

# Заключительный этап

## Индивидуальный предметный тур

### Химия. 8-9 класс

#### Задача III.1.1.1. Cas9 (20 баллов)

В 2020 году Нобелевская премия по химии была присуждена Дженнифер Дудна и Эмманюэль Шарпантье за внедрение методов редактирования генов с помощью CRISPR-Cas9.

Эндонуклеаза Cas9 является белком. Белки — большие молекулы, состоящие из последовательно соединенных аминокислотных остатков. Молекулярная масса белка Cas9 составляет 160 кДа (1 Да = 1 а. е. м.).

- 1.1. Рассчитайте количество аминокислотных остатков (1 аминокислотный остаток = 1 молекула), входящих в состав эндонуклеазы Cas9. Для оценки считайте, что количество всех остатков в структуре белка одинаково, а средняя молекулярная масса одного аминокислотного остатка составляет 109,6 а. е. м.

#### Решение

1 Да = 1 а. е. м.  $\Rightarrow$  количество остатков аминокислот в Cas9 составляет:  
 $n(\text{АК}) = 160\,000/110 = 1460$  остатков

Последовательность аминокислотных остатков в белке определяет его свойства. Например, в случае эндонуклеазы Cas9, удаление остатка аминокислоты Asp, расположенного на 10-м месте в последовательности, критически влияет на свойства Cas9 в водном растворе.

- 1.2. Вычислите брутто формулу аминокислоты Asp, если известно, что при сгорании 133 г (1 моль) Asp образуется только 97,8 литров  $\text{CO}_2$ , 12,2 литра  $\text{N}_2$  и 0,063 литра  $\text{H}_2\text{O}$  (объемы всех веществ измерены при  $T = 298\text{ K}$ ,  $P = 1\text{ атм}$ ).  
*Для справок: по уравнению Гей-Люссака  $V/T = \text{const}$  при  $P = \text{const}$ .*

#### Решение

Вычислим объем одного моля газа при  $T = 298\text{ K}$ :

$$VM(\text{н. у.})/T(\text{н. у.}) = VM(T)/T \Rightarrow VM(298) = 298 \cdot VM(\text{н.у.})/273 = 24,45$$

$$n(\text{CO}_2) = 97,8/24,45 = 4 \text{ моль} \Rightarrow n(\text{C в Asp}) = 4 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}_2) = 12,2/24,45 = 0,5 \text{ моль} \Rightarrow n(\text{N в Asp}) = 1 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m/M = 63/18 = 3,5 \text{ моль} \Rightarrow n(\text{H в Asp}) = 7 \text{ моль};$$

Вычислим суммарную массу атомов  $C, N$  и  $H$ :

$$m(CNH) = 4 \cdot 12 + 14 + 7 = 69 \text{ г/моль}$$

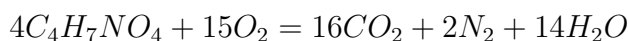
Поскольку в реакции не образуется других продуктов:

$$\Delta m = m(O) = m(Asp) - m(CNH) = 64 \Rightarrow n(O) = m(O)/M(O) = 4$$

Брутто-формула  $Asp$ :  $C_4H_7NO_4$

1.3. Напишите уравнение реакции горения аминокислоты  $Asp$  (**реакция 1**).

**Решение**



Аминокислота  $Cys$ , также присутствующая в структуре белка  $Cas9$ , помимо атомов  $C, N, H$  и  $O$  в своем составе содержит атомы элемента  $X$ .

1.4. Установите элемент  $X$ , если известно, что в результате горения аминокислоты  $Cys$ , помимо воды, азота и углекислого газа образуется вещество  $W$ , массовая доля  $X$  в котором составляет 50%.

**Решение**

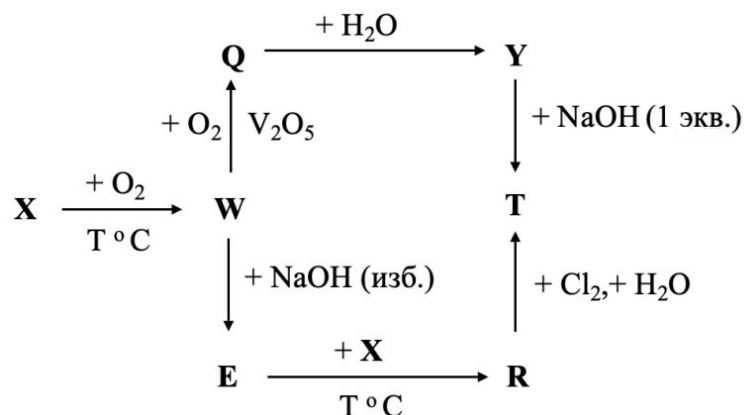
Вещество  $W$  образуется в результате горения  $Cys$ , поэтому логично предположить, что  $W$  — это оксид элемента  $X$  состава  $XO_n$ . Тогда  $M(X) = n \cdot M(O)$ . При  $n = 0,5$  (оксид состава  $X_2O$ ),  $M(X) = 8$  — в периодической системе нет элемента с такой молярной массой.

При  $n = 1$ ,  $M(X) = 16$  — соответствует молярной массе кислорода и не удовлетворяет условию задачи.

При  $n = 1,5$  (оксид состава  $X_2O_3$ ),  $M(X) = 24$  — соответствует молярной массе  $Mg$ , однако  $Mg$  не образует оксидов состава  $X_2O_3$ .

При  $n = 2$  (оксид состава  $XO_2$ ),  $M(X) = 32$  — соответствует молярной массе  $S$ , соответственно  $W = SO_2$ .

Ниже приведена схема превращений соединений элемента  $X$  ( $X$  в схеме — простое вещество, образованное атомами элемента  $X$ ):



1.5. Установите формулы веществ  $Q, W, E, R, T$  и  $Y$  и напишите уравнения всех представленных на схеме реакций.

**Решение**

Вещество  $Q - SO_3, W - SO_2, E - Na_2SO_3, R - Na_2S_2O_3, T - NaHSO_4, Y - H_2SO_4$ .

1.  $S + O_2 = SO_2$ ;
2.  $2SO_2 + O_2 = 2SO_3$ ;
3.  $SO_2 + 2NaOH = Na_2SO_3 + H_2O$ ;
4.  $Na_2SO_3 + S = Na_2S_2O_3$ ;
5.  $Na_2S_2O_3 + 4Cl_2 + 5H_2O = 2NaHSO_4 + 8HCl$ ;
6.  $SO_3 + H_2O = H_2SO_4$ ;
7.  $H_2SO_4 + NaOH = NaHSO_4 + H_2O$ .

### Система оценки

№	Критерий	Балл
1	Расчет количества молекул — 1 б.	1
2	Брутто-формула Asp — 2 б.	2
3	Уравнение реакции горения Asp — 2 б.	2
4	Элемент X — 2 б.	2
5	Вещества Q, W, E, R, T и Y — по 1 б., уравнения реакций — по 1 б.	13
Итого		20

### Задача III.1.1.2. Неорганические компоненты (15 баллов)

Полимеразную цепную реакцию (ПЦР), как правило, проводят в водном растворе, который, помимо основных компонентов реакции, содержит и неорганические вещества. Соединения **A** и **B**, которые часто используют при приготовлении реакционной смеси для ПЦР, являются неорганическими солями. Именно соединения **A** и **B** в эквимольном соотношении и кристаллизационная вода формируют структуру природного минерала **K**.

- 2.1. Установите формулы неорганических соединений **A** и **B**, если известно, что в их состав входит одинаковый галогенид-ион с массовой долей 74,7% и 47,65% соответственно, а отношение молярных масс  $A/B = 1,275$ .

#### Решение

Составим общую формулу для вычисления молярной массы металлов, входящих в состав **A** и **B**:

$M(Me) = (\frac{1}{w(Hal)} - 1) \cdot n \cdot M(Hal)$ , где  $M(Hal)$  — молярная масса галогена,  $n$  — число атомов галогена,  $w(Hal)$  — массовая доля атомов галогена в соединении. Составим таблицу и вычислим значение массы металла, входящего в **B**, при  $n = 1$  и различных  $Hal$ :

	n	Hal = F	Hal = Cl	Hal = Br	Hal = I
$M(Me)B$	1	20,8	39	87,9	139,5

По результатам расчетов, единственное подходящее решение —  $KCl$  (соединение **B**).

Вычислим молярную массу вещества **A**:

$M(A) = 1,275 \cdot M(B) = 94,98 \sim 95$  г/моль. Поскольку известно, что в состав **A** входит такой же галогенид-ион, как и в состав **B**:

$(Me) = 95 - n \cdot 35,5 \Rightarrow M(Me) = 24$  при  $n = 2$ , следовательно металл -  $Mg$ , соединение -  $MgCl_2$ .

Проверим по массовой доле  $w(Cl) = 71/95 = 0,747$ , что соответствует условию задачи.

- 2.2. Установите формулу минерала **К**, если известно, что его формулу в общем виде можно записать как  $A \cdot B \cdot nH_2O$ , а массовая доля галогенид-ионов в нем составляет 38,37%.

### Решение

Исходя из условия, в состав **К** входят соединения **A**, **B** в эквимольном соотношении и кристаллизационная вода. Следовательно, общая формула минерала:  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot nH_2O$ . Таким образом, в состав **К** входит 3 атома хлора  $\Rightarrow$

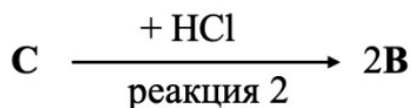
$$M(K) = 35,5 \cdot 3/0,3837 = 277,5 \Rightarrow$$

$$m(H_2O) = 277,5 - m(KCl) - m(MgCl_2) = 108 \Rightarrow n(H_2O) = 6.$$

Формула минерала **К**:  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

В ходе финала профиля «Геномное редактирование» ОНТИ команда «E.coli на воле!» израсходовала весь раствор для проведения ПЦР, выданный им. По стечению обстоятельств, в лаборатории остались все компоненты раствора для ПЦР, кроме одной из солей, описанных в задаче.

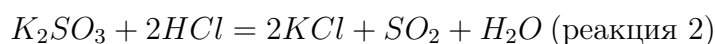
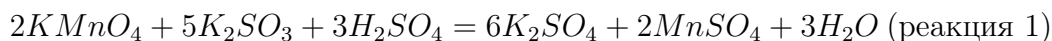
В соседней лаборатории участники профиля «Наносистемы и наноинженерия» изучали восстановительные свойства соединения **С** в реакции с перманганатом калия в кислой среде (**реакция 1**). Капитан команды «E.coli на воле!» подумал и решил, что команда сможет получить соединение **В** в чистом виде, если обработает соединение **С** раствором соляной кислоты (**реакция 2**) и упарит получившийся раствор.



- 2.3. Напишите формулу соединения **С** и уравнения **реакций 1** и **2**. Дополнительно известно, что соединение **С** не является бинарным.

### Решение

В результате упаривания получается чистое вещество **В**, следовательно, после реакции **2** в растворе не должно остаться никаких ионов, кроме  $K^+$  и  $Cl^-$ . Таким образом, соединением **С** может быть карбонат или сульфит калия, однако карбонат калия не является восстановителем, поэтому -  $K_2SO_3$ .



- 2.4. Какой визуальный эффект наблюдали финалисты профиля «Наносистемы и наноинженерия», проводя **реакцию 1**?

**Решение**

Раствор перманганата калия обесцвечивается при добавлении сульфита калия.

- 2.5. Рассчитайте, хватит ли команде «E. coli на воле» вещества **B**, полученного из 5,5 г вещества **C** с выходом 80%, для приготовления 100 мл раствора для проведения ПЦР. Концентрация вещества **B** в растворе для проведения ПЦР составляет 500 мМ (мМ = [миллимоль/литр]).

**Решение**

Вычислим количество моль KCl, необходимое для приготовления раствора для проведения ПЦР:

$$n(KCl) = C \cdot V = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ моль.}$$

Рассчитаем массу полученного KCl:

$$n(K_2SO_3) = 5,5/158 = 0,035 \text{ моль} \Rightarrow n(KCl)_{\text{теор}} = n(K_2SO_3) \cdot 2 = 0,07 \text{ моль} \Rightarrow$$

$$n(KCl)_{\text{практ.}} = Y \cdot n(KCl)_{\text{теор}} = 0,8 \cdot 0,07 = 0,056 \text{ моль} > 0,05 \text{ моль} \Rightarrow$$

синтезированного вещества хватит для приготовления раствора

**Система оценки**

№	Критерий	Балл
1	Расчет формул солей — по 2 б. за каждую	4
2	Формула минерала К — 2 б.	2
3	Формула вещества С — 2 б, уравнение реакции 1 — 2 б, уравнение реакции 2 — 1 б.	5
4	Визуальный эффект — 1 б.	1
5	Количество моль, необходимое для раствора — 1 б., количество моль, полученное — 1 б., вывод — 1 б.	3
Итого		15

**Задача III.1.1.3. Лабораторный пластик (20 баллов)**

Компания «Эпшендорф» — лидер рынка лабораторного пластика — использует для производства своей продукции (пластиковых пробирок, плашек для ПЦР и т. д.) такие полимеры как полиэтилен и полипропилен. Полимеры — это длинные молекулы, состоящие из последовательно соединенных молекул мономеров. Так, структура полиэтилена формируется из молекул этилена  $C_2H_4$  и может быть описана общей формулой  $nC_2H_4$ , где  $n$  — число последовательно соединенных молекул этилена.

Сотрудник компании «Эпшендорф» Джаред заступил на смену 31 декабря 2020 года и решил своеобразно отметить начало Нового 2021 года — синтезировать два полимера (полиэтилен и полипропилен) длиной в  $20^{21}$  молекул мономеров каждый.

- 3.1. Рассчитайте массы мономеров ( $C_2H_4$  и  $C_3H_6$ ), которые Джаред потратил для синтеза молекул полиэтилена и полипропилена длиной в  $20^{21}$  мономеров. При оценке считайте, что в процессе из мономеров формируется только одна цепь полимера.

**Решение**

Рассчитаем количество моль этилена и пропилена, которые потребуются сотруднику компании Эппендорф:

$$n_{(\text{мономеров})} = N/NA = 2021/6,02 \cdot 1023 = 2,09 \cdot 1027 = 3483,6 \text{ моль}$$

$$m_{(\text{этилена})} = 3483,6 \cdot 28 = n \cdot M_{(\text{этилена})} = 97541 \text{ г} = 97,5 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{пропилена})} = 3483,6 \cdot 28 = n \cdot M_{(\text{пропилена})} = 146312 \text{ г} = 146,3 \text{ кг}$$

После новогодних праздников начальник Джареда обнаружил, что за смену 31 декабря мономеров было потрачено больше, чем планировалось. Джаред признался начальнику в том, что потратил часть мономеров для того, чтобы отметить Новый год. Однако, начальник не оценил специфические развлечения Джареда и попросил его компенсировать затраты мономеров.

- 3.2. Вычислите, сколько дней Джареду придется работать бесплатно, чтобы компенсировать затраты компании. Стоимость одного месяца работы (в месяце в среднем — 22 рабочих дня) Джареда составляет 5000 евро, стоимость этилена — 800 евро за тонну, а стоимость пропилен — 1000 евро за тонну.

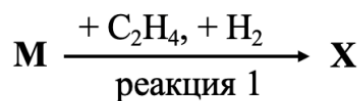
**Решение**

Зарплата Джареда за 1 день  $5000/22 = 227,2$  евро.

Джаред потратил 0,0975 тонн этилена и 0,146 тонн пропилен, следовательно: Затраты =  $0,0975 \cdot 800 + 0,146 \cdot 1000 = 78 + 146 = 224$  евро  $\Rightarrow$  Джаред будет работать бесплатно 1 день.

В 1963 году Карл Ц. и Джулио Н. получили Нобелевскую премию по химии за открытие новых катализаторов полимеризации алкенов. Катализаторы Ц-Н позволили получать полимеры с высоким выходом и селективностью.

Один из компонентов катализатора Ц-Н (вещество **X**) содержит металл **M** и получается в результате взаимодействия металла **M**, этилена и водорода:



- 3.3. Определите металл **M**, если известно, что **X** — единственный продукт **реакции 1**, массовая доля  $\text{M}^{3+}$  в **X** составляет 23,68%, массовая доля углерода — 63,16%, массовая доля водорода — 13,16%. Ответ подтвердите расчетом.

**Решение**

Вычислим соотношение количества моль  $C : H$  (считаем, что  $m(X) = 100$  г):

$$n(C) = m(C)/M(C) = m(X) \cdot w(C)/M(C) = 63,16/12 = 5,26 \text{ моль.}$$

$$n(H) = m(H)/M(H) = m(X) \cdot w(H)/M(H) = 13,16/1 = 13,16 \text{ моль.}$$

$C : H = n(C) : n(H) = 1 : 2,5 = 2 : 5 \Rightarrow$  общая формула соединения  $M(\text{C}_2\text{H}_5)_n$   
Вычислим молярную массу  $M^{3+}$  при различных зарядах фрагмента  $\text{C}_2\text{H}_5$ :

$z = -1, n = 3 \Rightarrow M(M) = 3 \cdot M(C_2H_5) \cdot w(M)/w(C_2H_5) = 3 \cdot 29 \cdot 0,2368/0,7632 = 27 \Rightarrow Al$

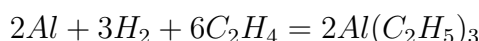
$z = -2, n = 1,5 \Rightarrow M(M) = 1,5 \cdot (C_2H_5) \cdot w(M)/w(C_2H_5) = 13,5 \Rightarrow$  такого металла нет

$z = -3, n = 1 \Rightarrow M(M) = 1,5 \cdot (C_2H_5) \cdot w(M)/w(C_2H_5) = 9 \Rightarrow$  подходит Be, однако Be не образует соединения со с. о. +3.

Таким, образом, единственный подходящий вариант:  $M - Al, X - Al(C_2H_5)_3$

3.4. Напишите уравнение **реакции 1**.

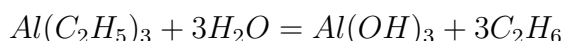
*Решение*



При взаимодействии соединения **X** с водой (реакция 2) образуется соединение **L** — амфотерный гидроксид металла **M**.

3.5. Напишите уравнение **реакции 2**.

*Решение*

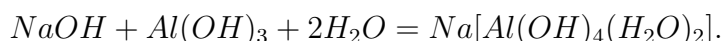
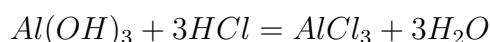


3.6. Дайте определение термину «амфотерность» и напишите уравнения реакций, демонстрирующие амфотерные свойства **L** (**реакции 3 и 4**).

*Решение*

Амфотерность (от др.-греч. *αμφότεροι* «двоякий, двойственный; обоюдный») — способность некоторых химических веществ и соединений проявлять, в зависимости от условий, как кислотные, так и основные свойства.

Уравнения реакций:



*Система оценки*

№	Критерий	Балл
1	Масса этилена и пропилена — по 2,5 б. за каждую	5
2	Расчет количества дней бесплатной работы Джареда — 2 б.	2
3	Металл M — 2., вещество X — 2 б.	4
4	Уравнение реакции 1 — 2 б.	2
5	Уравнение реакции 2 — 2 б.	2
6	Амфотерность — 1 б., уравнения реакций — по 2 б. за каждое.	5
Итого		20

### Задача III.1.1.4. Электрофорез (15 баллов)

Электрофорез — метод, позволяющий разделять молекулы по размерам с помощью электрического тока. Фрагменты макромолекул (таких как белки или нуклеиновые кислоты) движутся в среде с различной скоростью в зависимости от их размера.

Для анализа продуктов ПЦР — фрагментов ДНК или РНК — используется гель, основой которого является линейный полисахарид — агароза.

- 4.1. Установите брутто-формулу агарозы, если известно, что в состав 306 г (1 моль) агарозы входит 47,06% углерода, 5,88% водорода и 47,06% кислорода по массе. Ответ подтвердите расчетом.

#### Решение

Пусть агарозы было 100 г. Вычислим количества моль элементов, входящих в ее состав:

$$n(C) = m(C)/M(C) = 47,06/12 = 3,92 \text{ моль}$$

$$n(H) = m(H)/M(H) = 5,88/1 = 5,88 \text{ моль}$$

$$n(O) = m(O)/M(O) = 47,06/16 = 2,94 \text{ моль}$$

$$n(C) : n(O) : n(H) = 1,33 : 2 : 1 = 4 : 6 : 3 \Rightarrow C_4H_6O_3 (M = 102 \text{ г/моль}),$$

следовательно брутто-формула агарозы —  $C_{12}H_{18}O_9$ .

Для приготовления агарозного геля, агарозу кипятят в растворе ТАЕ или ТВЕ. В состав раствора ТАЕ входят соли кислоты **A**, часто применяемой в быту для консервации продуктов и приготовления пищи.

- 4.2. Установите формулу кислоты **A**, если известно, что она обладает резким характерным запахом, состоит из атомов 3-х элементов, а при ее горении образуется только углекислый газ и вода. Большинство солей, образованных этой кислотой, хорошо растворимы в воде.

#### Решение

Исходя из условия, 3 элемента, образующие кислоту **A** — водород, кислород и углерод. В таблице растворимости есть 2 кислоты, образованные углеродом, водородом и кислородом, однако угольная кислота не подходит. **A** — уксусная кислота  $CH_3COOH$ .

В состав раствора ТВЕ входит неорганическая кислородсодержащая кислота **B**, раствор которой в этиловом спирте применяется для обработки открытых ран, а также для лечения заболевания ушей.

Для элемента **X**, образующего кислоту **B**, известно более 10 аллотропных модификаций.

- 4.3. Что такое аллотропия? Напишите определение этого термина и приведите два примера элементов (помимо **X**), образующих несколько аллотропных модификаций.

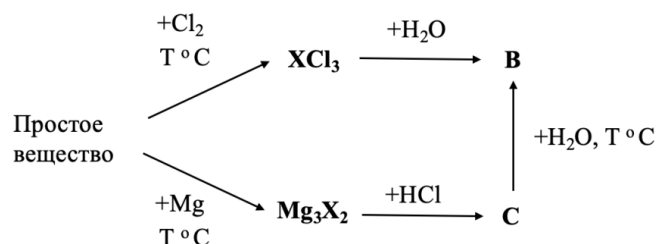


**Решение**

Аллотропия (от др.-греч.  $\alpha\lambda\lambda\omicron\zeta$  «другой» +  $\tau\rho\omicron\pi\omicron\zeta$  «поворот, свойство») — существование двух и более простых веществ, образованных одним и тем же химическим элементом.

Примеры элементов, образующих несколько аллотропных модификаций:  
*O, P, C, S.*

Два варианта синтеза кислоты **B** из простого вещества, образованного элементом **X**, приведены на схеме ниже:



- 4.4. Установите элемент **X**, формулы кислоты **B** и соединения **C**, а также напишите уравнения всех реакций, представленных на схеме (всего 5 реакций). Дополнительно известно, что массовая доля атомов **X** в **B** составляет 17,5%, а одним из продуктов взаимодействия **C** с водой является водород.

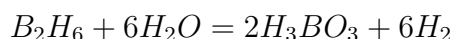
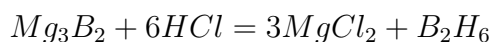
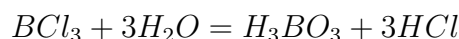
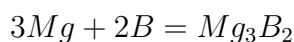
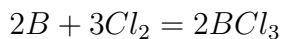
**Решение**

Логично предположить, что степень окисления *X* в *B* равна +3, поскольку *B* получается в результате гидролиза  $\text{XCl}_3$ . Для кислоты со степенью окисления кислотообразующего атома +3 характерны следующие формы  $\text{HXO}_2$  и  $\text{H}_3\text{XO}_3$ .

В случае  $\text{HXO}_2 M(X) = 0,175 \cdot 33/0,825 = 7 \Rightarrow$  подходит литий, однако химические свойства, описанные в задаче, не согласуются со свойствами лития.

В случае  $\text{H}_3\text{XO}_3 M(X) = 0,175 \cdot 51/0,825 = 10,8$ , что соответствует бору  $\Rightarrow$   $X - \text{B}, B - \text{H}_3\text{BO}_3, C - \text{B}_2\text{H}_6$ .

Уравнения реакций:



*Система оценки*

№	Критерий	Балл
1	Брутто-формула агарозы — 2 б.	2
2	Кислота А — 2 б.	2
3	Аллотропия — 2 б., примеры — по 0,5 за каждый	3
4	Элемент Х, кислота В, соединение С — по 1 б., уравнения реакций — по 1 б. за каждое	8
Итого		15

**Химия. 10-11 класс****Задача III.1.2.1. Cas9 (15 баллов)**

В 2020 году Нобелевская премия по химии была присуждена Дженнифер Дудна и Эмманюэль Шарпантье за внедрение методов редактирования генов с помощью CRISPR-Cas9.

Один из компонентов разработанной системы редактирования генов — эндонуклеаза Cas9 — является белком с молекулярной массой 160 кДа (1 Да = 1 а. е. м.).

- 1.1. Рассчитайте количество атомов азота, входящих в состав эндонуклеазы Cas9. Для оценки считайте, что количество всех аминокислотных остатков в структуре белка одинаково, а средняя молекулярная масса одного остатка составляет 109,6 г/моль.

**Решение**

1 Да = 1 а. е. м. = 1 г/моль  $\Rightarrow$  количество аминокислотных остатков в Cas9 составляет:

$n(\text{АК}) = 160\,000/109,6 = 1460$  молекул  $\Rightarrow$  белок содержит  $1460/20 = 73$  аминокислотных остатка каждой аминокислоты. Тогда количество атомов азота составит:

$$N(N) = 73 \cdot 14 + 4 \cdot 2 \cdot 73 + 4 \cdot 73 + 3 \cdot 73 = 2117 \text{ атомов азота.}$$

*Для справки:* общее количество протениогенных аминокислот — 20, в 14-ти из них содержится 1 атом N, в 4-х — 2 атома N, в 1-ой — 3 атома N и одна аминокислота содержит 4 атома азота.

**Решение**

1 Да = 1 а. е. м. = 1 г/моль  $\Rightarrow$  количество аминокислотных остатков в Cas9 составляет:

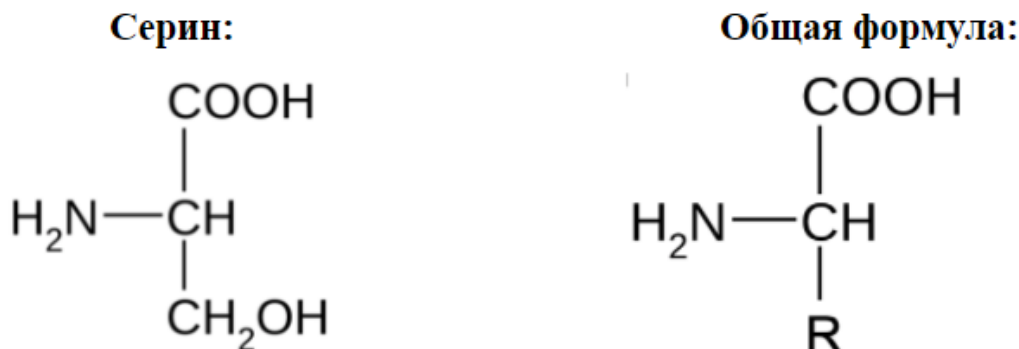
$n(\text{АК}) = 160\,000/109,6 = 1460$  молекул  $\Rightarrow$  белок содержит  $1460/20 = 73$  аминокислотных остатка каждой аминокислоты. Тогда количество атомов азота составит:

$$N(N) = 73 \cdot 14 + 4 \cdot 2 \cdot 73 + 4 \cdot 73 + 3 \cdot 73 = 2117 \text{ атомов азота.}$$

Последовательность аминокислотных остатков в белке определяет его свойства. Например, в случае Cas9 важную роль в процессе связывания белка с ДНК играет аминокислотный остаток серина (Ser), являющийся 15-м мономером домена RuvC.

- 1.2. Изобразите структурную формулу серина, а также обобщенную структурную формулу протеиногенных аминокислот, обозначив варьируемую часть структуры за R.

*Решение*



Изоэлектрическая точка ( $pI$ ) — одна из важных характеристик аминокислот, которая является показателем кислотности (по шкале  $pH$  от 0 до 14), при котором молекула аминокислоты не заряжена. Значение изоэлектрической точки вычисляется по формуле:

$$pH = pI = \frac{pKa1 + pKa2}{2}$$

- 1.3. Рассчитайте изоэлектрическую точку аминокислоты серин, если известно, что  $K_{a1}(\text{COOH}) = 6,2 \cdot 10^{-3}$ ,  $K_{a2}(\text{NH}_3^+) = 7,07 \cdot 10^{-10}$ .

*Решение*

$$\begin{aligned} pKa &= -\lg Ka \Rightarrow pKa1(\text{Ser}) = -\lg(6,2 \cdot 10^{-3}) = 2,21; \\ pKa2(\text{Ser}) &= -\lg(7,07 \cdot 10^{-10}) = 9,15 \\ pI &= (9,15 + 2,21)/2 = 5,68 \end{aligned}$$

- 1.4. Какой заряд приобретает молекула серина в водном растворе со значением  $pH = 4$ ? Ответ обоснуйте.

*Решение*

Молекула серина будет обладать положительным зарядом, поскольку значение  $pH$  ниже значения изоэлектрической точки.

Одним из исторических способов (открыт в 1910 году) количественного определения аминокислот является их дезаминирование с помощью азотистой кислоты (реакция 1). В результате реакции выделяется азот, по объему которого и определяется масса исходной аминокислоты.

С другой стороны, зная точную массу аминокислоты, вступившей в реакцию, данный метод можно использовать для определения ее химического состава. Так, в результате эквимольного взаимодействия аминокислоты **X** массой 4,39 г с азотистой кислотой выделяется 840 мл (н. у.) азота.

- 1.5. Установите брутто-формулу вещества **X**, если известно, что единственным продуктом реакции, содержащим азот, является  $N_2$ .

*Решение*

В реакцию вступает аминокислота **X**, содержащая 1 атом азота, и азотистая кислота, также содержащая 1 атом азота, в соотношении 1:1. В результате реакции образуется молекулярный азот  $N_2 \Rightarrow n(X) = n(HNO_2) = n(N_2)$

Количество моль азота  $n(N_2) = V/Vm = 0,84/22,4 = 0,0375$  моль  $\Rightarrow$

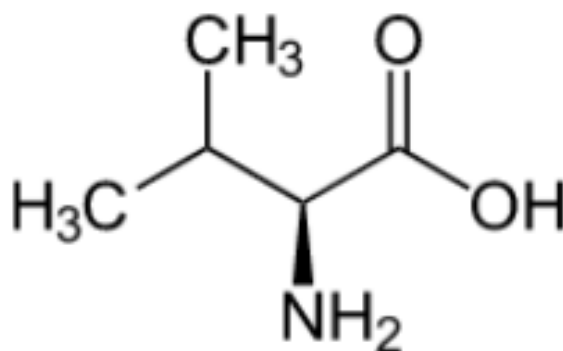
$M(X) = m/n = 4,39/0,0375 = 117$  г/моль.

Вычтем массу функциональных групп, присутствующих в любой аминокислоте, чтобы вычислить массу радикала *R*:

$M(R) = M(X) - M(NH_2CHCOOH) = 43$  г/моль  $\Rightarrow$  подходит только фрагмент  $C_3H_7$ , Следовательно брутто формула аминокислоты **X** –  $C_5H_{11}NO_2$

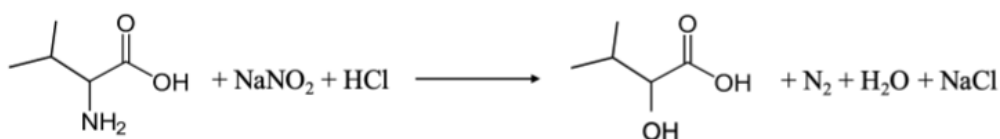
- 1.6. Изобразите структурную формулу аминокислоты **X**, если известно, что она является одной из 20 протеиногенных аминокислот.

*Решение*



- 1.7. Напишите уравнение реакции дезаминирования аминокислоты **X**, в которой в качестве реагентов для *in situ* синтеза азотной кислоты используется соляная кислота и нитрит натрия (реакция 1).

*Решение*



## Система оценки

№	Критерий	Балл
1	Расчет количества молекул — 2 б.	2
2	Структурные формулы — по 1 б. за каждую	2
3	Расчет рKa1 — 1 б., расчет рKa2 — 1 б., расчет изоэлектрической точки — 1 б.	3
4	Верный ответ — 1 б., обоснование — 1 б.	2
5	Брутто-формула аминокислоты — 2 б.	2
6	Структурная формула X — 1 б.	1
7	Уравнение реакции — 2 б.	2
Итого		15

## Задача III.1.2.2. Неорганические компоненты (15 баллов)

Полимеразную цепную реакцию (ПЦР), как правило, проводят в водном растворе, который, помимо основных компонентов реакции, содержит и неорганические вещества. Соединения **A** и **B**, которые часто используют при приготовлении реакционной смеси для ПЦР, являются неорганическими солями. Именно соединения **A** и **B** в эквимольном соотношении и кристаллизационная вода формируют структуру природного минерала **K**.

- 2.1. Установите формулы неорганических соединений **A** и **B**, если известно, что в их состав входит одинаковый галогенид-ион с массовой долей 74,7% и 47,65% соответственно, а отношение молярных масс  $A/B = 1,275$ .

## Решение

Составим общую формулу для вычисления молярной массы металлов, входящих в состав **A** и **B**:

$M(Me) = (\frac{1}{w(Hal)} - 1) \cdot n \cdot M(Hal)$ , где  $M(Hal)$  — молярная масса галогена,  $n$  — число атомов галогена,  $w(Hal)$  — массовая доля атомов галогена в соединении. Составим таблицу и вычислим значение массы металла, входящего в **B**, при  $n = 1$  и различных  $Hal$ :

	n	Hal = F	Hal = Cl	Hal = Br	Hal = I
M(Me)B	1	20,8	39	87,9	139,5

По результатам расчетов, единственное подходящее решение —  $KCl$  (соединение **B**).

Вычислим молярную массу вещества **A**:

$M(A) = 1,275 \cdot M(B) = 94,98 \sim 95$  г/моль. Поскольку известно, что в состав **A** входит такой же галогенид-ион, как и в состав **B**:

$(Me) = 95 - n \cdot 35,5 \Rightarrow M(Me) = 24$  при  $n = 2$ , следовательно металл —  $Mg$ , соединение —  $MgCl_2$ .

Проверим по массовой доле  $w(Cl) = 71/95 = 0,747$ , что соответствует условию задачи.

- 2.2. Установите формулу минерала **K**, если известно, что в его состав входят соли **A** и **B**, а массовая доля галогенид-ионов в нем составляет 38,37%.

**Решение**

Исходя из условия, в состав К входят соединения А, В в эквимольном соотношении и кристаллизационная вода. Следовательно, общая формула минерала:  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot nH_2O$ . Таким образом, в состав К входит 3 атома хлора  $\Rightarrow$

$$M(K) = 35,5 \cdot 3 / 0,3837 = 277,5 \Rightarrow$$

$$m(H_2O) = 277,5 - m(KCl) - m(MgCl_2) = 108 \Rightarrow n(H_2O) = 6.$$

Формула минерала К :  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

В ходе финала профиля «Геномное редактирование» ОНТИ команда «E.coli на воле!» израсходовала весь выданный им раствор для проведения ПЦР. По стечению обстоятельств, в лаборатории остались все компоненты раствора для ПЦР, кроме одной из солей, описанной в задаче. В соседней лаборатории неорганической химии нашлось химически чистое вещество (вещество **К**), обладающее таким же составом, что минерал **К**. Организаторы профиля сообщили участникам, что необходимый раствор приготовить возможно.

*Состав раствора для проведения ПЦР*

Трис (мМ)	А (мМ)	В (мМ)	Tween (%)
100	10	500	0,5

2.3. Какая соль закончилась в лаборатории?

**Решение**

В лаборатории закончилось соединение А.

2.4. Рассчитайте массы навесок вещества **К** и второго неорганического соединения, которые необходимы для приготовления 100 мл раствора для проведения ПЦР.

**Решение**

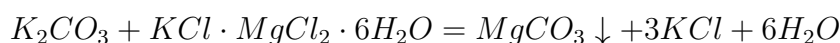
Единственный источник  $MgCl_2$ , имеющийся в лаборатории —  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ . В составе соединения имеется также  $KCl$ .

$n(MgCl_2) = C \cdot V = 0,01 \cdot 0,1 = 0,001$   $m(KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O) = n(MgCl_2) \cdot M(KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O) = 0,001 \cdot 277,5 = 0,2775$  Количество моль  $KCl$ , которое нужно добавить дополнительно =  $0,05 - - - 0,001 = 0,049$  моль  
 $m(KCl) = n \cdot M(KCl) = 3,65$ .

2.5. Предложите способ получения вещества **А** из вещества **К**. Напишите уравнения всех протекающих реакций и опишите технические стадии процесса, которые не сопровождаются химическими реакциями.

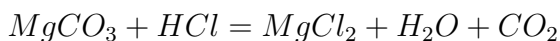
**Решение**

Для начала обработать вещество К раствором  $K_2CO_3$ :



Отфильтровать осадок  $MgCO_3$ .

К осадку добавить соляной кислоты до прекращения выделения газа:



Образовавшийся раствор упарить. Полученное в результате упаривания твердое вещество —  $MgCl_2$ .

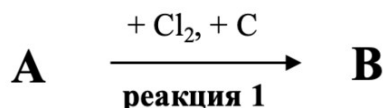
### Система оценки

№	Критерий	Балл
1	Расчет формул солей — по 2 б. за каждую	4
2	Формула минерала К — 2 б.	2
3	Соль А — 1 б.	1
4	Расчет масс неорганических веществ — по 2 б.	4
5	Способ получения вещества А: по 1 б. за уравнения реакций (максимум -2 б.), описание стадий процесса — 1 б., получение чистого вещества — 1 б.	4
Итого		15

### Задача III.1.2.3. Лабораторный пластик (25 баллов)

Компания «Эпендорф» — лидер рынка лабораторного пластика — использует для производства своей продукции такие полимеры как полиэтилен и полипропилен. В 1963 году Карл Ц. и Джулио Н. получили Нобелевскую премию по химии за открытие новых катализаторов полимеризации алкенов. Катализаторы Ц-Н позволили получать полимеры с высоким выходом и селективностью.

Один из компонентов катализатора Ц-Н можно получить из его оксида по следующей схеме:



- 3.1. Напишите уравнение **реакции 1** и установите формулы соединений **А** и **В**, если известно, что массовая доля кислорода в **А** составляет 40,0%. Дополнительно известно, что вещество **В** является жидким и содержит 25,2% металла по массе. Ответ подтвердите расчетом.

#### Решение

Вычислим массу металла, входящего в состав оксида А, по формуле:

$M(Me) = (1w(O) - 1) \cdot n \cdot M(O)$ , где  $M(O)$  — молярная масса кислорода,  $n$  — число атомов кислорода.

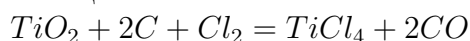
$n = 1, M(Me) = 24 \Rightarrow Mg$ , однако  $MgCl_2$  не является жидким;

$n = 3/2, M(Me) = 36 \Rightarrow$  нет подходящего металла;

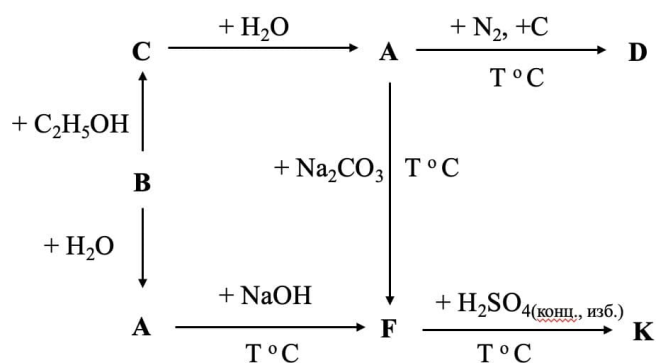
$n = 2, M(Me) = 48 \Rightarrow$  подходит  $Ti$ .

Тогда  $A - TiO_2, B - TiCl_4$

Реакция 1:



Ниже приведена схема превращения вещества **B**:



3.2. Установите формулы веществ **C**, **F**, **K** и напишите уравнения всех представленных на схеме реакций (**реакции 2-8**).

### Решение

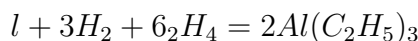
Вещество  $C - \text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ ,  $F - \text{Na}_2\text{TiO}_3$ ,  $K - \text{Ti}(\text{SO}_4)_2$

1.  $\text{TiCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{TiO}_2 + 4\text{HCl}$ ;
2.  $\text{TiCl}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 + 4\text{HCl}$ ;
3.  $\text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{TiO}_2 + 4\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ;
4.  $4\text{TiO}_2 + 4\text{N}_2 + \text{C} = 4\text{TiN} + \text{CO}$ ;
5.  $\text{TiO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{TiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;
6.  $\text{TiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{TiO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ;
7.  $\text{Na}_2\text{TiO}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Ti}(\text{SO}_4)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ .

Второй компонент катализатора Ц-Н (вещество **C**) образуется в результате реакции алюминия, водорода и этилена (**реакция 9**).

3.3. Установите брутто-формулу вещества **C** и напишите уравнение **реакции 9**, если известно, что в реакции 9 получается только один продукт, степень окисления алюминия в котором составляет +3.

### Решение



Сотрудник компании «Эппендорф» Джаред заступил на смену 31 декабря 2020 года и решил своеобразно отметить начало Нового 2021 года — синтезировать два полимера длиной в  $20^{21}$  молекул мономеров каждый.

3.4. Рассчитайте массы мономеров (этилена и пропилена), которые Джаред потратил для синтеза молекул полиэтилена и полипропилена длиной в  $20^{21}$  мономеров. При оценке считайте, что в процессе из мономеров формируется только одна цепь полимера.

### Решение

Рассчитаем количество моль этилена и пропилена, которые потребуются сотруднику компании Эппендорф:



$$n_{(\text{мономеров})} = N/NA = 2021/6,02 \cdot 10^{23} = 2,09 \cdot 10^{27} = 3483,6 \text{ моль}$$

$$m_{(\text{этилена})} = 3483,6 \cdot 28 = n \cdot M_{(\text{этилена})} = 97541 \text{ г} = 97,5 \text{ кг}$$

$$m_{(\text{пропилена})} = 3483,6 \cdot 42 = n \cdot M_{(\text{пропилена})} = 146312 = 146,3 \text{ кг}$$

После новогодних праздников начальник Джареда обнаружил, что за смену 31 декабря мономеров было потрачено больше, чем было запланировано. Джаред признался начальнику в том, что потратил часть мономеров для того, чтобы отметить Новый год. Однако, начальник не оценил специфические развлечения Джареда и попросил его компенсировать затраты мономеров.

- 3.5. Вычислите, сколько дней Джареду придется работать бесплатно, чтобы компенсировать затраты компании. Стоимость одного месяца работы (в месяце в среднем — 22 рабочих дня) Джареда составляет 5000 евро, стоимость этилена — 800 евро за тонну, а стоимость пропилен — 1000 евро за тонну.

### *Решение*

Зарплата Джареда за 1 день  $5000/22 = 227,2$  евро.

Джаред потратил 0,0975 тонн этилена и 0,146 тонн пропилен, следовательно: Затраты =  $0,0975 \cdot 800 + 0,146 \cdot 1000 = 78 + 146 = 224$  евро  $\Rightarrow$  Джаред будет работать бесплатно 1 день.

- 3.6. Напишите фамилии ученых, получивших Нобелевскую премию за описанные в задаче катализаторы.

### *Решение*

Карл Циглер и Джулио Натта получили Нобелевскую за открытие одноименных катализаторов полимеризации.

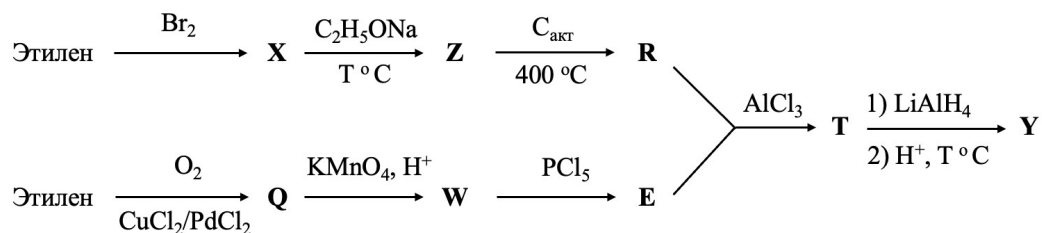
### *Система оценки*

№	Критерий	Балл
1	Формулы веществ А и В — по 1 б. за каждую, уравнение реакции — 2 балла	4
2	Уравнения реакций — по 1 б. за каждое, вещества — по 1 б. за каждое	10
3	Формула вещества С — 2 б., уравнение реакции — 1 балл.	3
4	Масса этилена и пропилен — по 2,5 б. за каждую	5
5	Расчет количества дней бесплатной работы Джареда — 2 б.	2
6	Фамилии ученых — по 0,5 б. за каждую	1
Итого		25

### *Задача III.1.2.4. Новые эксперименты (25 баллов)*

Вычет из зарплаты оказал на Джареда влияние, однако не сломал в нем дух экспериментатора. Джаред решил относиться к вычетам из зарплаты за эксперименты как к затратам на подарки самому себе.


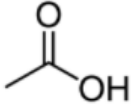
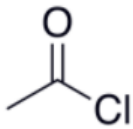
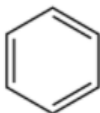
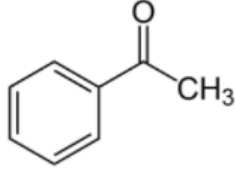
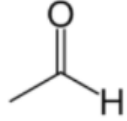
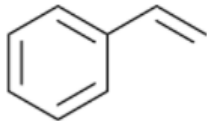
В преддверии католического праздника Пасхи (4 апреля 2021 года) Джаред решил получить из этилена мономер (вещество **Y**) полимера PS по следующей схеме:



4.1. Изобразите структурные формулы веществ **X**, **Z**, **Q**, **W**, **E**, **R**, **T** и **Y**.

*Решение*

Структурные формулы указанных веществ изображены в Таблице:

<b>X</b>		<b>W</b>	
<b>Z</b>	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	<b>E</b>	
<b>R</b>		<b>T</b>	
<b>Q</b>		<b>Y</b>	

4.2. Мономер какого полимера синтезировал Джаред? Напишите названия мономера **Y** и полимера PS.

*Решение*

Вещество **Y** — стирол, полимер — полистирол.

4.3. Рассчитайте массу вещества **Y**, которую получил Джаред, если в каждой из двух первых реакций использовалось по 19,6 литра этилена (н. у.), а средний выход целевого вещества на каждой стадии составил 70%.

*Решение*

Количество моль этилена составит:

$$n(C_2H_4) = 19,6/22,4 = 0,875$$

Количество стадий в цепочках превращений «Этилен  $\Rightarrow R$ » и «Этилен  $\Rightarrow E$ ». одинаковое. Единственная стадия, на которой на одну молекулу продукта расходуется несколько молекул реагента — это превращение  $Z$  в  $R$ , поэтому для оценки выхода реакции необходимо выбрать цепочку превращений «Этилен  $\Rightarrow R$ ». Составим уравнение для количества вещества  $Y$ :

$n(Y) = (n(C_2H_4) \cdot (0,7)^t)/h$ , где  $t$  — число стадий,  $h$  — число молекул  $Z$ , которое требуется для образования одной молекулы  $R \Rightarrow n(Y) = 0,875 \cdot (0,7)^5/3 = 0,049$  моль

Тогда  $m(Y) = 0,049 \cdot 104 = 5,1$ .

- 4.4. Рассчитайте стоимость (в евро) одного грамма мономера  $Y$  для Джаред (стоимость этилена составляет 800 евро за тонну). Для оценки рассчитайте стоимость потраченного этилена и учтите, что за остальные реактивы Джаред был оштрафован на 300 евро.

### Решение

Суммарная масса потраченного этилена составит:

$$m(C_2H_4) = 0,875 \cdot 2 \cdot 28 = 49 \text{ грамм}$$

Стоимость:

$$c(C_2H_4) = 49 \cdot 800/1000000 = 0,0392 \Rightarrow \text{стоимость 1 грамма стирола для Джаред составит } \sim 300/5,1 = 58,8 \text{ евро}$$

- 4.5. Рассчитайте, сможет ли Джаред составить конкуренцию компании «Мерк», если будет продавать синтезированный им стирол. Стоимость 5 мл стирола в «Мерк» составляет 300 евро, а плотность стирола 0,909 г/мл.

### Решение

$m(Y) = 5 \cdot 0,909 = 4,5 \text{ г} \Rightarrow c(1 \text{ г } Y) = 300/4,5 = 66,6 \text{ г} \Rightarrow$  теоретически, Джаред сможет продавать 1 г стирола дешевле, чем компания Мерк.

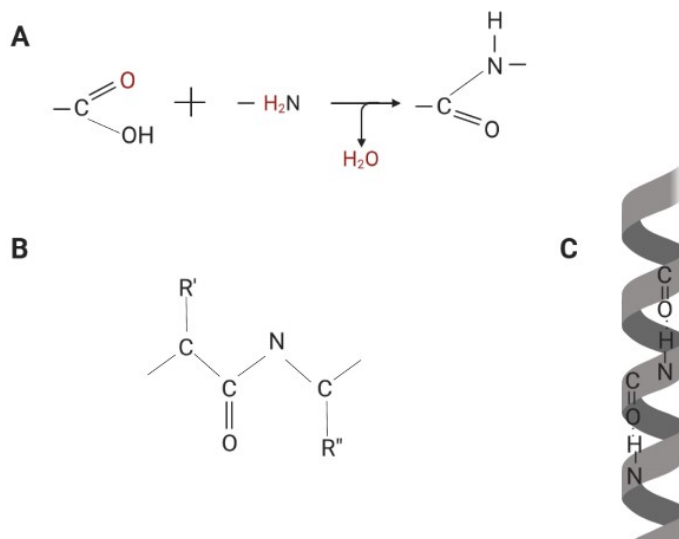
### Система оценки

№	Критерий	Балл
1	Структурные формулы веществ X, Z, Q, W, E, R, T и Y — по 2 б. за каждую	16
2	Названия Y и PS — по 1 баллу за каждое	2
3	Масса Y — 3 б.	3
4	Стоимость 1 г мономера Y — 2 б.	2
5	Расчет стоимости стирола компании «Мерк» (в пересчете на массу) — 1 б., верный вывод — 1 балл.	2
Итого		25

## Биология. 8-9 класс

### Задача III.1.3.1. Белки (24 баллов)

На рисунке ниже представлены структуры, имеющие отношение к строению белков.



**Вопрос 1.** В некоторых из структур (А, В и С) допущены ошибки. Найдите их, опишите в чем заключается ошибка. Опишите нарисованные структуры, указав их название.

#### Решение

А — это реакция образования пептидной связи. 2 балла. Структура нарисована почти верно, однако от аминогруппы одной аминокислоты отщепляется один атом водорода, а от другой аминокислоты — гидроксильная группа  $-\text{OH}$ . За ответ «верно» — 2 балла, за верно обоснованный ответ «неверно» — 4 балла. Здесь и далее без объяснения сути ошибки — 0 баллов.

В — это пептидная связь. 2 балла. Структура нарисована неверно, не хватает атома водорода у атома азота. 2 балла.

С — это альфа-спираль белка. 2 балла. Структура нарисована верно. 2 балла.

**Вопрос 2.** Сколько существует биогенных аминокислот? Сколько разных молекул белков можно составить из трех аминокислот, случайно взятых из всех встречающихся в природе аминокислот?

#### Решение

Известно 20 биогенных аминокислот. 2 балла, ответ 22 или 23 также считать верным.  $20^3 = 8000$  — столько разных молекул можно составить из 3 случайно взятых аминокислот. 2 балла.

**Вопрос 3.** Представьте, что у вас есть колба со смесью из белков всех возможных последовательностей. Каждая молекула имеет молекулярную массу 4800 Да. Считая, что каждый аминокислотный остаток имеет среднюю молекулярную массу в 120 Да, какую массу должна иметь эта колба? (1 Да = 1 а.е.м., число Авогадро равно  $6 \times 10^{23}$ ).

### Решение

Белок состоит из  $4800/120 = 40$  аминокислотных остатков, значит существует  $2040 = 1,1 \cdot 10^{52}$  способов составить такой белок. 2 балла. Каждая молекула такого белка будет иметь массу  $4800/(6 \cdot 10^{23}) = 8 \cdot 10^{-21}$  г. 2 балла. Значит, такая колба будет иметь массу  $8 \cdot 10^{-21} \cdot 1,1 \cdot 10^{52} = 8,8 \cdot 10^{31}$  г. 2 балла. Наличие конечного ответа не обязательно, достаточно численного выражения.

### Задача III.1.3.2. Клеточный цикл (44 баллов)

Жизнь клеток циклична и состоит из интерфазы, которая делится на несколько фаз, и клеточного деления. Время от одного деления до другого называют клеточным циклом. Сразу после деления клетка вступает в G1-период, потом в S-период, затем в G2-период. В G1-периоде клетка наращивает свои объемы до размеров материнской клетки. В S-периоде происходит репликация, а G2-период является подготовительным к митозу, в частности в этом периоде происходит синтез белков микротрубочек.

**Вопрос 1.** Ниже приведен ряд суждений, выберите неверные и исправьте их.

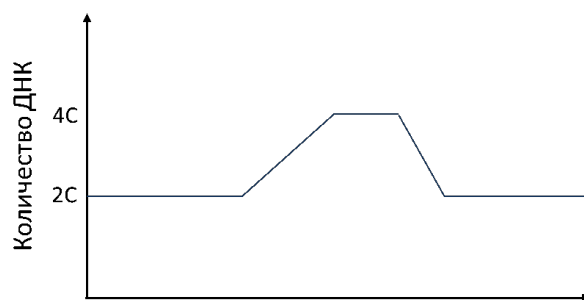
1. Сестринские хроматиды после репликации остаются спаренными в области центромеры, пока они не выстроятся на экваторе в ходе метафазы.
2. Полимеризация и деполимеризация микротрубочек необходимы для процесса репликации.
3. Начало образования микротрубочек происходит в районе центромеры, и затем они присоединяются к кинетохорам, являющимися структурой центросомы хромосом.
4. Самая короткая по времени фаза митоза — профаза.
5. Проверка целостности ДНК перед митозом не осуществляется ни в одной из фаз.

### Решение

1. Верно
2. Неверно. Микротрубочки не играют никакой роли в репликации.
3. Неверно. Слова «центромера» и «центросома» должны быть поменяны местами.
4. Неверно. Самая короткая фаза митоза — анафаза.
5. Неверно. Проверка целостности ДНК после репликации осуществляется после S-периода (чекпойнт).

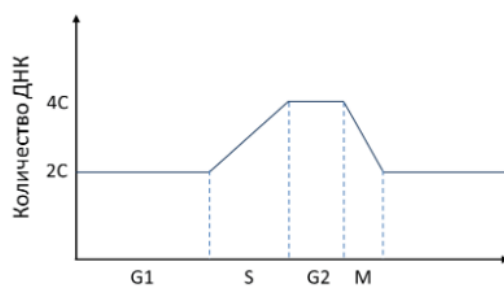
По 2 балла за каждое суждение. Если отсутствует исправление неверных суждений — 0 баллов.

Ниже представлен график изменения количества ядерной ДНК в клетке.



**Вопрос 2.** Перенесите график в лист для ответов и подпишите названия стадий клеточного цикла на оси X.

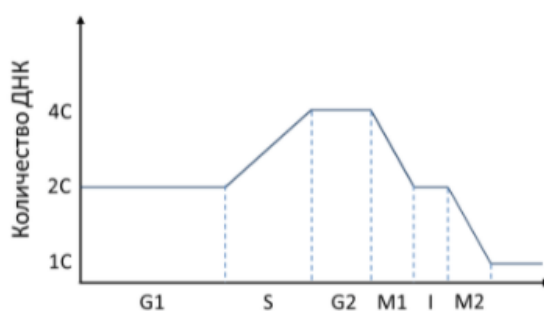
*Решение*



За верную подпись — 4 балла (по 1 баллу за каждую верную фазу).

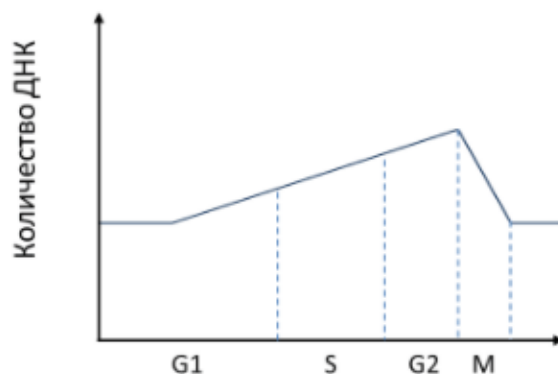
**Вопрос 3.** Постройте такой же график для деления клетки мейозом.

*Решение*



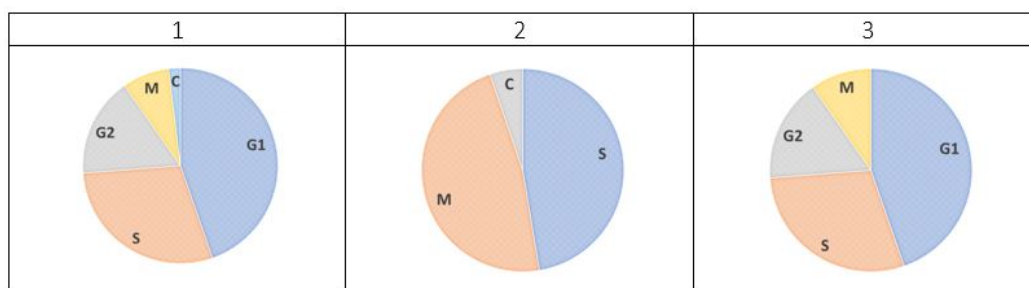
За верный график — 8 баллов.

**Вопрос 4.** Постройте график изменения митохондриальной ДНК в клетке в ходе клеточного цикла.

*Решение*

За верный график — 10 баллов.

**Вопрос 5.** Ниже представлены схематичные изображения жизненных циклов разных клеток (С на рисунке — цитокинез). Соотнесите каждую схему с соответствующей ему клеткой. Объясните свое решение.



- А — бластомер лягушки;
- В — фибробласт человека;
- С — трофическая форма опалины.

*Решение*

1 — В, 2 — А, 3 — С. 1 — обычный клеточный цикл без особенностей (клетка — фибробласт с нормальным ходом клеточного цикла). 2 — клеточный цикл без G1- и G2-фаз, что говорит о том, что дочерние клетки не дорастают до размеров материнских, что происходит при дроблении (клетка — бластомер лягушки). 3 — клеточный цикл без цитокинеза, характерный для многоядерных организмов (например, опалин). По 4 балла за каждое верное сопоставление с объяснением. Без объяснения — 0 баллов.

**Задача III.1.3.3. Трансмембранный транспорт (32 баллов)**

Известно, что в плазматической мембране находится много разных белков-переносчиков, функция которых состоит в транспорте веществ наружу и внутрь клетки.

**Вопрос 1.** Как называется свойство плазматической мембраны, заключающееся в том, что не все вещества могут свободно проникать через нее? Чем это свойство обусловлено? Какие вещества легче проникают сквозь мембрану пассивно?

### Решение

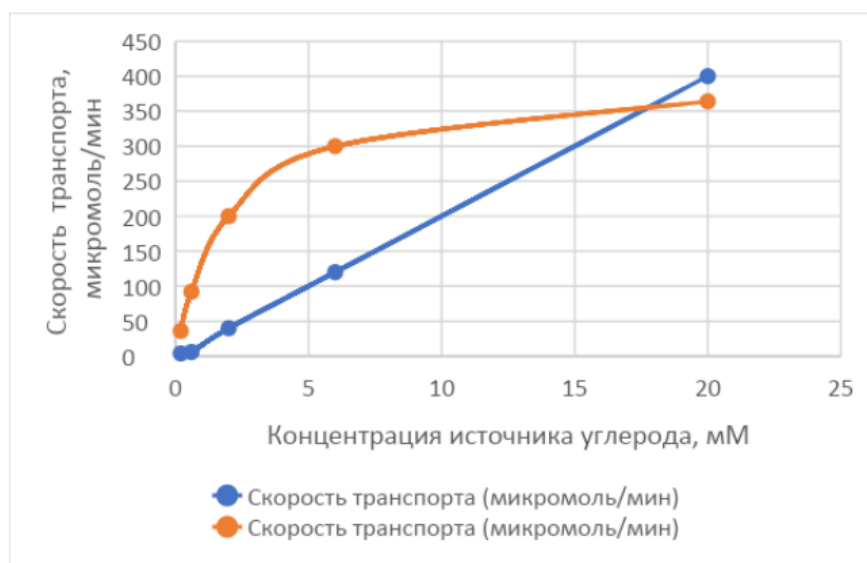
Полупроницаемость мембраны. 2 балла. Билипидный слой ограничивает свободную диффузию ряда молекул, в частности крупных или гидрофильных. 4 балла. Легче проникают через мембрану не крупные неполярные молекулы. 4 балла.

Существуют бактерии, которые способны расти на среде, содержащей только этанол ( $C_2H_5OH$ ) или ацетаты ( $CH_3COO^-$ ) как единственный источник углерода. Исследователь измерял способность проникать через мембрану этих веществ, однако по невнимательности не оформил данные как следует. Ниже представлены полученные им данные.

Концентрация источника углерода (мМ)	Скорость транспорта (микромоль/мин)	
	Вещество А	Вещество Б
0,2	4	36
0,6	6	92
2	40	200
6	120	300
20	400	364

**Вопрос 2.** Постройте графики, отражающие полученные данные (изобразите оба графика в одной системе координат). Не забудьте подписать оси!

### Решение



Верное построение графика — 10 баллов. Не подписаны оси -1балл.

**Вопрос 3.** Используя графики, предположите, какое вещество является этанолом, а какое ацетатом? Объясните свое решение.



*Решение*

Вещество А является этанолом, поскольку молекула является некрупной, относительно неполярной и может диффундировать через мембрану. На графике видно, что вещество А попадает в клетку со скоростью, пропорциональной концентрации. Наоборот, вещество Б лучше проникает через мембрану при высоких концентрациях, что может говорить о том, что оно переносится через мембрану какими-то мембранными белками, и скорость транспорта не может быть выше, чем позволяет «пропускная способность» каналов, вне зависимости от концентрации вещества. Вещество Б является ацетатом, поскольку это заряженная молекула и не сможет диффундировать через мембрану без помощи каналов. 12 баллов, по 6 за верные рассуждения о веществах А и Б соответственно. Без объяснения — 0 баллов.

**Биология. 10-11 класс***Задача III.1.4.1. Флуоресценция и клетки (38 баллов)*

Существуют реагенты, которые могут быть использованы для флуоресцентной маркировки клеточных компонентов. При облучении лазером, эти маркеры излучают свет известной длины волны, который может быть зафиксирован специальными приборами. Различные флуорохромы излучают свет на разных длинах волн, поэтому клетки можно окрашивать целым набором разных флуорохромов и снимать сигнал от каждого из них одновременно. Ниже приведены примеры флуорофорохромов:

- DAPI — связывается с ДНК, длина волны излучения — 460 нм.
- Фаллоидин-FITC — связывается с актиновыми микрофиламентами, длина волны излучения — 520 нм.
- Митотрекер красный — окрашивает митохондрии, длина волны излучения — 600 нм.

Флуоресцентную метку используют, например, при флуоресцентной микроскопии. Для этого изготавливают тонкие срезы тканей, помещают их на предметное стекло и инкубируют с флуоресцентными красителями. За время инкубации они связывают соответствующие клеточные компоненты, потом излишки красителя смывают и подготовленный препарат изучают с помощью флуоресцентного микроскопа.

Представим, что Вы изучаете срез печени млекопитающего, окрашенного всеми тремя перечисленными выше флуорохромами. Рассматривая полученный препарат с помощью флуоресцентного микроскопа Вы обнаружили крупную клеточную структуру, флуоресцирующую на длине волны 460 нм, а излучение на 600 и 520 нм наблюдалось по всей остальной части цитоплазмы.

**Вопрос 1.** Как называется обнаруженная клеточная структура, флуоресцирующая на длине волны 460 нм? Поясните свои рассуждения.

*Решение*

Ядро. 2 балла. Так как DAPI окрашивает ДНК, а большая ее часть находится в ядре. 2 балла.

**Вопрос 2.** Как называется структура клетки, окрашиваемая фаллоидин-FITC?

*Решение*

Цитоскелет, 2 балла.

**Вопрос 3.** Mitotracker red (®) окрашивает митохондрии, однако при помощи своего микроскопа Вы увидели лишь области с красным свечением. Почему не удалось визуализировать отдельные митохондрии?

*Решение*

Митохондрии слишком малы, чтобы можно было в световом микроскопе рассмотреть их отдельно. 2 балла.

**Вопрос 4.** Внутри среза печени Вы обнаружили достаточно крупную полость круглой формы, внутри которой Вы увидели большое количество небольших клеток, которые окрасились фаллоидином-FITC, но не DAPI или Митотрекером красным.

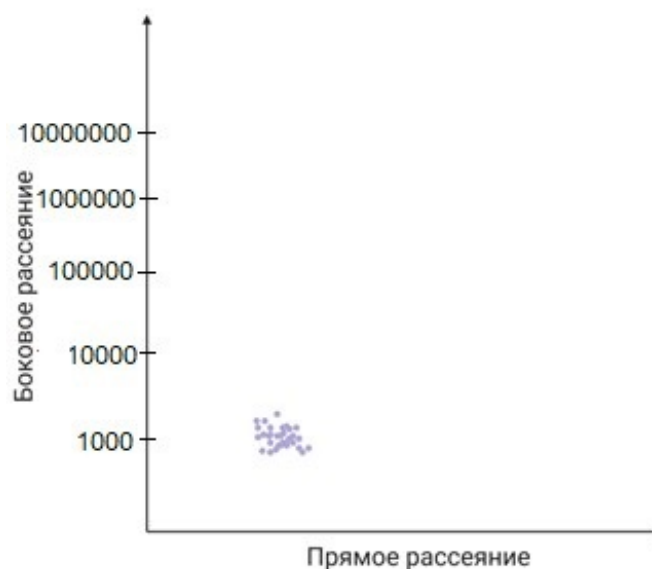
- 4.1. Что это за полость?
- 4.2. Как называются обнаруженные внутри нее клетки?
- 4.3. Перечислите функции этих клеток.
- 4.4. Почему в них отсутствуют митохондрии?

*Решение*

1. Полость — кровеносный сосуд 4 балла.
2. Клетки — эритроциты. 2 балла.
3. функция — перенос газов в крови 2 балла.
4. Митохондрии отсутствуют в эритроцитах чтобы предотвратить потерю кислорода, переносимого ими. 2 балла

Существует другой метод, в котором используют флуорохромы — проточная цитофлуориметрия (FACS). Этот метод используют для изучения свойств отдельных клеток в суспензии. Суть метода заключается в том, что суспензия клеток в потоке по одной облучается лазером. В приборе имеется несколько детекторов, один из которых находится напротив лазера, а другой сбоку от него. При облучении первый детектор фиксирует прямое рассеяние света от клетки, а второй боковое рассеяние. Также фиксируется свет, испускаемый флуоресцентным маркером при возбуждении лазером. Прибор записывает полученные значения для каждой клетки. Прямое рассеяние коррелирует с объемом клетки, чем крупнее клетка, тем большее у нее прямое рассеяние. Боковое рассеяние коррелирует со степенью гранулярности клетки, то есть клетки с большим количеством гранул или каких-то структур внутри себя имеют большее боковое рассеяние.

Например, с помощью FACS можно изучить свойства разных клеток крови. На рисунке ниже представлена точечная диаграмма, отражающая прямое и боковое рассеяние света от лимфоцитов. Каждая точка — это отдельная клетка, ее положение по каждой оси демонстрирует значения бокового и прямого рассеяния. Группа клеток, которые имеют близкие свойства для указанных параметров, называют популяцией.



**Вопрос 5.** Используя свои знания о клетках крови, укажите расположение популяций нейтрофилов и эритроцитов на этом рисунке. Перенесите график в лист для ответов.

Объясните свое решение.

### *Решение*

График должен выглядеть примерно так, размеры и форма популяций, естественно, изображены примерно. Главное, чтобы нейтрофилы были выше и правее лимфоцитов, а эритроциты — ниже и левее. По 2 балла за правильное отображение популяций. Нейтрофилы выше и правее, поскольку они крупнее лимфоцитов и содержат больше гранул, а в случае с эритроцитами ситуация обратная — они мельче и почти не содержат внутри себя гранул. За объяснение также по 2 балла за каждую популяцию. График без комментариев — 0 баллов.

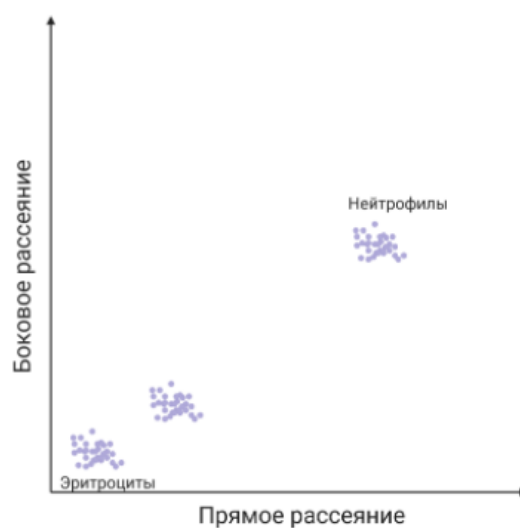
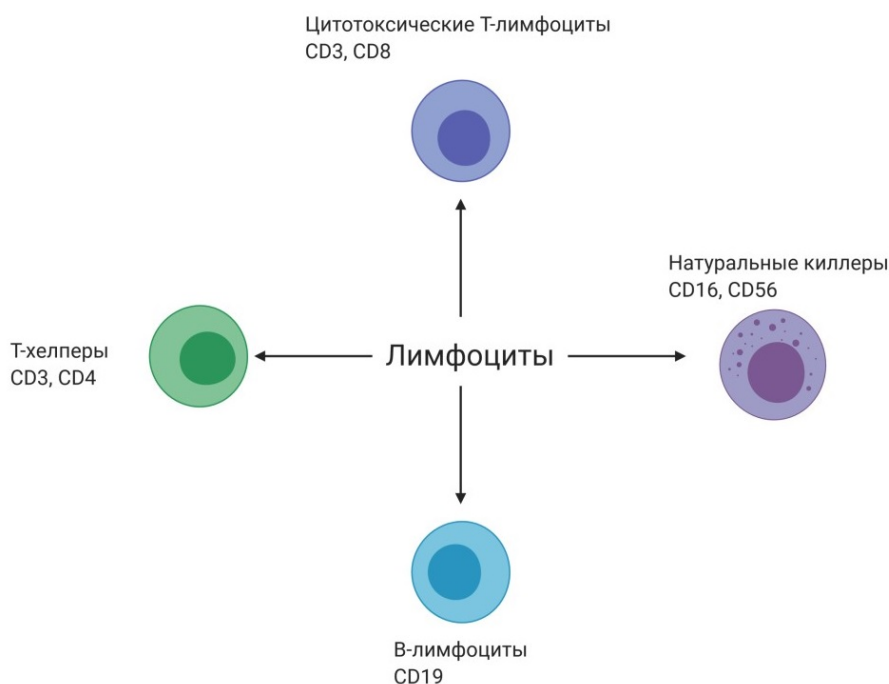
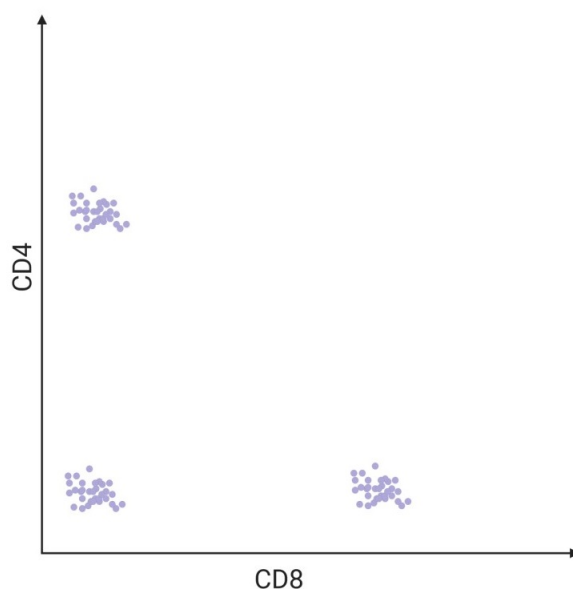


Схема ниже иллюстрирует некоторые типы лимфоцитов с указанием мембранных белков (CD3, CD8 и др.), которые используют, чтобы их идентифицировать.



**Вопрос 6.** Лимфоциты выделили из крови и окрасили флуоресцентными маркерами на CD8 и CD4. Затем клетки проанализировали с помощью FACS и построили график, на котором изображены различные популяции лимфоцитов, проанализированные в отношении флуоресценции по CD8 и CD4. Популяция в нижнем левом углу отрицательна по окрашиванию по обоим указанным маркерам. Перенесите график в лист для ответов и отметьте на нем, в каких популяциях Вы ожидаете найти указанные на схеме выше подтипы лимфоцитов. Поясните свое решение.



### Решение

Цитотоксические Т-лимфоциты — внизу справа (4 балла), Т-хелперы вверху слева (4 балла), НК и В-клетки внизу слева (по 2 балла). Должно быть сформулировано

объяснение на основе наличия или отсутствия на поверхности клеток CD4 и CD8. Если нет объяснения — 0 баллов.

### Задача III.1.4.2. Пикси (28 баллов)

Вы оказались в параллельной вселенной, где вместе с людьми живет еще одна разумная раса — пикси. Пикси — человекоподобные существа, обладающие крыльями, которые у них окрашены в разные оттенки синего. **Нормальным цветом** крыльев пикси является обычный синий цвет. Однако существуют мутации, приводящие к изменению цвета крыльев на самые разные оттенки синего. Вы, пытаясь понять закономерности наследования мутаций, долго наблюдали за семьями пикси и собрали данные о детях, рождающихся у пикси с необычным цветом крыльев. Все наблюдения отражены в таблице ниже. Знак \* означает, что потомство у таких пар имело обычный цвет крыльев (т. е. синий), а знак ? означает, что потомство имело цвет крыльев отличный от синего. Все перечисленные мутации являются рецессивными. Считайте, что все описанные в таблице пары гомозиготны.

Мутация	белый	голубой	ультрамарин	сапфировый	джинсовый	морская волна	лазурный	индиго	сизый
белый	?	*	*	*	?	?	?	?	*
голубой		?	*	*	*	*	*	*	*
ультрамарин			?	*	*	*	*	*	*
сапфировый				?	*	*	*	*	*
джинсовый					?	?	?	?	*
морская волна						?	?	?	*
лазурный							?	?	*
индиго								?	*
сизый									?

**Вопрос 1.** Как в генетике называют наиболее часто встречающийся фенотип (в данном случае — синий цвет крыльев пикси)?

*Решение*

Дикий тип. 2 балла

**Вопрос 2.** Объясните, почему у пары пикси, в которой оба родителя имеют мутантный цвет крыльев (например, белый у одного родителя и ультрамариновый — у другого) может появиться потомство с обычным цветом крыльев?

Поясните свое предположение, приведите схему скрещивания.

*Решение*

Можно предположить, что за окраску крыльев ответственны два гена, оба продукта которых вместе дают синюю окраску. Оба родителя могут быть гомозиготным

по мутациям разных генов, ответственных за окраску крыльев. При этом по второму гену они могут быть доминантными гомозиготами.

P:	aaBB	x	AAbb	A_B_ — синий
	белый		ультрамарин	A_bb — ультрама-
				рин
F1:	AaBb			aaBB — белый
	Синий			

Верное объяснение — 6 баллов, схема скрещивания — 4 балла. Указание гамет не обязательно. Ошибки в использовании генетической символики при построении схемы: — 1 балл.

**Вопрос 3.** Какие из этих мутаций привели к образованию аллелей одного и того же гена, и какие мутации затронули разные гены? Какой из этих генов при отсутствии в нем мутаций обеспечивает развитие окраски обычного синего цвета? Сколько генов обеспечивает вышеперечисленные виды окраски?

Подробно объясните свое решение.

### *Решение*

Мутации, приводящие к окрашиванию крыльев в белый, джинсовый, цвет морской воды, лазурный и индиго не дополняют друг друга / не комплементируют (при скрещивании таких особей не восстанавливается синий цвет), так что они могут быть аллелями одного и того же гена — А, 4 балла. И наоборот голубой, ультрамаринный, сапфировый и сизый цвета затронули разные гены, так как дополняют друг друга и аллели гена, ответственного за синтез обычного синего пигмента, который в рецессивном состоянии дает белую окраску. Назовем этот ген, как в предыдущем пункте — А. 4 балла. Таким образом, из перечисленных 9 мутантных окрасок определяются пятью разными генами. 4 балла. Иными словами, при скрещивании пикси с белыми/джинсовыми/лазурными/индиго/цвета морской волны крыльями с пикси, имеющим любой другой цвет крыльев, потомство получает аллель синего цвета от второго родителя.

**Вопрос 4.** Предположите, почему разные аллели одного и того же гена могут обеспечивать развитие совершенно разного окрашивания крыльев.

### *Решение*

Различные аллели одного и того же гена часто обеспечивают формирование разных фенотипов. Различное фенотипическое проявление разных мутаций зависит от типа и положения мутации, т. е. насколько сильно изменение последовательности ДНК влияет на изменение закодированного в ней белка (или иного продукта гена). Верное объяснение — 4 балла.

### **Задача III.1.4.3. Адам и Ева (18 баллов)**

Процесс удвоения ДНК — репликация — очень точный процесс: в человеческих зародышевых клетках в среднем всего лишь 1 нуклеотид из 10 миллиардов изменяется после каждого деления клетки. Однако ввиду некоторых причин такое количество

изменений часто не оказывает никакого влияния на жизнеспособность клетки и возникающие мутации являются более или менее нейтральными.

**Вопрос 1.** Назовите как можно больше причин тому, что приобретаемые мутации часто оказываются нейтральными. Предположим, все человечество произошло от двух предков — от библейских Адама и Евы, которые были идентичны генетически и полностью гомозиготны.

*Решение*

Мутации могут оказаться в участках ДНК, не кодирующих никаких белков или иных продуктов (межгенные участки, интроны и т. д.). Кроме того, генетический код помехоустойчив: мутации могут не менять класса аминокислоты или вообще ее не менять, за счет своей вырожденности. По 2 балла за каждое верное утверждение. Не более 6 баллов за этот пункт.

**Вопрос 2.** Если предположить, что все возникающие мутации в зародышевых клетках сохраняются у потомков, сколько поколений клеток должно смениться со времен Адама и Евы, чтобы каждые два случайно взятых современных человека отличались 1 нуклеотидом на каждую 1000 в своих геномах?

*Решение*

В каждой человеческой родословной новые мутации будут появляться со скоростью  $10^{-10}$  изменений на нуклеотид на поколение клеток, а различия между двумя человеческими линиями будут накапливаться вдвое быстрее. Чтобы накопить  $10^{-3}$  различий на каждый нуклеотид потребуется  $10^{-3}/(2 \cdot 10^{-10}) = 5 \cdot 10^6$  поколений клеток. 6 баллов за верный расчет. Наличие конечного ответа не строго обязательно, достаточно математического выражения ответа.

**Вопрос 3.** Предположим, что каждое человеческое поколение соответствует 200 циклам деления зародышевых клеток, и примем длину поколения равной 35 годам. Сколько лет назад должны были бы жить Адам и Ева?

*Решение*

$(1/200) \cdot 10^{-3}/(2 \cdot 10^{-10}) = 25000$  поколений или 875000 лет. 6 балла за верный ответ.