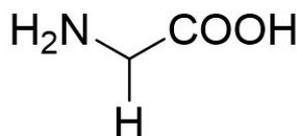
Из условия задачи известно, что в ходе синтеза получается 300 г аминокислоты **В**, следовательно, можно рассчитать ее молекулярную массу:

$$M(\text{В}) = \frac{m(\text{В})}{n(\text{В})} = \frac{150 \text{ г}}{2 \text{ моль}} = 75 \text{ г/моль}.$$

Молекулярная масса аминокислоты складывается из молекулярной массы ее основной части (74 г/моль) и молекулярной массы бокового радикала:

$$M(\text{R}) = M(\text{В}) - M(\text{осн.}) = 75 \text{ г/моль} - 74 \text{ г/моль} = 1 \text{ г/моль},$$

$$R = H.$$



**Глицин**

Аминокислота **В** — глицин.

**Ответ:** глицин.

### **Задача II.2.4.6. (8 баллов)**

*Темы: органическая химия.*

#### **Условие**

Выберите вещества, получаемые в процессе взаимодействия уксусной кислоты и натриевой соли угольной кислоты.

1.  $\text{HNO}_3$ .
2.  $\text{H}_2\text{O}$ .
3.  $\text{Na}$ .

4.  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .
5.  $\text{CO}_2$ .
6.  $\text{Na}_2\text{O}$ .
7.  $\text{O}_2$ .

Ответ: 2, 4, 5.

## Третья попытка. Задачи 8–9 класса

### Задача П.2.5.1. (25 баллов)

Темы: растворы, молярная концентрация.

#### Условие

Одним из методов нанесения металлических нанопокровтий на украшения является электрохимическое восстановление малоактивных металлов из водных растворов их солей на поверхности этих объектов. При этом происходит вытеснение металла из его соли и осаждение на покрываемой поверхности.

Деталь в форме прямоугольной рамки с внешними размерами  $A \times B = 6 \times 4$  см и внутренними  $a \times b = 4 \times 2$  см, погрузили в стакан, содержащий 100 мл раствор нитрата серебра с концентрацией  $C_0$  М и начали процесс нанесения покрытия при перемешивании раствора соли. Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $d$  нм. После этого деталь аккуратно извлекли, а к оставшемуся раствору прилили избыток раствора соляной кислоты, что привело к выпадению белого осадка.

Найдите его массу, выразите ее в мг и округлите до целых. Толщиной детали и изменением объема раствора, а также потерями жидкости при извлечении детали пренебречь. Плотность серебра —  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

#### Решение

Найдем площадь поверхности детали. Ее площадь будет равна удвоенной разнице площадей внешнего и внутреннего прямоугольников:

$$S = 2 \cdot (A \cdot B - a \cdot b) = 2 \cdot (6 \cdot 4 - 4 \cdot 2) = 16 \text{ см}^2.$$

Теперь найдем количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$ .

Объем выделившегося серебра на поверхности может быть найден по формуле:  $V = Sd$ .

Так как  $m(\text{Ag}) = n \cdot M(\text{Ag})$ ,  $V(\text{Ag}) = m/\rho$ ,  $V(\text{Ag}) = Sd$ , получаем  $n = \rho d S / M(\text{Ag})$ .

Количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$  равно разнице между начальным количеством серебра и конечным в растворе, существующем в форме ионов  $\text{Ag}^+$ . Тогда конечное количество серебра равно  $n(\text{Ag}^+) = C_0 V - n$ .

При осаждении ионов серебра с помощью соляной кислоты происходит реакция:  $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl}$ , поэтому  $n(\text{AgCl}) = n(\text{Ag}^+)$ , а  $m(\text{осадка}) = M(\text{AgCl}) \cdot n(\text{Ag}^+)$ ,

поэтому

$$\begin{aligned} M(\text{осадка}) &= M(\text{AgCl}) \cdot (C_0V - \rho dS/M(\text{Ag})) = 143,5(0,1C_0 - 1,555d) = \\ &= 14,35C_0 - 0,002235d, \end{aligned}$$

если  $d$  подставлять в нанометрах  $M(\text{осадка}) \text{ мг} = 14350C_0 - 2,235d$ .

Таким образом, необходимо подставить необходимые величины в формулу с учетом их размерности. Ответ в задании зависит от исходных данных. Типичное итоговое значение — 50 мг. Точность  $\pm 2$  мг.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$C_0$	0,003	0,008	0,001
$d$	7	13	1

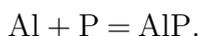
### Задача П.2.5.2. (20 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

#### Условие

Измельченную смесь алюминия и красного фосфора прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, при этом выделилось  $X$  л газа, а к второй — избыток раствора гидроксида натрия, при этом выделилось  $Y$  л газа. Газ во втором случае оказался легче первого. Какова массовая доля алюминия в исходной смеси? Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

#### Решение



То, что во втором случае газ оказался легче первого говорит о том, что алюминий был взят в избытке, так как в противном случае этого бы не произошло, так как и фосфид алюминия, и сам фосфор при взаимодействии со щелочью образует газ фосфин. В случае избытка алюминия выделяющийся фосфин будет разбавляться выделяющимся водородом.



Обратим внимание на то, что в результате всех химических превращений весь фосфор перешел сначала в форму фосфида алюминия, а затем в форму фосфина, таким образом количество вещества выделившегося из обеих порций фосфина равно начальному количеству вещества фосфора:  $n(\text{PH}_3) = n(\text{P}) = 2X/V_m$ . Количество вещества водорода тогда будет равно  $n(\text{H}_2) = (Y - X)/V_m$ .

Осталось рассчитать количество избытка алюминия в каждой порции, а из него — общее количество вещества алюминия.

$$n(\text{Al}) = (2/3) \cdot n(\text{H}_2) = 2(Y - X)/3V_m, \quad n(\text{Al})_{\text{реак}} = n(\text{P}),$$

$$n(\text{Al})_{\text{общ}} = n(\text{Al})_{\text{реак}} + 2 \cdot n(\text{Al}) = 2X/V_m + 4(Y - X)/3V_m = (2/3V_m)(X + 2Y).$$

$$\omega(\text{Al}) = m(\text{Al})/[m(\text{Al}) + m(\text{P})] = (2M(\text{Al})/3V_m)(X + 2Y)/[(2M(\text{Al})/3V_m)(X + 2Y) + 2X/V_m \cdot M(\text{P})].$$

Можно подставить постоянные:  $M(\text{Al}) = 27$  г/моль,  $M(\text{P}) = 31$  г/моль,  $V_m = 22,4$  л/моль.

$$\text{Тогда } \omega(\text{Al}) \% = (0,804X + 1,607Y)/(3,572X + 1,607Y) \cdot 100.$$

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	2,24	11,2	2,24
Y	13,44	22,4	2,24

### Задача П.2.5.3. (20 баллов)

Темы: растворы, содержание элемента в смеси.

#### Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в мерной колбе. Имеются растворы нитрата аммония, нитрата калия и дигидрофосфата калия, из которых готовят раствор с нужным содержанием элементов. Какую общую минерализацию (массу всех солей в 1 л раствора) будет иметь раствор, который содержит X мг азота, Y мг фосфора и Z мг калия? Ответ выразить в мг и округлить до целых.

#### Решение

Для получения ответа на вопрос необходимо рассчитать массу каждой из солей, которые вносят вклад в формирование раствора. Фосфор вносится только с помощью  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

Найдем молярные массы солей:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 80 г/моль,  $\text{KNO}_3$  — 101 г/моль,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 136 г/моль.

$$n(\text{P}) = n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = Y/31, \quad n(\text{K}) = Z/39, \quad \text{отсюда}$$

$$n(\text{KNO}_3) = n(\text{K}) - n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = Z/39 - Y/31.$$

$$n(\text{N}) = n(\text{KNO}_3) + 2n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = X/14, \quad \text{откуда}$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31)).$$

$$m(\text{солей}) = 80n(\text{NH}_4\text{NO}_3) + 101n(\text{KNO}_3) + 136n(\text{KH}_2\text{PO}_4).$$

$$m(\text{солей}) = 40 \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31)) + 101 \cdot (Z/39 - Y/31) + 136 \cdot Y/31 = \\ = 20X/7 + 61Z/39 + 75Y/31.$$

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	70	350	70
Y	31	37,2	6,2
Z	78	780	39

### Задача II.2.5.4. (15 баллов)

Темы: нахождение элемента по молярной массе, доля вещества в смеси.

#### Условие

Композиты для отверждаемых пломб в стоматологии — многокомпонентная смесь, включающая, главным образом, органические вещества, отвечающие за образование твердеющей смолы, а также неорганический микро- или наноразмерный наполнитель, который обеспечивает сопротивляемость усадке пломбы со временем. В некотором композите белого цвета на наполнитель приходится 61,5% его массы. Определите материал наполнителя, если известно, что он представляет собой оксид некоторого элемента, а масса образца композита, содержащего 0,05 моль этого наполнителя, составляет 10 г. В ответе запишите название элемента в одно слово русскими буквами.

#### Решение

Найдем массу и молярную массу неизвестного оксида  $A_xO_y$ .

$m(A_xO_y) = 10 \cdot 0,615 = 6,15$  г,  $M(A_xO_y) = 6,15/0,05 = 123$  г/моль. Пусть валентность элемента в оксиде  $n$ .

При  $n = 1$   $M(A) = (123 - 16)/2 = 53,5$ , не соответствует элементу.

$n = 2$   $M(A) = 123 - 16 = 107$ , это палладий, но оксид палладия (II) — черный, не подходит.

$n = 3$   $M(A) = (123 - 16 \cdot 3)/2 = 37,5$ , не соответствует элементу.

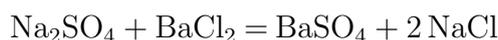
$n = 4$   $M(A) = 123 - 16 \cdot 2 = 91$ , это цирконий,  $ZrO_2$  белый, подходит.

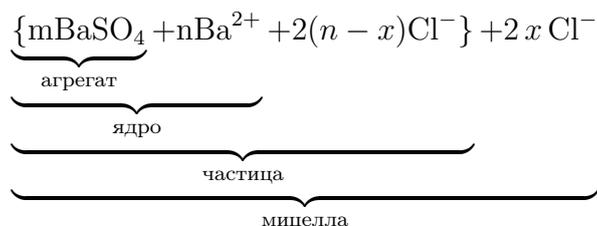
**Ответ:** цирконий.

### Задача II.2.5.5. (2 балла)

Темы: неорганическая химия, коллоидные системы.

Мицелла — это отдельная частица дисперсной фазы коллоидной системы с жидкой дисперсионной средой, состоящая из кристаллического или аморфного ядра и поверхностного слоя, включающего сольватно связанные молекулы окружающей жидкости. Пример: реакция сульфата натрия и избытка хлорида бария:





Избыток одного из компонентов действует как стабилизатор коллоидного раствора. Вначале образуется агрегат мицеллы, являющийся мельчайшим кристалликом. На поверхности кристалла  $\text{BaSO}_4$  имеются вакантные места, которые занимают ионы  $\text{Ba}^{2+}$ , вследствие избирательной ионной адсорбции достраивающие кристаллическую решетку. Они придают положительный заряд поверхности ядра, поэтому называются потенциалопределяющими ионами (ПО-ионами).

Ионы  $\text{Cl}^-$  под действием электростатических сил притягиваются к ядру и нейтрализуют заряд. Противоионы находятся в тепловом движении. Часть противоионов  $(n-x)$ , находящихся в непосредственной близости от ядра, связаны с ним помимо электростатических сил адсорбционными силами.

Другая часть противоионов  $x$ , находящаяся вследствие теплового движения и электростатического отталкивания между одноименно заряженными ионами, находится на некотором удалении от ядра, образуя диффузионный слой. Таким образом, вокруг мицеллы существует двойной электрический слой, стабилизирующий мицеллу. Заряды потенциалопределяющих ионов и противоионов полностью скомпенсированы, поэтому мицелла электронейтральна.

Принципы построения формулы мицелл:

- Агрегат мицеллы должен быть нерастворимым соединением.
- Потенциалопределяющими ионами могут быть ионы из дисперсной фазы, изоморфные им или органические ионы с высокой адсорбционной способностью.
- Противоионы образуют с потенциалопределяющим ионом растворимое соединение.
- Мицелла в целом электронейтральна.
- Коэффициенты  $m$ ,  $n$ ,  $(n-x)$ ,  $x$  являются постоянными для любой мицеллы и численно не определены.

### Условие

Мицелла образуется в ходе взаимодействия избытка раствора соединения **A** с раствором соединения **B**. Установите компонент **A** если известно, что:

- в ходе реакции взаимодействия вещества **A** с гидроксидом натрия происходит выпадение белого осадка;
- под действием гидроортофосфата калия в присутствии водного раствора аммиака на раствор вещества **A** образуется белый осадок;
- раствор вещества **A** не взаимодействует с раствором хлорида бария;
- под действием нитрата серебра (I) из вещества **A** образуется белый осадок, который растворяется в водном растворе аммиака.

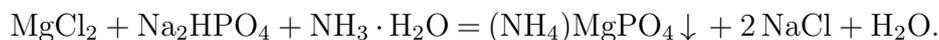
В качестве ответа введите формулу вещества **A**.

### Решение

Основываясь на условиях задачи, можно сделать вывод, что компонентом **A** является  $\text{MgCl}_2$ , так как:

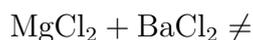
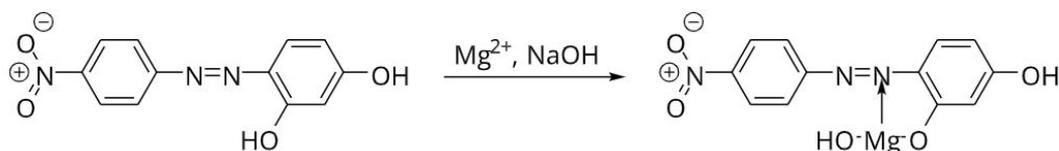


$\text{Mg}(\text{OH})_2$  — нерастворимый в воде осадок белого цвета.

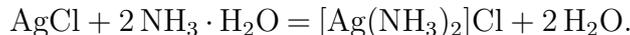
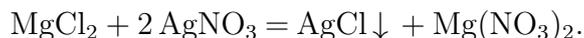


$(\text{NH}_4)\text{MgPO}_4$  — осадок белого цвета.

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ , образующийся под действием  $\text{NaOH}$  на  $\text{MgCl}_2$ , образует комплекс с магнием I, который выпадает из раствора в виде синего осадка:



$\text{MgCl}_2$  не взаимодействует с  $\text{BaCl}_2$ .



$\text{AgCl}$  — белый осадок растворимый в водном растворе аммиака.

**Ответ:**  $\text{MgCl}_2$ .

### Задача II.2.5.6. (10 баллов)

Темы: общая и неорганическая химия.

#### Условие

Методы разделения веществ в химии позволяют получить в чистом виде все составляющие смесь компоненты. Выберите из предложенного списка методы, не относящиеся к разделению веществ.

1. Фильтрация.
2. Перемешивание.
3. Дистилляция.
4. Адсорбция.
5. Отстаивание.
6. Хроматография.
7. Перегонка.

**Ответ:** 2.

## Третья попытка. Задачи 10–11 класса

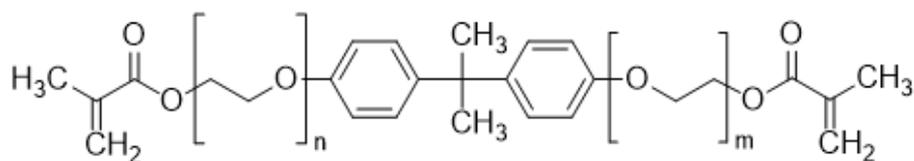
### Задача II.2.6.1. (15 баллов)

Темы: установление формулы органического вещества по продуктам сгорания.

#### Условие

Бисфенол А (2,2-бисгидроксифенилпропан) — важнейшее сырье для получения композитов для отверждаемых пломб в стоматологии, так как они представляют собой многокомпонентную смесь на основе органического мономера, который при активации катализатором или с помощью ультрафиолета полимеризуется и превращается в смолу.

Одним из таких мономеров является bis-EMA — соединение с формулой, представленной на изображении ниже. Бисфенол А получают конденсацией фенола и ацетона в присутствии катализаторов. Какую минимальную массу фенола нужно взять для синтеза 90,4 г bis-EMA, в котором  $m = n = 1$ , если выход упомянутой реакции конденсации — 75%? Массу выразите в г и округлите до сотых.



ethoxylated Bis-GMA derivative (Bis-EMA)

#### Решение

Бисфенол А содержит 2 бензольных кольца (фенольных фрагмента), значит для получения 1 моля бисфенола А нужно взять 2 моля фенола, а для получения 1 моля Bis-GMA необходимо взять 1 моль бисфенола. Брутто-формула Bis-GMA —  $C_{29}H_{36}O_8$ ,  $M(\text{Bis-GMA}) = 452$  г/моль.

$n(\text{Bis-GMA}) = m/M = 90,4/452 = 0,2$  моль, значит  $n(\text{фенола}) = 0,4$  моль,  $M(C_6H_5OH) = 94$  г/моль,  $m(\text{фенола}) = 94 \cdot 0,4 = 37,6$  г.

Ответ:  $37,6 \pm 0,1$ .

### Задача II.2.6.2. (20 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

#### Условие

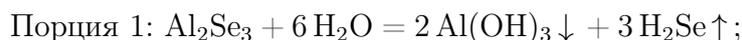
Измельченную смесь алюминия и селена прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, а ко второй — избыток раствора гидроксида натрия, при этом в обоих случаях выделялись бесцветные газы. Выделившиеся газы собрали и совместно сожгли, в результате чего образовалось X г воды и Y г

оксида селена (IV). Какова массовая доля селена в исходной смеси? Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

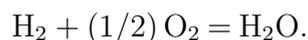
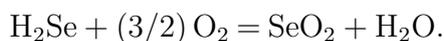
### Решение

Поведение селена в вышеперечисленных процессах напоминает поведение серы, поэтому уравнения реакции также записываются аналогичным образом.

Факт выделения газа при добавлении раствора гидроксида натрия означает, что алюминий в смеси находился в избытке, поскольку в противном случае этого бы не произошло (селен и селенид алюминия реагируют со щелочью без выделения газообразных продуктов). Таким образом, в смеси после прокаливания находились селенид алюминия и избыток самого алюминия.



Уравнения горения газов:



Найдем количества выделившихся газов — водорода и сероводорода. Пусть  $n(\text{H}_2) = x$ ,  $n(\text{H}_2\text{S}) = y$ . Тогда  $Y = 111y$ ,  $X = 18x + 18y$ , откуда  $x = X/18 - Y/111$ ,  $y = Y/111$ .

Заметим, что весь селен, содержащийся в начальной смеси, перешел сначала в селенид алюминия, а затем и в селеноводород, поэтому  $n(\text{Se}) = n(\text{H}_2\text{Se}) = Y/111$ .

В водород перешла половина алюминия, оставшегося в избытке после прокаливания, причем из каждых 2 молей алюминия образовывалось 3 моля водорода согласно уравнению реакции. Поэтому  $n_{\text{изб}}(\text{Al}) = 2 \cdot (2/3) \cdot n(\text{H}_2) = (4/3) \cdot (X/18 - Y/111)$ .

Количество прореагировавшего по реакции  $2 \text{Al} + 3 \text{Se} = \text{Al}_2\text{Se}_3$  алюминия составляет  $2/3$  от количества селена или  $n_{\text{реак}}(\text{Al}) = (2/3) \cdot (Y/111) = 2Y/333$ .

Общее количество алюминия в смеси:

$$n(\text{Al}) = n_{\text{изб}}(\text{Al}) + n_{\text{реак}}(\text{Al}) = (4/3) \cdot (X/18 - Y/111) + 2Y/333 = 2X/27 - 2Y/333.$$

$$\begin{aligned} \omega(\text{Se}) \% &= n(\text{Se})M(\text{Se})/[n(\text{Se})M(\text{Se}) + n(\text{Al})M(\text{Al})] = \\ &= (79Y/111)/[61Y/111 + 2X] = 79Y/(61Y + 222X) \cdot 100. \end{aligned}$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений  $X$  и  $Y$ .

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	8,96	22,4	2,24
Y	2,24	8,96	2,24

### Задача II.2.6.3. (25 баллов)

Темы: растворы, электролиз.

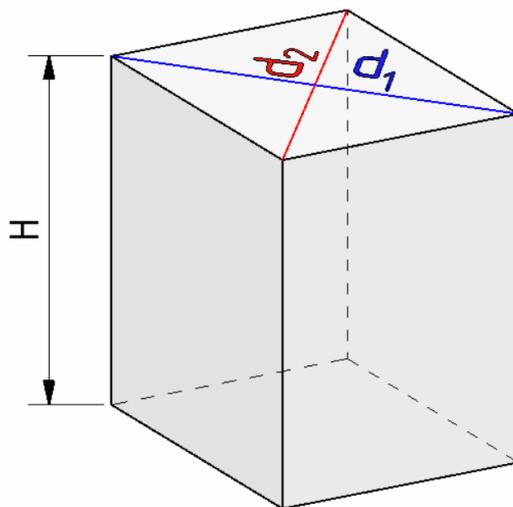
### Условие

Одним из методов нанесения защитных покрытий на изделия из алюминия является их анодирование, заключающееся в том, что изделие подключается в электрохимическую цепь в качестве анода, в результате чего происходит частичное растворение металла и его покрытие тонким слоем инертного оксида.

Деталь в форме призмы с основанием в виде ромба с диагоналями  $d_1 = 6$  см,  $d_2 = 8$  см и боковыми сторонами, равными  $H$  см (см. рис.), погрузили в стакан, содержащий раствор серной кислоты и начали процесс нанесения покрытия, подключив к источнику постоянного тока на 30 мин. Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $d$  мкм.

Какова средняя сила тока анодирования, если принять плотность образовавшегося покрытия равной  $\rho = 4$  г/мл, а выделявшийся на электродах кислород не улетучивался и не участвовал в сторонних химических процессах? Ответ выразите в А и округлите до десятых.

Количество выделившегося в ходе электролиза вещества пропорционально заряду, пропущенного через раствор, и может быть найдена по закону Фарадея:  $n = It/(zF)$ , где  $I$  — сила тока в А,  $t$  — время в с,  $z$  — количество участвующих в процессе электронов, а  $F$  — постоянная Фарадея, равная 96500 Кл/моль.



### Решение

Найдем площадь поверхности детали:

$$S = 2S(\text{оснований}) + 4S(\text{боковая}) = 2d_1d_2 + 2\sqrt{d_1^2 + d_2^2}H.$$

$$V = Sd, m = M(\text{Al}_2\text{O}_3)n = \rho V = \rho Sd, \text{ значит } n = \rho d(2d_1d_2 + 2\sqrt{d_1^2 + d_2^2}H)/M(\text{Al}_2\text{O}_3).$$

Кислород генерируется на алюминиевом аноде в ходе полуреакции окисления:

$2\text{H}_2\text{O} - 4e^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$ , таким образом, на 1 моль образующегося кислорода тратится 4 электрона,  $z = 4$ .

$$4\text{Al} + 3\text{O}_2 = 2\text{Al}_2\text{O}_3, n = n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2/3 \cdot n(\text{O}_2) = 2It/(3ZF) = It/6F, \text{ откуда}$$

$$I = 6\rho d(2d_1d_2 + 2\sqrt{d_1^2 + d_2^2}H)F/[M(\text{Al}_2\text{O}_3)t].$$

Подставим постоянные величины:  $\rho = 4$  г/мл,  $t = 1800$  с,  $F = 96500$  Кл/моль,  $d_1 = 6$  см,  $d_2 = 8$  см,  $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102$  г/моль.

$$I = 6\rho d(2d_1d_2 + 2\sqrt{d_1^2 + d_2^2}H)F/[M(\text{Al}_2\text{O}_3)t] = 50,46d(24 + 5H).$$

$d$  необходимо перевести в сантиметры, тогда  $I = 0,005046d(24 + 5H)$ .

Порядки верных ответов: 0,1–19 А.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$H$ см	1	6	1
$d$ мкм	10	70	10

### Задача II.2.6.4. (20 баллов)

Темы: растворы, содержание элемента в смеси.

#### Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в литровой мерной колбе. Имеются 0,05 М растворы нитрата калия и гидрофосфата калия, требуется приготовить стандартный раствор нитрата аммония. Какую минимальную молярную концентрацию может иметь этот раствор, чтобы приготовление конечной смеси-концентрата, который содержал бы  $X$  г азота,  $Y$  г фосфора и  $Z$  г калия по схеме, описанной выше, было возможным? Отклонением плотности растворов от 1 г/мл пренебречь. Ответ выразите в моль/л и округлите до тысячных.

#### Решение

Фосфор вносится только с помощью  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

$$\begin{aligned} n(\text{P}) &= n(\text{K}_2\text{HPO}_4) = Y/31, \quad n(\text{K}) = Z/39, \quad \text{отсюда} \\ n(\text{KNO}_3) &= n(\text{K}) - 2n(\text{K}_2\text{HPO}_4) = Z/39 - 2 \cdot Y/31. \\ n(\text{N}) &= n(\text{KNO}_3) + 2n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = X/14, \quad \text{откуда} \\ n(\text{NH}_4\text{NO}_3) &= (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)). \end{aligned}$$

Для того, чтобы итоговый раствор можно было приготовить по указанной методике, нужно, чтобы суммарный объем растворов не превышал 1 л. При минимальной концентрации  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  сумма трех объемов, вносимых в мерную колбу, будет равна ровно 1 л.

Рассчитаем объемы каждого раствора:

$$V(\text{K}_2\text{HPO}_4) = n(\text{K}_2\text{HPO}_4)/C(\text{K}_2\text{HPO}_4) = Y/31/0,05 = 20Y/31.$$

$$V(\text{KNO}_3) = n(\text{KNO}_3)/C(\text{KNO}_3) = (Z/39 - 2 \cdot Y/31)/0,05 = 20Z/39 - 40Y/31.$$

$$V(\text{NH}_4\text{NO}_3) = n(\text{NH}_4\text{NO}_3)/C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31))/2C.$$

$$1 = 20Y/31 + 20Z/39 - 40Y/31 + (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31))/2C.$$

$$C = [X/14 - Z/39 + 2 \cdot Y/31]/[2 - 40(Z/39 - Y/31)].$$

Подставлять X, Y, Z необходимо в г.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	280 мг = 0,28 г	490 мг = 0,49 г	70 мг = 0,070 г
Y	31 мг = 0,031 г	31 мг = 0,0372 г	6,2 мг = 0,0062 г
Z	117 мг = 0,117 г	195 мг = 0,195 г	39 мг = 0,039 г

### Задача П.2.6.5. Доставка прямо в точку (12 баллов)

Темы: органическая химия, системы доставки.

Липосомы — это микроскопические сферы, стенки которых устроены так же, как клеточная мембрана. Впервые их получили еще в 1960-х годах, в 1970-х ученые предложили использовать липосомы для доставки лекарств, а сейчас лекарства в липосомах применяются для лечения целого ряда болезней от гриппа до различных видов злокачественных новообразований.

Липосомы могут осуществлять адресную доставку веществ туда, где они нужны. Понятие «адресная доставка» сопровождает практически любой рассказ о перспективах развития фармакологии, и это не случайно — при химиотерапии рака, например, только адресной доставкой можно уменьшить тяжесть побочных эффектов от достаточно токсичных препаратов.



Рис. П.2.3. Липосома и строение липоконъюгата

Основными структурными компонентами липосом являются липоконъюгаты, в состав которых входят:

- гидрофобный домен (углеводородные цепи);
- спейсерная группа (аминокислоты, глицерин, полиэтиленгликоли);
- адресный лиганд (антитела, углеводы и небольшие пептиды).

---

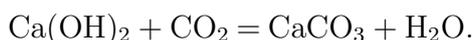
Особенный интерес представляют именно адресные лиганды, так как они отвечают за направленную доставку содержимого липосомы. Одним из таких лигандов является пептид **АВС**, состоящий из трех последовательно связанных между собой протеиногенных аминокислот.

### Условие

При горении 17,4 г одноосновной аминокислоты **А** выделяется 12,6 мл воды и 17,92 л (н. у.) газообразной смеси, при пропускании которой через известковую воду образуется 60 г осадка. В качестве ответа запишите тривиальное название аминокислоты **А**. Ответ введите одним словом на русском языке в именительном падеже. Например, лизин.

### Решение

При горении аминокислоты образуются следующие продукты: вода, углекислый газ и азот. Из двух получаемых газов только углекислый газ при пропускании через известковую воду вступает в реакцию:



Из условия задачи известно, что в ходе приведенной выше реакции образуется 300 г осадка карбоната кальция. Из уравнения реакции находим количество вещества и объем углекислого газа:

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \frac{m}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{60 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 0,6 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{CaCO}_3) = 0,6 \text{ моль},$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot V_m = 0,6 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 13,44 \text{ л}.$$

Затем находим объем и количество вещества выделившегося азота:

$$V(\text{N}_2) = V(\text{CO}_2 + \text{N}_2) - V(\text{CO}_2) = 17,92 \text{ л} - 13,44 \text{ л} = 4,48 \text{ л},$$

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} = \frac{4,48 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,2 \text{ моль}.$$

Для дальнейшего расчета необходимо определить количество вещества воды:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})}{M} = \frac{12,6 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл}}{18 \text{ г/моль}} = 0,7 \text{ моль}.$$

Из полученных значений количеств вещества продуктов находим значение количеств веществ основным элементам, входящим в состав аминокислоты. Так, на одну молекулу углекислого газа приходится один атом углерода и их количества вещества совпадают:

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 0,6 \text{ моль}.$$

На молекулу вещества воды приходится 2 атома водорода, поэтому количество вещества воды умножаем на 2:

$$\nu(\text{H}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2 = 0,7 \text{ моль} \cdot 2 = 1,4 \text{ моль}.$$

Аналогично и в случае азота, на одну молекулу газа приходится 2 атома азота:

$$\nu(\text{N}) = \nu(\text{N}_2) \cdot 2 = 0,2 \text{ моль} \cdot 2 = 0,4 \text{ моль}.$$

Опираясь на полученные данные рассчитываем массы соответствующих элементов:

$$m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,6 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 7,2 \text{ г},$$

$$m(\text{H}) = \nu(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 1,4 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 1,4 \text{ г},$$

$$m(\text{N}) = \nu(\text{N}) \cdot M(\text{N}) = 0,4 \text{ моль} \cdot 14 \text{ г/моль} = 5,6 \text{ г}.$$

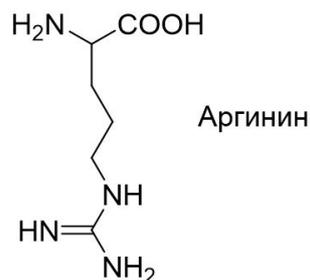
Затем находим массу и количество вещества кислорода в аминокислоте:

$$m(\text{O}) = m(\text{A}) - (m(\text{C}) + m(\text{H}) + m(\text{N})) = 17,4 \text{ г} - (7,2 \text{ г} + 1,4 \text{ г} + 5,6 \text{ г}) = 3,2 \text{ г},$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m}{M(\text{O})} = \frac{3,2 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{N}) : \nu(\text{O}) = 0,6 : 1,4 : 0,4 : 0,2.$$

Из условия задачи нам известно, что аминокислота **A** одноосновная, следовательно, в ней содержится минимум 2 атома кислорода и рассчитанная формула принимает вид —  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_2$ .



Из всех известных протеиногенных аминокислот, только в случае аргина в состав входят 4 атома азота.

Аминокислота **A** — аргинин.

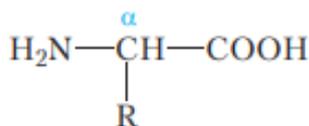
**Ответ:** аргинин.

### Задача II.2.6.6. (8 баллов)

Темы: органическая химия.

**Условие**

Формула какого вещества представлена ниже? Выберите верный ответ.



1. Формула  $\alpha$ -глицеринов в общем виде.
2. Формула  $\alpha$ -аминокислот в общем виде.
3. Формула аммиака.
4. Формула  $\alpha$ -гликогена.

Ответ: 2.

## Четвертая попытка. Задачи 8–9 класса

### Задача П.2.7.1. (25 баллов)

Темы: растворы, молярная концентрация.

#### Условие

Одним из методов нанесения металлических нанопокровтий на украшения является электрохимическое восстановление малоактивных металлов из водных растворов их солей на поверхности этих объектов. При этом происходит вытеснение металла из его соли и осаждение на покрываемой поверхности.

В детали в форме круглого диска диаметром  $D = 8$  см просверлили отверстие меньшего диаметра  $d$ , затем погрузили ее в стакан, содержащий 100 мл раствор нитрата серебра с концентрацией  $C_0$  М и начали процесс нанесения покрытия при перемешивании раствора соли. Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $x$  мкм, а концентрация раствора снизилась до  $C = 0,003$  М.

Рассчитайте диаметр просверленного отверстия и выразите его в см, округлив до десятых. Толщиной детали и изменением объема раствора пренебречь. Площадь круга равна  $\pi R^2$ , где  $R$  — радиус окружности. Плотность серебра —  $10,5$  г/см<sup>3</sup>.

#### Решение

Найдем формулу для площади поверхности детали. Ее площадь будет равна удвоенной разнице площадей внешнего и внутреннего кругов:  $S = \pi/4 \cdot (D^2 - d^2)$ , откуда получаем формулу для внутреннего диаметра:  $d = \sqrt{D^2 - 4S/\pi}$ .

Теперь найдем количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$  и выразим через него площадь поверхности. Количество осажденного серебра  $n(\text{Ag})$  равно разнице между начальным количеством серебра и конечным в растворе, существующем в форме ионов  $\text{Ag}^+$ .

$$\text{Тогда } n(\text{Ag}) = C_0 V(\text{р-ра}) - C V(\text{р-ра}) = V(\text{р-ра})(C_0 - C).$$

Объем выделившегося серебра на поверхности может быть найден по формуле  $V(\text{Ag}) = Sx$ . Так как  $m(\text{Ag}) = n \cdot M(\text{Ag})$ ,  $V(\text{Ag}) = m/\rho$ , получаем

$$S = M(\text{Ag})n(\text{Ag})/\rho x = M(\text{Ag})V(\text{р-ра})(C_0 - C)/\rho x.$$

Подставив все в одну формулу для  $d$ , получаем

$$d = \sqrt{D^2 - 4M(\text{Ag})(C_0 - C)V(\text{р-ра})/(\pi\rho x)} = \sqrt{64 - 1,31(C_0 - 0,003)/x}.$$

Таким образом, необходимо подставить необходимые величины в формулу с учетом их размерности. Ответ в задании зависит от исходных данных. Типичное итоговое значение — 60 мм. Точность  $\pm 2$  мм.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$C_0$	0,0035	0,006	0,0005
$x$	0,8	1,3	0,1

### Задача II.2.7.2. (20 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

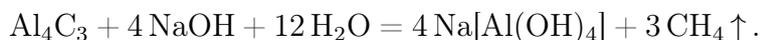
#### Условие

Измельченную смесь  $a$  г алюминия и  $b$  г углерода прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, а к второй — избыток раствора гидроксида натрия, в обоих случаях наблюдалось выделение бесцветного газа. Газы, выделившиеся в результате этих реакций, объединили и высушили. Чему равна плотность полученной смеси по водороду? Ответ округлите до целых.

#### Решение



То, что во втором случае газ оказался легче первого говорит о том, что алюминий был взят в избытке. В противном случае этого бы не произошло, так как и фосфид алюминия, и сам фосфор при взаимодействии со щелочью образует газ фосфин. В случае избытка алюминия выделяющийся фосфин будет разбавляться выделяющимся водородом.



Найдем количества алюминия и углерода.  $n(\text{Al}) = a/M(\text{Al})$ ,  $n(\text{C}) = b/M(\text{C})$ . Значения  $a$  и  $b$  в задании подобраны таким образом, чтобы алюминий находился в избытке (иначе можно было бы дать ответ на поставленный вопрос немедленно, так как смесь газов состояла бы из чистого метана).

Видно, что в обоих случаях выделяется одинаковое количество метана, а во второй порции еще и водород за счет реакции избытка алюминия с раствором щелочи. Найдем их количества.

Обратим внимание на то, что в результате всех химических превращений весь углерод перешел сначала в форму карбида алюминия, а затем в форму метана, таким образом количество вещества метана равно начальному количеству вещества углерода:  $n(\text{CH}_4) = n(\text{C}) = b/M(\text{C})$ .

Осталось рассчитать количество вещества водорода. Для начала найдем количество алюминия, содержащееся в каждой из порций после прокаливания  $n(\text{Al})_{\text{ост}}$ .

$$n(\text{Al})_{\text{реак}} = 4/3 \cdot n(\text{C}) = 4b/3M(\text{C}).$$

$$n(\text{Al})_{\text{ост}} = (1/2) \cdot [a/M(\text{Al}) - 4b/3M(\text{C})].$$

$$\text{Тогда } n(\text{H}_2) = (3/2) \cdot n(\text{Al})_{\text{ост}} = (3/4) \cdot [a/M(\text{Al}) - 4b/3M(\text{C})].$$

Подставим в формулы  $M(\text{C}) = 12$  г/моль,  $M(\text{Al}) = 27$  г/моль, чтобы они стали менее громоздкими.

$$\text{Тогда } n(\text{CH}_4) = b/12, n(\text{H}_2) = a/36 - b/12.$$

Найдем среднюю молярную массу газовой смеси.

$$M_{\text{ср}} = \frac{m(\text{общ})}{n(\text{общ})} = \frac{[m(\text{H}_2) + m(\text{CH}_4)]}{[n(\text{H}_2) + n(\text{CH}_4)]} = \frac{[16(b/12) + 2(a/36 - b/12)]}{[a/36]} = 2 + 42(b/a).$$

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$a$	27	54	3
$b$	8	12	1

### Задача II.2.7.3. (20 баллов)

Темы: растворы, содержание элемента в смеси.

#### Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в мерной колбе. Имеются растворы нитрата аммония, нитрата калия и гидрофосфата калия. Какова массовая доля кислорода в смеси солей, образующейся при осторожном выпаривании досуха питательного раствора, который содержит  $X$  г азота,  $Y$  г фосфора и  $Z$  г калия? Возможными процессами разложения и гидролиза солей пренебречь.

#### Решение

Для получения ответа на вопрос необходимо рассчитать массу каждой из солей, которые вносят вклад в формирование раствора. Фосфор вносится только с помощью  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

Найдем молярные массы солей:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 80 г/моль,  $\text{KNO}_3$  — 101 г/моль,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  — 174 г/моль.

$$n(\text{P}) = n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = Y/31, n(\text{K}) = Z/39, \text{отсюда}$$

$$n(\text{KNO}_3) = n(\text{K}) - 2n(\text{K}_2\text{HPO}_4) = Z/39 - 2 \cdot Y/31.$$

$$n(\text{N}) = n(\text{KNO}_3) + 2n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = X/14, \text{откуда}$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)).$$

$$m(\text{солей}) = 80n(\text{NH}_4\text{NO}_3) + 101n(\text{KNO}_3) + 174n(\text{K}_2\text{HPO}_4).$$

$$m(\text{солей}) = 40 \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)) + 101 \cdot (Z/39 - 2 \cdot Y/31) + 174 \cdot Y/31 =$$

$$= 20X/7 + 61Z/39 + 52Y/31.$$

$$m(\text{O}) = 16 \cdot (4n(\text{KH}_2\text{PO}_4) + 3 \cdot n(\text{NH}_4\text{NO}_3) + 3 \cdot n(\text{KNO}_3)) =$$

$$= 64Y/31 + 24 \cdot (X/14 - (Z/39 - 2 \cdot Y/31)) + 48 \cdot (Z/39 - 2 \cdot Y/31) = 16Y/31 + 12X/7 + 24Z/39.$$

$$\omega(\text{O}) \% = \frac{m(\text{O})}{m(\text{солей})} = \frac{[16Y/31 + 12X/7 + 24Z/39]}{[20X/7 + 61Z/39 + 52Y/31]} \cdot 100.$$

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	280	490	35
Y	31	37,2	6,2
Z	117	195	13

### Задача П.2.7.4. (15 баллов)

Темы: нахождение элемента по молярной массе, доля вещества в смеси.

#### Условие

Композиты для отверждаемых пломб в стоматологии - многокомпонентная смесь, включающая, главным образом, органические вещества, отвечающие за образование твердеющей смолы, а также неорганический микро- или наноразмерный наполнитель, который обеспечивает сопротивляемость усадке пломбы со временем. В некотором композите белого цвета на наполнитель приходится 46% его массы. Определите материал наполнителя, если известно, что он представляет собой фторид некоторого элемента, а масса образца композита, содержащего 0,02 моль этого наполнителя, составляет 10 г. В ответе запишите название элемента в именительном падеже.

#### Решение

Найдем массу и молярную массу неизвестного фторида  $\text{AF}_n$ .

$$m(\text{AF}_n) = 10 \cdot 0,46 = 4,6 \text{ г}, M(\text{A}_x\text{O}_y) = 4,6/0,02 = 230 \text{ г/моль}.$$

При  $n = 1$   $M(\text{A}) = 230 - 19 = 211$ , стабильных элементов с такой массой нет.

$n = 2$   $M(\text{A}) = 230 - 38 = 198$ , иридий. Фторид иридия (II) неизвестен, в соединениях со фтором иридий проявляет более высокие степени окисления.

$n = 3$   $M(\text{A}) = 230 - 19 \cdot 3 = 173$ , иттербий.  $\text{YbF}_3$  белого цвета, может применяться для композитов.

$$n = 4 \quad M(\text{A}) = 230 - 19 \cdot 4 = 154, \text{ не соответствует элементу.}$$

$$n = 5 \quad M(\text{A}) = 230 - 19 \cdot 5 = 135, \text{ не соответствует элементу.}$$

$$n = 6 \quad M(\text{A}) = 230 - 19 \cdot 6 = 116, \text{ индий, не проявляет степени окисления «+6»}.$$

$$n = 7 \quad M(\text{A}) = 230 - 19 \cdot 7 = 97, \text{ не соответствует элементу.}$$

$$n = 8 \quad M(\text{A}) = 230 - 19 \cdot 8 = 78, \text{ не соответствует элементу.}$$

Таким образом, единственное подходящее вещество — фторид иттербия (III).

Ответ: иттербий.

### Задача II.2.7.5. (2 балла)

Темы: неорганическая химия, коллоидные системы.

Мицелла — это отдельная частица дисперсной фазы коллоидной системы с жидкой дисперсионной средой, состоящая из кристаллического или аморфного ядра и поверхностного слоя, включающего сольватно связанные молекулы окружающей жидкости. Пример: реакция сульфата натрия и избытка хлорида бария:



Избыток одного из компонентов действует как стабилизатор коллоидного раствора. Вначале образуется агрегат мицеллы, являющийся мельчайшим кристалликом. На поверхности кристалла  $\text{BaSO}_4$  имеются вакантные места, которые занимают ионы  $\text{Ba}^{2+}$ , вследствие избирательной ионной адсорбции достраивающие кристаллическую решетку. Они придают положительный заряд поверхности ядра, поэтому называются потенциалопределяющими ионами (ПО-ионами).

Ионы  $\text{Cl}^-$  под действием электростатических сил притягиваются к ядру и нейтрализуют заряд. Противоионы находятся в тепловом движении. Часть противоионов ( $n-x$ ), находящихся в непосредственной близости от ядра, связаны с ним помимо электростатических сил адсорбционными силами.

Другая часть противоионов  $x$ , находящаяся вследствие теплового движения и электростатического отталкивания между одноименно заряженными ионами, находится на некотором удалении от ядра, образуя диффузионный слой. Таким образом, вокруг мицеллы существует двойной электрический слой, стабилизирующий мицеллу. Заряды потенциалопределяющих ионов и противоионов полностью скомпенсированы, поэтому мицелла электронейтральна.

Принципы построения формулы мицелл:

- Агрегат мицеллы должен быть нерастворимым соединением.
- Потенциалопределяющими ионами могут быть ионы из дисперсной фазы, изоморфные им или органические ионы с высокой адсорбционной способностью.
- Противоионы образуют с потенциалопределяющим ионом растворимое соединение.
- Мицелла в целом электронейтральна.
- Коэффициенты  $m$ ,  $n$ ,  $(n-x)$ ,  $x$  являются постоянными для любой мицеллы и численно не определены.

---

### Условие

Мицелла образуется в ходе взаимодействия избытка раствора соединения **A** с раствором соединения **B**. Установите компонент **B** если известно, что:

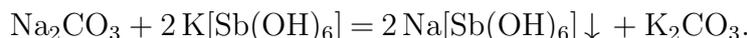
- раствор вещества **B** окрашивает пламя горелки в желтый цвет;
- при взаимодействии раствора вещества **B** с гексагидроксостибатом калия образуется белый осадок;
- в ходе реакции взаимодействия раствора вещества **B** цинкуранилацетатом в присутствии уксусной кислоты наблюдается выпадение осадка желтого цвета;
- при добавлении к раствору вещества **B** хлорида бария наблюдается выпадение белого осадка;
- раствор вещества **B** взаимодействует с соляной кислотой с образованием бесцветного газа.

В качестве ответа введите формулу вещества **B**.

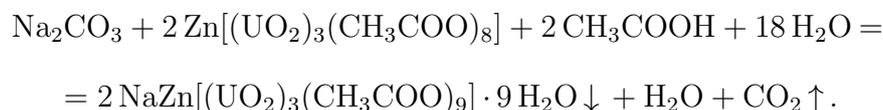
### Решение

Основываясь на условиях задачи, можно сделать вывод, что компонентом **B** является  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , так как:

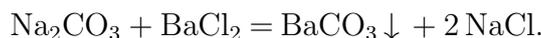
Ионы натрия окрашивают пламя в желтый цвет.



$\text{Na}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$  — белый осадок, плохо растворимый в воде.



$\text{NaZn}[(\text{UO}_2)_3(\text{CH}_3\text{COO})_9] \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  — желтый осадок.



$\text{BaCO}_3$  — белый нерастворимый осадок.



При разложении угольной кислоты происходит образование углекислого газа —  $\text{CO}_2$ .

**Ответ:**  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### Задача II.2.7.6. (8 баллов)

Темы: общая и неорганическая химия.

### Условие

Химические взаимодействия веществ изучаются человечеством на протяжении многих веков. Выберите верные утверждения, описывающие некоторые свойства химических реакций.

1. Суммарная масса продуктов реакции должна быть равна суммарной массе исходных веществ.
2. Схема реакции показывает только состав исходных веществ и продуктов реакции, но не может полностью отражать сущность реакции.
3. Сущность химической реакции с позиции атомно-молекулярной теории заключается в том, что продукты реакции образуются из тех же атомов, которые входили в состав исходных веществ.
4. Уравнение реакции учитывает, что число атомов каждого химического элемента в реакции не меняется.
5. Уравнение реакции показывает только состав исходных веществ и продуктов реакции, но не может полностью отражать сущность реакции.
6. Схема реакции учитывает, что число атомов каждого химического элемента в реакции не меняется.

Ответ: 1, 2, 3, 4.

## Четвертая попытка. Задачи 10–11 класса

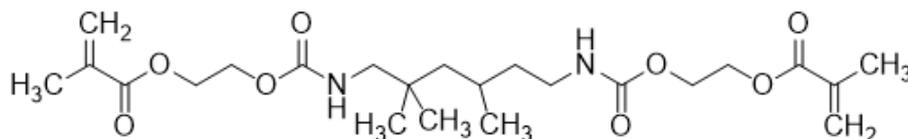
### Задача II.2.8.1. (15 баллов)

Темы: установление формулы органического вещества по продуктам сгорания.

### Условие

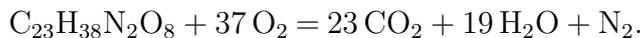
Композиты для отверждаемых пломб в стоматологии — многокомпонентная смесь, включающая, главным образом, неорганический микро- или наноразмерный наполнитель, который обеспечивает сопротивляемость усадке пломбы со временем, а также органический мономер, который при активации катализатором или с помощью ультрафиолета полимеризуется и превращается в смолу.

Одним из таких мономеров является UDMA — соединение с формулой, представленной на изображении. Какой суммарный объем будут занимать газы, выделившиеся при полном сгорании 4,7 г этого мономера после приведения их к нормальным условиям? Ответ введите в мл с точностью до целых.



### Решение

Молекулярная формула представленного на изображении вещества —  $C_{23}H_{38}N_2O_8$ .  
Запишем уравнение реакции его горения:



$$M(C_{23}H_{38}N_2O_8) = 470 \text{ г/моль}, \quad n(C_{23}H_{38}N_2O_8) = 4,7/470 = 0,01 \text{ г/моль},$$

$$n(\text{газов}) = 0,24 \text{ моль}.$$

$$V(\text{газов}) = 0,24 \cdot 22,4 \cdot 1000 = 5376 \text{ мл}.$$

Ответ:  $5376 \pm 8$ .

### Задача II.2.8.2. (20 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

#### Условие

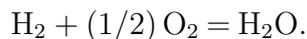
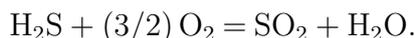
Измельченную смесь алюминия и серы прокалили без доступа влаги и воздуха, после чего смесь остудили до комнатной температуры и разделили на две равные части. К первой части прилили избыток воды, а к второй — избыток раствора гидроксида натрия, при этом в обоих случаях выделялись бесцветные газы. Выделившиеся газы собрали и совместно сожгли, в результате чего образовалось  $X$  г воды и  $Y$  г сернистого газа. Какова масса алюминия в исходной смеси? Ответ выразите в г и округлите до целых.

#### Решение

Факт выделения газа при добавлении раствора гидроксида натрия означает, что алюминий в смеси находился в избытке, поскольку в противном случае этого бы не произошло (сера и сульфид алюминия реагируют со щелочью без выделения газообразных продуктов). Таким образом, в смеси после прокаливания находились сульфид алюминия и избыток самого алюминия.



Уравнения горения газов:



Найдем количества выделившихся газов — водорода и сероводорода.

Пусть  $n(H_2) = x$ ,  $n(H_2S) = y$ . Тогда  $Y = 64y$ ,  $X = 18x + 18y$ .

Откуда  $x = X/18 - Y/64$ ,  $y = Y/64$ .

Заметим, что вся сера, содержавшаяся в начальной смеси, перешла сначала в сульфид алюминия, а затем и в сероводород, поэтому  $n(S) = n(H_2S) = Y/64$ .

В водород перешла половина алюминия, оставшегося в избытке после прокаливания, причем из каждых 2 молей алюминия образовывалось 3 моля водорода согласно уравнению реакции. Поэтому  $n_{\text{изб}}(\text{Al}) = 2 \cdot (2/3) \cdot n(\text{H}_2) = (4/3) \cdot (X/18 - Y/64)$ .

Количество прореагировавшего по реакции  $2\text{Al} + 3\text{S} = \text{Al}_2\text{S}_3$  алюминия составляет  $2/3$  от количества серы или  $n_{\text{реак}}(\text{Al}) = (2/3) \cdot (Y/64) = Y/96$ .

Общее количество алюминия в смеси:

$$n(\text{Al}) = n_{\text{изб}}(\text{Al}) + n_{\text{реак}}(\text{Al}) = (4/3) \cdot (X/18 - Y/64) + Y/96 = 2X/27 - Y/144.$$

Общая масса алюминия —  $m(\text{Al}) = n(\text{Al})M(\text{Al}) = 2X - 27Y/144$ .

Итоговый ответ зависит от исходных значений  $X$  и  $Y$ .

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$X$	9	36	9
$Y$	2	12	2

### Задача II.2.8.3. (25 баллов)

Темы: растворы, электролиз.

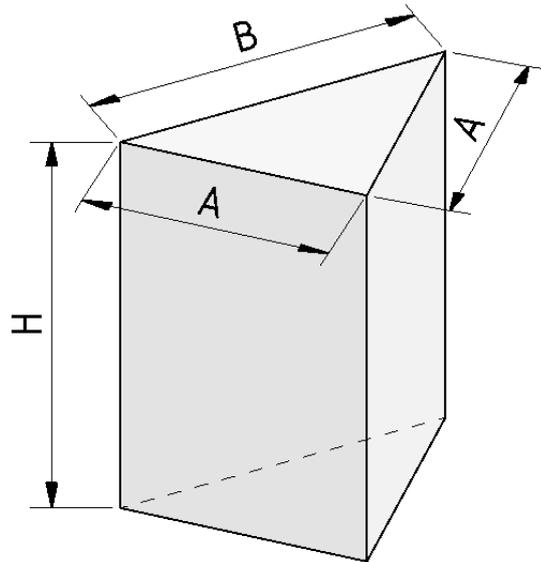
#### Условие

Одним из методов нанесения защитных покрытий на изделия из алюминия является их анодирование, заключающееся в том, что изделие подключается в электрохимическую цепь в качестве анода, в результате чего происходит частичное растворение металла и его покрытие тонким слоем инертного оксида.

Деталь в форме призмы с основанием в виде равнобедренного треугольника с основанием  $B = 6$  см и боковыми сторонами, равными  $A = 5$  см и высотой  $H$  (см. рис.), погрузили в стакан, содержащий раствор серной кислоты и начали процесс нанесения покрытия, подключив к источнику постоянного тока силой 5 А.

Через некоторое время на поверхности детали образовалось покрытие толщиной  $d$ . В течении какого времени велось анодирование, если принять плотность образовавшегося покрытия равной  $\rho = 4$  г/мл, а выделявшийся на электродах кислород не улетучивался и не участвовал в сторонних химических процессах? Ответ выразите в мин и округлите до целых.

Количество выделившегося в ходе электролиза вещества пропорционально заряду, пропущенного через раствор и может быть найдена по закону Фарадея:  $n = It/(zF)$ , где  $I$  — сила тока в А,  $t$  — время в с,  $z$  — количество участвующих в процессе электронов, а  $F$  — постоянная Фарадея, равная 96500 Кл/моль. Толщиной растворившегося слоя алюминия пренебречь.



### Решение

Найдем площадь поверхности детали:

$$S = 2S(\text{оснований}) + SA(\text{боковая}) + 2SB(\text{боковая}) = 2B\sqrt{a^2 - b^2/4} + (2A + B)H.$$

$$V = Sd, m = M(\text{Al}_2\text{O}_3)n = \rho V = \rho Sd, \text{ значит } n = \rho d(2B\sqrt{a^2 - b^2/4} + (2A + B)H)/M(\text{Al}_2\text{O}_3).$$

Кислород генерируется на алюминиевом аноде в ходе полуреакции окисления:

$2\text{H}_2\text{O} - 4e^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$ , таким образом, на 1 моль образующегося кислорода тратится 4 электрона,  $z = 4$ .

$$4\text{Al} + 3\text{O}_2 = 2\text{Al}_2\text{O}_3, n = n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2/3 \cdot n(\text{O}_2) = 2It/(3ZF) = It/6F, \text{ откуда}$$

$$t = 6\rho d(2B\sqrt{A^2 - B^2/4} + (2A + B)H)F/[M(\text{Al}_2\text{O}_3)I].$$

Подставим постоянные величины:  $\rho = 4$  г/мл,  $I = 5$  А,  $F = 96500$  Кл/моль,  $A = 5$  см,  $B = 6$  см,  $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102$  г/моль.

$$t \text{ с} = 6\rho d(2B\sqrt{A^2 - B^2/4} + (2A + B)H)F/[M(\text{Al}_2\text{O}_3)I] = 72658d(3 + 2H).$$

Если  $d$  подставлять в нм, то  $t \text{ мин} = 0,1211d(3 + 2H)$ .

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$H$ см	1	6	1
$d$ мкм	10	70	10

### Задача II.2.8.4. (20 баллов)

Темы: растворы, содержание элемента в смеси.

## Условие

Для приготовления смесей-концентратов для питательного раствора в гидропонной установке нередко используют стандартные растворы, которые смешиваются между собой в определенных пропорциях и доводятся до метки в литровой мерной колбе. Имеются 0,1 М растворы нитрата калия и дигидрофосфата калия, требуется приготовить стандартный раствор нитрата аммония.

Какую минимальную молярную концентрацию может иметь этот раствор, чтобы приготовление конечной смеси-концентрата, который содержал бы  $X$  г азота,  $Y$  г фосфора и  $Z$  г калия по схеме, описанной выше, было возможным? Отклонением плотности растворов от 1 г/мл пренебречь. Ответ выразите в моль/л и округлите до тысячных.

## Решение

Фосфор вносится только с помощью  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , а калий и азот — сразу с помощью двух солей.

$$n(\text{P}) = Y/31, n(\text{K}) = Z/39, \text{отсюда}$$

$$n(\text{KNO}_3) = n(\text{K}) - n(\text{P}) = Z/39 - Y/31.$$

$$n(\text{N}) = n(\text{KNO}_3) + 2n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = X/14, \text{откуда}$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (1/2) \cdot (X/14 - (Z/39 - Y/31)).$$

Для того, чтобы итоговый раствор можно было приготовить по указанной методике, нужно, чтобы суммарный объем растворов не превышал 1 л. При минимальной концентрации  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  сумма трех объемов, вносимых в мерную колбу, будет равна ровно 1 л.

Рассчитаем объемы каждого раствора:

$$V(\text{KH}_2\text{PO}_4) = n(\text{KH}_2\text{PO}_4)/C(\text{KH}_2\text{PO}_4) = Y/31/0,1 = 10Y/31.$$

$$V(\text{KNO}_3) = n(\text{KNO}_3)/C(\text{KNO}_3) = (Z/39 - Y/31)/0,1 = 10Z/39 - 10Y/31.$$

$$V(\text{NH}_4\text{NO}_3) = n(\text{NH}_4\text{NO}_3)/C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = (X/14 - (Z/39 - Y/31))/2C.$$

## Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
X	70 мг = 0,07 г	350 мг = 0,35 г	70 мг = 0,07 г
Y	31 мг = 0,031 г	31 мг = 0,0372 г	6,2 мг = 0,0062 г
Z	78 мг = 0,117 г	273 мг = 0,273 г	39 мг = 0,039 г

## Задача П.2.8.5. Доставка прямо в точку (12 баллов)

Темы: органическая химия, системы доставки.

Липосомы — это микроскопические сферы, стенки которых устроены так же, как клеточная мембрана. Впервые их получили еще в 1960-х годах, в 1970-х ученые предложили использовать липосомы для доставки лекарств, а сейчас лекарства в липосомах применяются для лечения целого ряда болезней от гриппа до различных видов злокачественных новообразований.

Липосомы могут осуществлять адресную доставку веществ туда, где они нужны. Понятие «адресная доставка» сопровождает практически любой рассказ о перспективах развития фармакологии, и это не случайно — при химиотерапии рака, например, только адресной доставкой можно уменьшить тяжесть побочных эффектов от достаточно токсичных препаратов.



Рис. П.2.4. Липосома и строение липоконъюгата

Основными структурными компонентами липосом являются липоконъюгаты, в состав которых входят:

- гидрофобный домен (углеводородные цепи);
- спейсерная группа (аминокислоты, глицерин, полиэтиленгликоли);
- адресный лиганд (антитела, углеводы и небольшие пептиды).

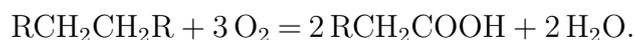
Особенный интерес представляют именно адресные лиганды, так как они отвечают за направленную доставку содержимого липосомы. Одним из таких лигандов является пептид **АВС**, состоящий из трех последовательно связанных между собой протеиногенных аминокислот.

### *Условие*

При каталитическом окислении 44,8 л (н. у.) неразветвленного симметричного алкана образуется карбоновая кислота, которая при последовательной обработке желтовато-зеленым газом в присутствии красного фосфора и избытком аммиака дает 300 г аминокислоты **В**. В качестве ответа запишите тривиальное название аминокислоты **В**. Ответ введите одним словом на русском языке в именительном падеже. Например, лизин.

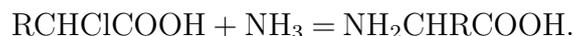
### *Решение*

Каталитическое окисление алканов является распространенным способом получения карбоновых кислот. В условии задачи алкан неразветвленный и симметричный:



Последующее воздействие на полученную карбоновую кислоту желтовато-зеленым газом (хлором) в присутствии красного фосфора приводит к образованию продукта галогенирования  $\alpha$ -метиленовой группы кислоты, который в ходе взаимодействия с

аммиаком дает желаемую аминокислоту:



Согласно уравнениям реакции, можно рассчитать количество вещества образовавшейся карбоновой кислоты:

$$\nu(\text{алкан}) = \frac{V(\text{алкан})}{V_m} = \frac{44,8 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 2 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{карб. к-та}) = \nu(\text{алкан}) \cdot 2 = 2 \text{ моль} \cdot 2 = 4 \text{ моль}.$$

Опираясь на значения, стехиометрических коэффициентов последующих реакций можно сделать вывод о том, что количество вещества аминокислоты **В** соответствует количеству вещества карбоновой кислоты:

$$\nu(B) = \nu(\text{карб. к-та}) = 4 \text{ моль}.$$

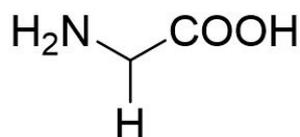
Из условия задачи известно, что в ходе синтеза получается 300 г аминокислоты **В**, следовательно, можно рассчитать ее молекулярную массу:

$$M(B) = \frac{m(B)}{n(B)} = \frac{300 \text{ г}}{4 \text{ моль}} = 75 \text{ г/моль}.$$

Молекулярная масса аминокислоты складывается из молекулярной массы ее основной части (74 г/моль) и молекулярной массы бокового радикала:

$$M(R) = M(B) - M(\text{осн.}) = 75 \text{ г/моль} - 74 \text{ г/моль} = 1 \text{ г/моль},$$

$$R = H.$$



**Глицин**

Аминокислота **В** — глицин.

**Ответ:** глицин.

**Задача II.2.8.6. (8 баллов)**

Темы: органическая химия.

---

### *Условие*

Органические соединения, в состав которых входит одна или несколько гидроксильных групп, непосредственно связанных с насыщенным атомом углерода называют спиртами. Выберите верное утверждение, характерное для данных соединений.

1. Метанол и этанол смешиваются с водой в различных пропорциях.
2. Многие спирты можно обнаружить в природных объектах.
3. С увеличением числа атомов углерода в молекуле спирта растворимость в воде снижается.
4. С увеличением числа атомов углерода в молекуле спирта растворимость в воде повышается.
5. Метанол, этанол и изомерные пропанолаы смешиваются с водой в пропорциях только до 40% по массе.
6. Спирты являются продуктами химической промышленности и их наличие в биологических и природных объектах исключено.

**Ответ:** 1, 2, 3.

# Инженерный тур

## Задача П.3.1. (20 баллов)

Темы: гидрофобизация, материаловедение, химия.

### Условие

Какое из приведённых веществ можно применять для гидрофобизации металлической поверхности? Выберите верный ответ.

1. Этанол.
2. Гидроксид натрия.
3. Стеариновая кислота.
4. Серная кислота.

Ответ: 3.

## Задача П.3.2. (20 баллов)

Темы: гидрофобизация, материаловедение, химия.

### Условие

Какое из перечисленных утверждений соответствует определению гидрофобного материала? Выберите верный ответ.

1. Материал, у которого угол смачивания водой менее  $90^\circ$ .
2. Материал, у которого угол смачивания водой более  $180^\circ$ .
3. Материал, у которого угол смачивания водой более  $90^\circ$ .
4. Материал, у которого угол смачивания водой менее  $0^\circ$ .

Ответ: 3.

## Задача П.3.3. (20 баллов)

Темы: наноструктурирование, материаловедение, химия.

### Условие

Выберите способ наноструктурирования, подходящий для металлических поверхностей.

1. Пескоструйная обработка.
2. Обработка наждачной бумагой.
3. Покрытие масляной краской.
4. Анодирование.

---

Ответ: 4.

**Задача II.3.4. (20 баллов)**

Темы: гидрофобизация, наноструктурирование, материаловедение, химия.

**Условие**

Что такое «эффект лотоса»? Выберите *верный* ответ.

1. Самозаживляющая способность поверхности, возникающая благодаря наноструктурированию.
2. Способность материала к самоочищению благодаря комбинации наноструктурирования поверхности и гидрофобности.
3. Способность материала плавать на поверхности воды благодаря гидрофобности.
4. Способность материала проводить электричество благодаря наноструктурированию и гидрофобности поверхности.

Ответ: 2.

**Задача II.3.5. (20 баллов)**

Темы: гидрофобизация, материаловедение, химия.

**Условие**

Как шероховатость поверхности влияет на её угол смачивания водой? Выберите *верный* ответ.

1. На гидрофильной поверхности шероховатость уменьшает угол смачивания, на гидрофобной — увеличивает.
2. На гидрофильной поверхности шероховатость увеличивает угол смачивания, на гидрофобной — уменьшает.
3. Шероховатость не влияет на угол смачивания поверхности водой.
4. Шероховатость в любом случае увеличивает угол смачивания поверхности водой.

Ответ: 1.