

## Московская олимпиада школьников по генетике, 16.02.2025. Заключительный этап. Теоретический тур. 11 класс

*Дорогие ребята!*

*Поздравляем вас с участием в заключительном теоретическом этапе Московской олимпиады школьников по генетике! Отвечая на вопросы и выполняя задания, не спешите, так как ответы не всегда очевидны и требуют применения не только биологических знаний, но и общей эрудиции, логики и творческого подхода. Успеха Вам в работе!*

**Максимальное количество баллов: 83**

**Время на выполнение работы: 3 часа 55 минут.**

### **Задание 1. Левые улитки (8 баллов)**

Правозакрученность или левозакрученность раковин улиток определяется геном  $D$ , обладающим материнским эффектом. Если у улитки-матери есть аллель  $D$ , все ее дети будут с правозакрученной раковиной. Если улитка – гомозигота  $dd$ , то все ее дети будут с левозакрученной раковиной. В большой и равновесной популяции улиток 9% с левозакрученной раковиной, а 91% с правозакрученной. Ученые взяли и скрестили улиток из этой популяции между собой.

#### **1.1 Какова частота аллеля $D$ в этой популяции (1 балл)?**

**Решение:**

На уровне фенотипа проявляются генотипы предыдущего поколения, но для равновесной популяции, где частоты аллелей остаются постоянными, это не имеет значения. Тогда частота рецессивной аллели  $d$  равна корню из 0,09, то есть 0,3, а частота  $D$  соответственно равна 0,7 (1 балл).

#### **1.2 Какова вероятность того, что у улитки с левозакрученной раковиной все дети будут такими же, как она (2 балла)?**

**Решение:**

Про улитку с левозакрученной раковиной мы можем сказать, что ее мать имела генотип  $dd$ , а у нее самой есть как минимум одна аллель  $d$  (1 балл). Вторая (отцовская) аллель может быть у нее любой. С вероятностью 0,3 эта аллель окажется тоже  $d$ , значит с этой вероятностью левозакрученная улитка окажется гомозиготой  $dd$  и даст левозакрученное потомство (1 балл).

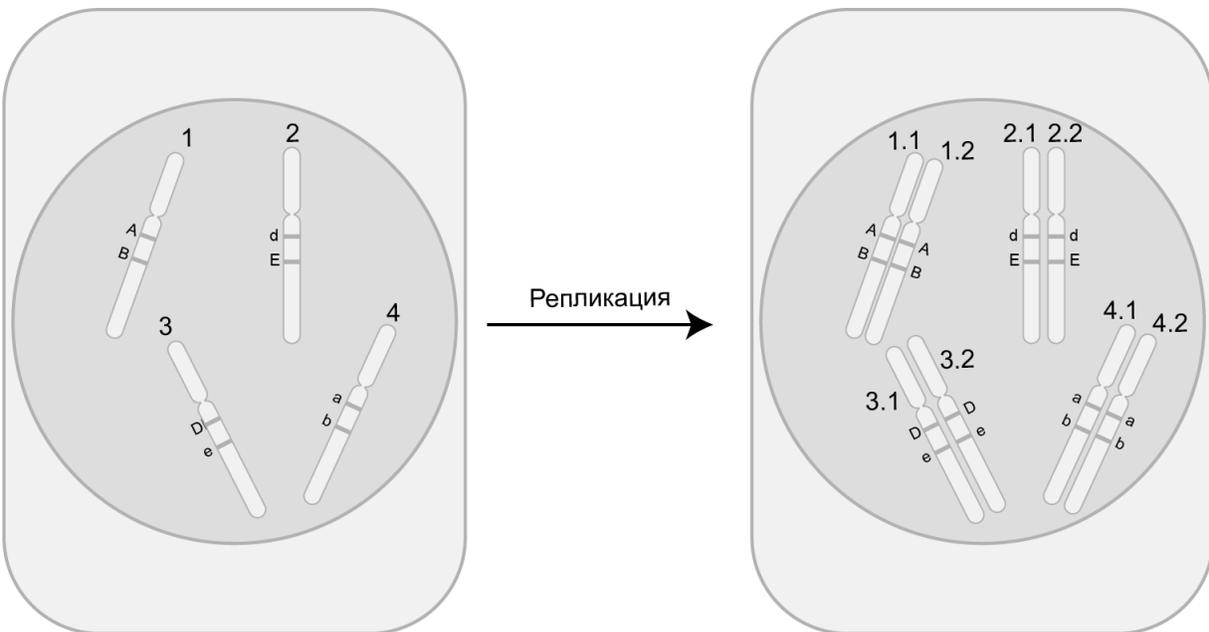
**1.3. Какова вероятность того, что у улитки с правозакрученной раковиной все дети будут такими же, как она (5 баллов)?**

**Решение:**

Ситуация с правозакрученной улиткой сложнее – ее генотип может быть вообще любым. Если ее мать (улитка-бабушка) была гетерозиготой  $Dd$ , а отец (улитка-дедушка)  $dd$  или  $Dd$ , она сама может оказаться гомозиготой  $dd$  и ее дети тогда будут левозакрученными (**1 балл**). Надо найти вероятность этого случая. Частоты генотипов  $DD$  и  $Dd$  в популяции составляют  $0,7^2 = 0,49$  и  $2*0,3*0,7 = 0,42$  соответственно (**1 балл**). Тогда вероятность гетерозиготности улитки-бабушки равна  $0,42/0,91 = 6/13$  (**1 балл**). Вероятность того, что наша правозакрученная улитка окажется гомозиготой  $dd$  равна  $6/13*0,3*0,5 = 9/130$ , где  $0,3$  – вероятность отцовской аллели  $d$ , а  $0,5$  – вероятность унаследовать материнскую аллель  $d$  (**1 балл**). Тогда с вероятностью  $1 - 9/130 = 121/130 = 0,93$  правозакрученная улитка не окажется рецессивной гомозиготой и даст правозакрученное потомство (**1 балл**).

**Задание 2. Что с мейозом? (10 баллов)**

Кроссинговер обеспечивает перемешивание генетического материала и появление новых комбинаций аллелей. У некоторого организма гены  $A$ ,  $B$ ,  $D$  и  $E$  располагаются на хромосомах так как показано на рисунке.



В результате мейотического деления данной клетки были получены гаметы  $AbDe$ ,  $AbDE$ ,  $aBde$  и  $aBdE$ .

**2.1. Укажите комбинацию событий кроссинговер, которая могла привести к образованию таких гамет. В ответе запишите номера хроматид участвующих в кроссинговере разделив их знаком x (например, 1.2x2.1). Разные события кроссинговера разделите знаком + (например, 1.2x2.1 + 1.1x2.2) (2 балла).**

**Решение:**

Должно быть указано 2 кроссинговера для 1 и 4 хромосомы, которые приводят к формированию 4 кроссоверных хроматид (1.1x4.1 + 1.2x4.2 или 1.1x4.2 + 1.2x4.1). (1 балл)

И один кроссинговер между 2 и 3 хромосомами (2.1x3.1 или 2.1x3.2 или 2.2x3.1 или 2.2x3.2). (1 балл)

**2.2. После первого деления мейоза в каждой клетке можно обнаружить 4 хроматиды. Укажите номера этих хроматид и аллели, располагающиеся в них. Считайте, что локусы А и D полностью сцеплены с центромерой (6 баллов).**

	№ хроматиды	Локус 1 (сцепленный с центромерой)	Локус 2
КЛЕТКА 1			
КЛЕТКА 2			

**Решение:**

В каждую клетку должны попасть гомологичные хромосомы целиком, т.е. если есть хроматида 1.1 то должна быть и 1.2 в той же клетке. (1 балл)

В одной клетке должны оказаться хромосомы 1 и 3, в другой 2 и 4 (1 балл). Поскольку А и D полностью сцеплены с центромерой они должны оказаться в тех же клетках, что и их изначальные хромосомы. Следовательно, в 1 локусе для 1.1 и 1.2 - А,

для 2.1 и 2.2 - d, для 3.1 и 3.2 - D, для 4.1 и 4.2 - а. - **0.25 балла за каждую верную ячейку (всего 2 балла)**. Все хроматиды 1 и 4 хромосом должны оказаться кроссоверными - Ab или aB - **0.25 балла за каждую верную ячейку (всего 2 балла)**

**2.3. Какую долю будут составлять указанные гаметы среди всех гамет данного организма, если гены А и В находятся на расстоянии 10 сМ, а D и E - 30 сМ. Ответ дайте в процентах, округлите до сотых (2 балла).**

Гаметы:

AbDe

AbDE

aBde

aBdE

**Решение (2 балла по 0.5 за каждый верный процент):**

AbDe - 1,75%

AbDE - 0,75%

aBde - 0,75%

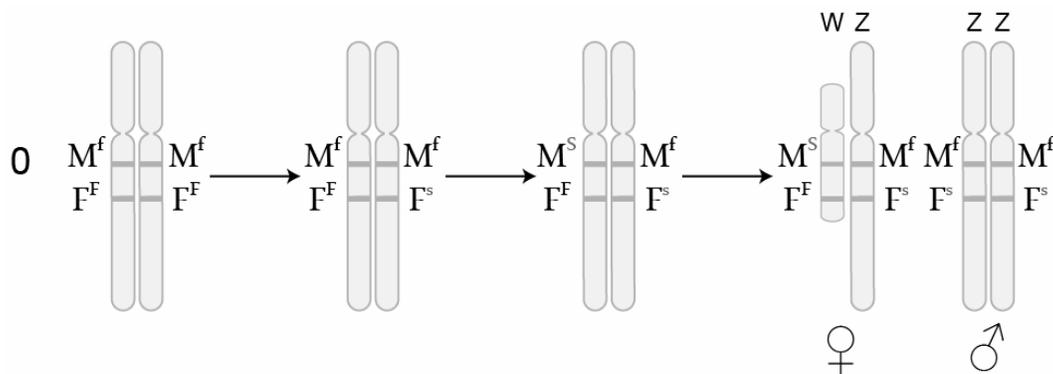
aBdE - 1,75%

### Задание 3. Определение пола у растений (10 баллов)

У некоторых высших растений встречается многодомность – явление, при котором в популяции присутствуют как однополые, так и обоепные цветки. Эволюционно такие системы возникают из гермафродитной и могут являться переходными этапами на пути к двудомности.

ТИП МНОГОДОМНОСТИ	ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ПОЛЫ
Андродиэция	♂ + ♀
Гинодиэция	♀ + ♂
Триоэция (трехдомность)	♂ + ♀ + ♀

Существует модель Чарльзвортса, которая описывает возможные эволюционные пути возникновения разных систем пола: М и F - локусы мужской и женской фертильности. Индексы F/f и S/s - доминантные /рецессивные аллели фертильности и стерильности соответственно.



Эта модель подразумевает последовательное возникновение 2 мутантных аллелей, ответственных за определенный тип стерильности. Впоследствии на аутосомных хромосомах формируется участок, в котором не происходит рекомбинация. Это приводит к формированию устойчивых комбинаций аллелей и формированию половых хромосом.

**3.1. Изучите 4 схемы эволюционных событий согласно модели Чарльзвортса и заполните таблицу с системами пола. Считайте, что на отдельно взятом растении могут быть цветки только одного типа (мужские, женские, обоеполые или бесполое). Заполненную таблицу перенесите в бланк ответов (3 балла).**

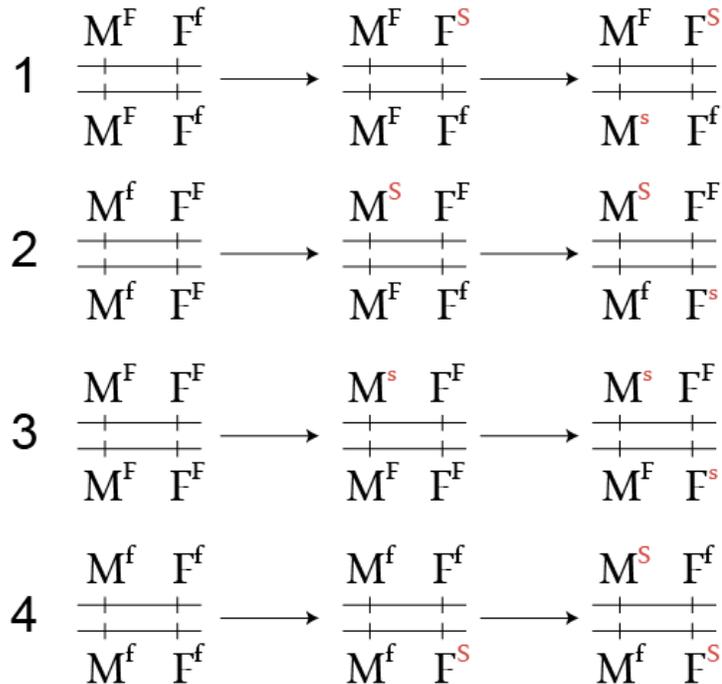


СХЕМА	ПОСЛЕ 1	ПОСЛЕ 2 МУТАЦИИ	ХРОМОСОМЫ <sup>1</sup>
0(пример)	Гинодиэция	Трехдомность	ZW
1			
2			
3			
4			

Хромосомы<sup>1</sup> – какая система пола будет получена после дифференциации половых хромосом – XY / ZW / нет (если на основе данных мутаций нельзя получить систему с двудомностью)

**Решение (6 баллов, по 0.5 балла за каждую верную клетку в таблице):**

СХЕМА	ПОСЛЕ 1	ПОСЛЕ 2 МУТАЦИИ	ХРОМОСОМЫ <sup>1</sup>
0(пример)	Гинодиэция	Трехдомность	XY
1	Андродиэция	Трехдомность	XY
2	Гинодиэция	Трехдомность	ZW
3	Гинодиэция	Трехдомность	НЕТ
4	Андродиэция	Трехдомность	НЕТ

3.2. У *Земляники виргинской* половые хромосомы сформировались относительно недавно по эволюционным меркам, поэтому между локусами M и F все еще возможна рекомбинация при мейозе. Формирование половых хромосом этого растения происходило по механизму описанному в примере (0).

Мужское и женское растение земляники скрестили и получили следующее расщепление в потомстве: 47% бесполох, 47% обоеполых, 3% женских, 3% мужских. Установите генотипы родителей и расстояние между локусами M и F (3 балла).

**Решение:**

**Генотипы родителей (0.5 балл, по 0.25 за верный генотип)**



**Гаметы (1.5 балла, по 0.5 за каждую верную гамету)**

некросоверные



кросоверные



3% женских растений  
в потомстве



3% мужских растений  
в потомстве

**Расстояние между генами 6 сМ (1 балла)**

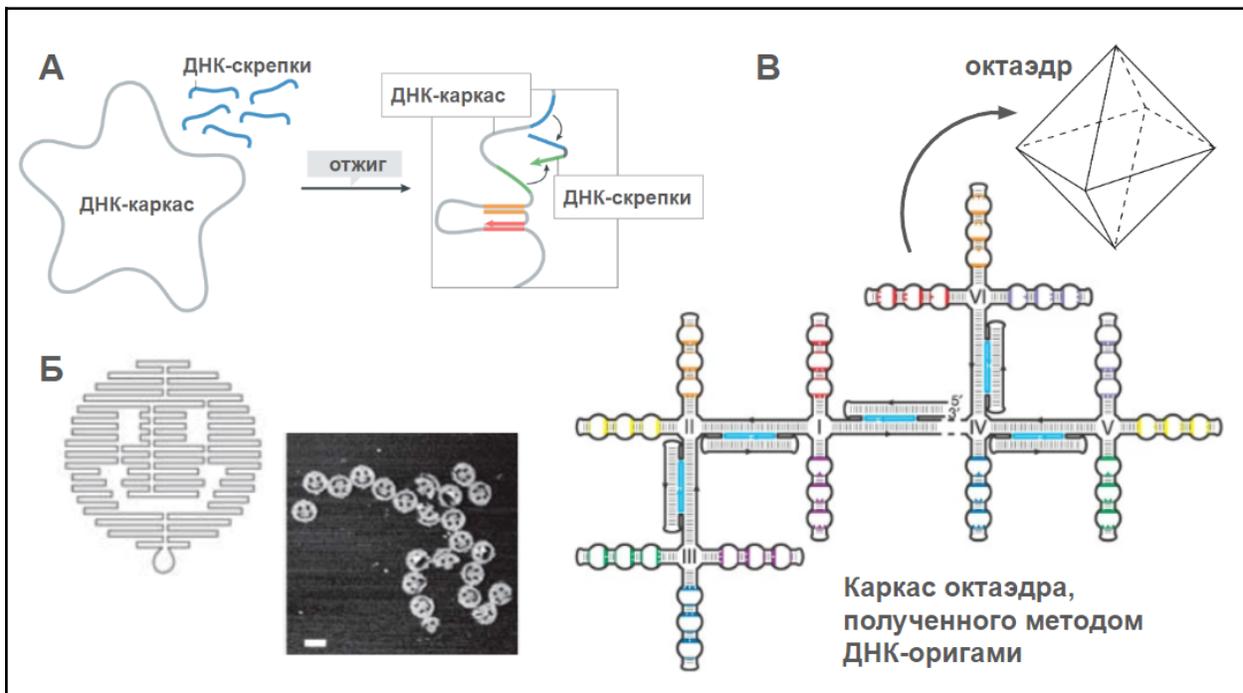
3.3. Какое соотношение полов стоит ожидать, во втором поколении от этого скрещивания? Считайте, что обоеполые особи формируют в 2 раза меньше гамет каждого типа по сравнению с однополыми. В расчетах округляйте до десяти тысячных долей. Ответ дайте в процентах, округлите до сотых (1 балл).

**Решение:**

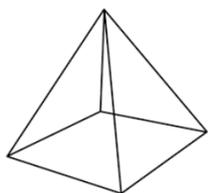
66,7% обоеполых: 5,46% женских : 27,65% мужских : 0,19% бесполоых

#### Задание 4. ДНК-оригами (10 баллов)

Технология ДНК-оригами — это метод создания геометрических фигур в нанометровой шкале из длинных молекул ДНК. Для этого метода синтезируется длинная молекула ДНК (каркас), который затем складывается в нужную форму с помощью коротких “скрепок” благодаря комплементарным взаимодействиям между основаниями (Рис. А). Технологией ДНК-оригами возможно получать огромное разнообразие двумерных ДНК-фигур (рис. Б), однако настоящим прорывом стало доказательство возможности синтеза трехмерных структур. В одной из статей описывается получение ДНК-октаэдра из сложного ДНК-каркаса с использованием всего 5 скрепок (рис. В).



Внимательно изучив структуру ДНК-октаэдра, ответьте на следующие вопросы:



квадратная пирамида



шпилька ДНК

4.1. Возможно ли получить с помощью аналогичных ДНК-структур квадратную пирамиду? Если да, то какое максимальное число ДНК-шпилек будет в такой пирамиде (см. рис.)? (2 балла)

**Решение:**

Да (0.5 балла). 8 штук (1.5 балла). Комментарий: каждое ребро сформировано либо шпилькой, либо линкером к другой вершине. Максимальное число шпилек будет при минимальном числе линкеров. Связать 5 вершин можно минимально 4-мя линкерами => число шпилек 8 (16 - 4\*2, т.к. каждый линкер вычитает по шпильке от двух вершин).

4.2. Какое минимальное число скрепок понадобится для сборки квадратной пирамиды из ДНК? (3 балла)

**Решение:**

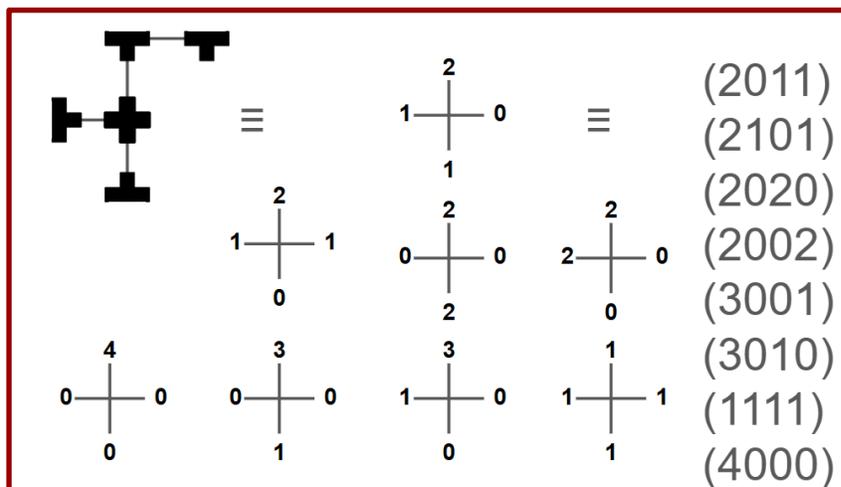
4 штуки (3 балла). Комментарий: меньше не получится, так как для связи всех вершин пирамиды необходимо минимум 4 грани, а каждая грань в итоге изгибается 1 скрепкой.

4.3. Считая, что вершины пирамиды представляют собой сложные структуры из нескольких ДНК-шпилек, рассчитайте, сколько существует уникальных структур каркасов, способных сложиться в ДНК-пирамиду с использованием минимального количества “скрепок”?

Свой ответ аргументируйте. Считайте, что последовательность каркаса одинакова, а каркасы, которые можно получить друг из друга поворотом молекулы без разрыва связей, НЕ считаются уникальными (5 баллов).

**Решение:**

8 штук (2 балла). Для аргументации можно перебором рассмотреть 2 ситуации: выбор грани, которую “удаляют” либо разные способы соединения одной четырехгранной и четырех трехгранных вершин. За верную аргументацию 3 балла. Пример аргументации через соединение вершин на картинке ниже.



### Задание 5. Резус-фактор (10 баллов)

В Соединенных Штатах Америки потомков от смешанных браков принято относить к Африканскому населению. Частота аллеля R, который ответственен за резус фактор у американцев-выходцев из Европы составляет 0.03, а в африканских племенах предках современных афроамериканцев она составляет 0.630. У современного афроамериканского населения частота данного аллеля составляет примерно 0.45.

**5.1. Представим себе, что вы знаете, какая доля от общего количества людей в популяции мигрирует за одно поколение. Обозначьте эту долю, как  $m$ . Рассчитайте, как изменится частота аллеля за одно поколение миграций в коренной популяции. Ответ выразите в виде формулы, которая линейно зависит от  $m$  (3 балла).**

**Решение:**

Обозначим мощность (интенсивность) миграции за  $m$ . Тогда доля аллеля унаследованная от коренных особей будет  $1-m$  (1 балл). Пусть частота аллеля в Америке изначально равна  $p_m$ , а частота этого аллеля в Африке равна  $p_i$ . Тогда, в следующем поколении частота аллеля среди Афроамериканцев будет равна (2 балла):

$$p'_i = (1 - m) \cdot p_i + mp_m = p_i - mp_i + mp_m = p_i - m \cdot (p_i - p_m) = 0.630 - m \cdot (0.630 - 0.03)$$

**5.2. Рассчитайте, как изменилась разница в частоте между коренной популяцией и популяцией, из которой происходила миграция (2 балла).**

**Решение (2 балла):**

$$p'_i - p_m = p_i - m \cdot (p_i - p_m) - p_m = (1 - m) \cdot (p_i - p_m)$$

**5.3. Рассчитайте, какое количество времени назад началась миграция Африканского населения в США, если мощность миграции  $m = 3.5\%$ , а одно поколение, в среднем, длится 30 лет (5 баллов):**

**Решение:**

Заметим, что через  $n$  поколений разница будет равна (1 балл)

$$p_i^n - p_m = (1 - m)^n \cdot (p_i - p_m)$$

Таким образом, (1 балл)

$$(1 - 0.035)^n = \frac{p_i^n - p_m}{p_i - p_m}$$

Подставим значения:

$$(1 - 0.035)^n = \frac{0.45 - 0.03}{0.630 - 0.03} = 0.7$$

$n \log(0.965, 0.965) = \log(0.965, 0.7)$  (1 балл)

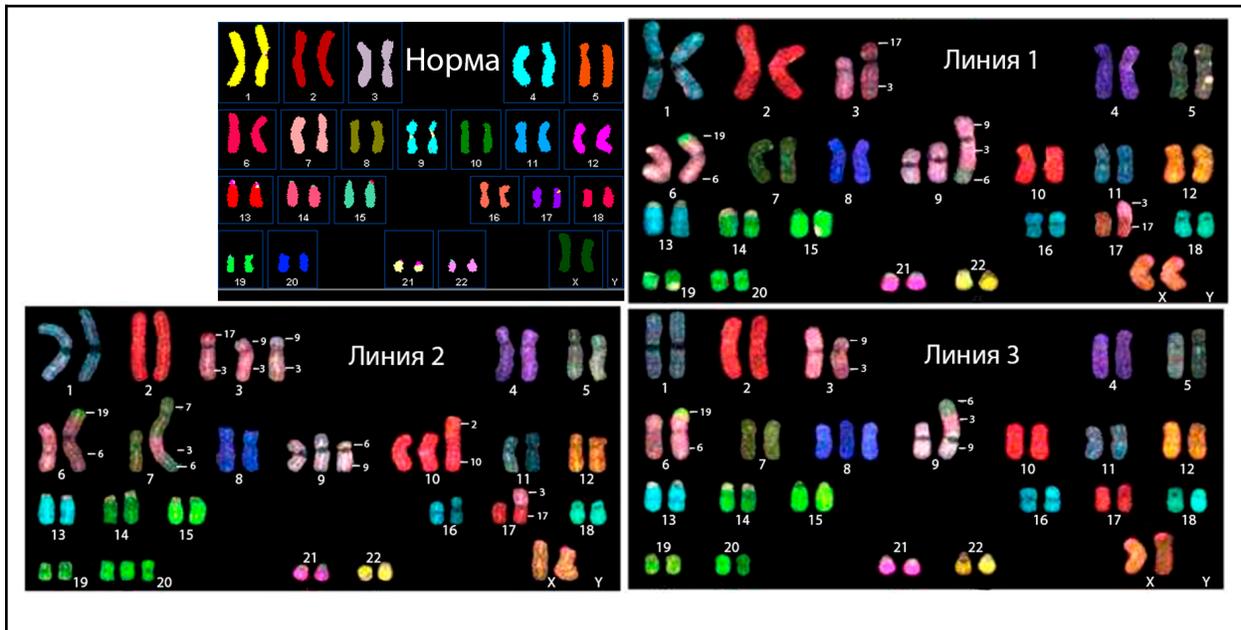
$n = 10$  (1 балл)

Если одно поколение длится 30 лет, то миграции начались примерно 300 лет назад (1 балл).

### Задание 6. Геномная нестабильность (10 баллов)

Спектральное кариотипирование (SKY) - молекулярно-цитогенетический метод анализа кариотипа, основанный на принципе гибридизации несущих флуоресцентную метку зондов к последовательностям в составе хромосом. В данном подходе получается кариотип, в котором гомологичные пары хромосом визуализируются таким образом, чтобы они имели отличительные цвета. Метод SKY облегчает ученым выявление хромосомных аномалий по сравнению с обычным кариотипом и поэтому широко используется в генетическом анализе опухолей, для которых характерна крайняя геномная нестабильность.

В одном из таких анализов ученые решили проследить хромосомные перестройки по ходу превращения бессмертной линии эпителия молочной железы в злокачественную опухоль. На фотографиях ниже представлены SKY-кариотипы здоровой клетки молочной железы (“Норма”) и трех линий, полученных из клеток разной стадии злокачественности (“Линия 1–3”).



**6.1. Можно ли по представленным фотографиям установить вид и пол организма из которого были получены линии? Аргументируйте свой ответ. (1 балл)**

**Решение.**

Представлен кариотип человека, так как имеется 22 пары аутосом и XX хромосомы **(0.5 балла)**. Так как это млекопитающее, то для него характерна XX/XY система полов => это самка **(0.5 балла)**.

**6.2. Расположите линии 1–3 в порядке увеличения их злокачественности и укажите, какие хромосомные мутации происходили в них при превращении в каждый новый тип по сравнению с предыдущим? Для этого в бланке ответов заполните таблицу по примеру ниже: (5 баллов)**

Линия	Норма	Линия ____	Линия ____	Линия ____
Хромосомные мутации	-			

**Решение:**

**1.5 балла за правильный порядок линий**

Линия	Норма	Линия 3	Линия 1	Линия 2
Хромосомные мутации	-	дупликация: 8 <b>(0.5 балла)</b>  транслокация (3,9), (9, 3-6), (6, 19) <b>(0.5 балла)</b>	дупликация: 9 <b>(0.5 балла)</b>  делеция: 8 <b>(0.5 балла)</b>  транслокация (3,17) (17,3) <b>(0.5 балла)</b>	дупликация: (3,9) 10 20 <b>(0.5 балла)</b>  делеция* фрагмент 9 (3)  транслокация (3, 17) (7, 3-6) (10, 2) <b>(0.5 балла)</b>

*за делецию в линии 2 не снимать, но и не ставить баллы*

*при указании только типа хромосомных мутаций ставить за каждый тип по 0.2 балла, при повторении хромосомных мутаций между линиями (т.е. повторное упоминание уже описанной мутации) баллы за этот блок уменьшить в 2 раза (т.е. суммарно 2.25 балла)*

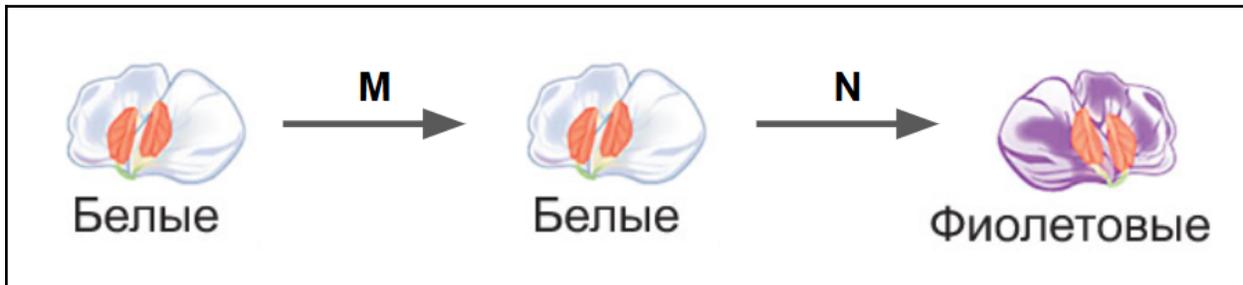
**6.3. Проведя биоинформатический анализ регионов, затронутых в ходе хромосомных перестроек, вы обнаружили большой кластер генов кератинов, расположенных на коротком плече 17-й хромосомы. Вы также обнаружили очень важный для остановки клеточного цикла ген, расположенный на длинном плече 3-й хромосомы, чья повышенная активность приводит к гибели клеток. Можно ли предположить, как хромосомные перестройки будут влиять на фенотип клеток, которые переходят в состояние “Линия 2” из предыдущей степени злокачественности? Какая отличительная черта злокачественных опухолей при этом будет подвергаться изменению? (4 балла)**

**Решение.**

Кератины – это белки эпителиальных клеток **(0.5 балла)**. Фрагмент 17-й хромосомы транслоцируется на копию 3-й хромосомы **(0.5 балла)**. Так как гиперэкспрессия гена остановки клеточного цикла приводит к гибели, то в опухоли должна была происходить инактивация какой-то копии 3-й хромосомы, так как их длинных плеча 3 штуки, а это больше нормы **(1 балл)**. Инактивация хромосомы (3, 17), содержащей кластер генов кератинов, будет приводить к снижению их экспрессии/количества => сниженной степени “эпителизации”/клетки менее похожи на эпителий **(1 балл)**. Это, в свою очередь, приводит к приобретению клетками фибробласт-подобного фенотипа и способности к метастазированию/миграции **(1 балл)** - одной из двух отличительных черт злокачественных опухолей.

**Задание 7. Менделевский фиолетовый (10 баллов).**

Работы Г. Менделя по анализу наследования признаков на горохе посевном (*P. sativum*) знаменательны не только своими результатами, но и технологиями постановки экспериментов и анализа данных. Так, например, Г. Мендель особое внимание уделил выбору признаков гороха, определяемых одним геном, что позволило ему установить известные вам закономерности. Один из признаков, которые исследовал Мендель, был цвет венчика с доминированием фиолетовой окраски над белой. В вашей лаборатории появились белый и фиолетовый сорта гороха, которые, как заверяет поставщик, наследуют окраску венчика аналогично Менделевским сортам. Вы, однако, вырастив уже не одно поколение потомков этих сортов, подозреваете, что поставщик может вас обманывать. По вашей гипотезе цвет венчика у этих растений определяется двумя несцепленными генами (N и M), кодирующими ферменты одного пути синтеза пигмента.



7.1. Для проверки вашей гипотезы вы решили повторить эксперимент Менделя. Для этого вы взяли гетерозиготное растение *NnMm* из вашей лаборатории и самоопылили его. Какое расщепление по фенотипам вы ожидаете увидеть в потомстве, предполагая, что другие гены не влияют на окраску венчика? (1 балл)

**Решение:**

9 фиолетовых : 7 белых

7.2. Ваш коллега убеждает вас в неверности вашей гипотезы, говоря, что в одном из своих скрещиваний получил расщепление по окраске 3:1. Считая, что в вашей лаборатории есть растения всех возможных генотипов по генам N и M, и предполагая, что другие гены не влияют на окраску венчика, докажите, что его аргумент не опровергает вашу гипотезу. Для этого составьте генетическую схему скрещивания, которое провел ваш коллега. (3 балла)

**Решение:**

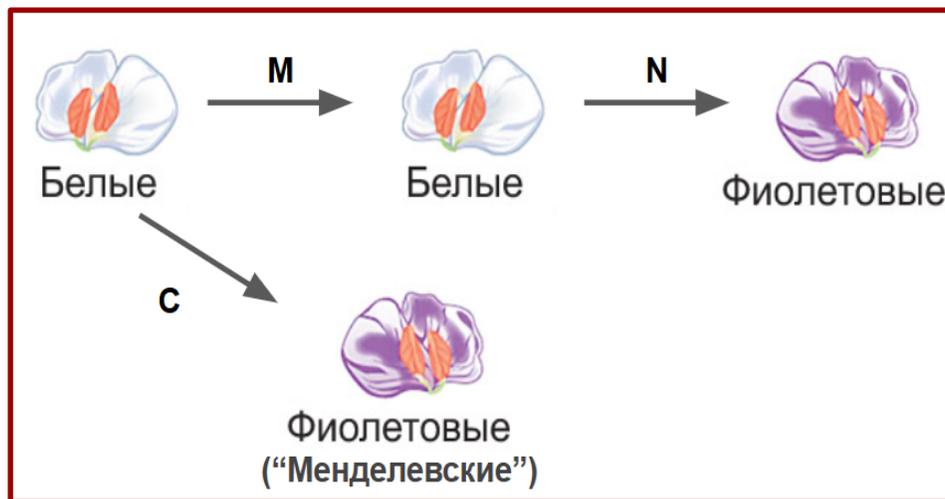
В задаче не сказано, что расщепление 3 фиолетовых к 1 белому!

P:	$mmNn \times Mmnn$ <u>или</u> $NnMM \times NnMM$ (1 балла)
F:	1 $MmNn$ : 1 $mmNn$ : 1 $Mmnn$ : 1 $mmnn$ (за генотипы 1 балл) <u>или</u> 1 $NNMM$ : 2 $NnMM$ : 1 $nnMM$
	1 фиолетовый : 3 белых (за фенотипы 1 балл) <u>или</u> 3 фиолетовых : 1 белый

7.3. Ваш научный руководитель, услышав спор, утверждает, что “Менделевский фиолетовый” — это пигмент, похожий по химической структуре на ваш фиолетовый, но им не являющийся. Решив проверить его утверждение, вы провели самоопыление тригетерозиготы  $CcMmNn$  и получили расщепление, близкое к 57 потомков с фиолетовыми венчиками и 7 с белыми. Считая, что ген  $C$  отвечает за синтез “Менделевского фиолетового” и не сцеплен с генами  $M$  и  $N$ , объясните полученные результаты и установите соответствие между фенотипом потомства и его генотипами, изобразив схему наследования. (6 баллов)

**Решение:**

Большое число фиолетовых потомков должно объясняться тем, что есть несколько вариантов получения фиолетовой окраски. Это моногенный путь синтеза “Менделевского фиолетового” и дигенный путь синтеза “Не-Менделевского фиолетового” (1 балл). Так как в задании указано химическое сходство пигментов, то вероятно их пути синтеза сходятся в интермедиате (1 балл). Верная схема представлена на рисунке ниже (3 балла):



Таким образом полученное расщепление соответствует (1 балл):

57 ( $48 C\_ \_ \_ \_ \_ + 9 cc M\_ N\_$ ) фиолетовых :

7 ( $3 cc M\_ nn + 3 cc mm N\_ + 1 cc mm nn$ ) белых

### Задание 8. Папоротниковые перестройки (10 баллов)



У папоротника *Pteris minima* в спорангии формируется 32 споры, собранные в 8 тетрад. Было исследовано наследование трёх признаков – форма спор (**A** – лодковидная, **a** – помятая), накопление липидов в спорах (**B** – шипики есть, **b** – шипиков нет). Для исследования взяли дигетерозиготные растения, полученные в результате скрещивания двух чистых линий. Из незрелых спорангиев извлекали материнские клетки спор, их размещали на питательной среде в чашке Петри. В течение некоторого времени изучали фенотипы спор в сформировавшихся на питательной среде тетрадах. Результаты для 20 исследованных особей показаны в таблице 1.

#### 8.1. Имеется ли сцепление между аллелями генов **A** и **B**?

Что было бы в противоположной ситуации? Обоснуйте свой ответ одним-двумя предложениями (2 балла)

##### Решение:

В результате мейоза формируется несколько фенотипических групп тетрад, что говорит о наличии сцепления и кроссинговера между аллелями генов **A** и **B** (1 балл). В случае независимого наследования формировались бы только тетрады второго типа (1 балл).

8.2. Объясните механизм формирования тетрад первого и второго типа. Какие события могли произойти перед мейозом и во время мейоза с материнскими клетками спор? (4 балла)

##### Решение:

Согласно условию задачи аллели **A** и **B** находятся исходно на одной хроматиде, составляя одну группу сцепления, аллели **a** и **b** – другую. Тетрады первого типа могли сформироваться в результате кроссинговера (генной конверсии) между однохроматидными хромосомами в материнской клетке спор до начала мейоза (1 балл) или в результате одновременного кроссинговера между двумя парами хроматид сестринских хромосом тетрады (1 балл). Тетрады второго типа – в результате кроссинговера между двумя парами хроматид гомологичных хромосом (1 балл) или одной хроматидой одной хромосомы с двумя хроматидами другой хромосомы в профазе мейоза (1 балл).

8.3. Пусть гены А и В сцеплены между собой. Известно, что расстояние от гена А до центromеры составляет 14 морганид, а от гена В до центromеры – 20. Заполните таблицу 2 и перенесите её в бланк ответов. Внесите в частоты фенотипических групп вычисления. Округление проводите до первого знака после запятой (4 балла).

Таблица 2		
	Вариант расположения генов «А-центromера-В»	Вариант расположения генов «А-В-центromера»
Расстояние между генами А-В		
Частота первой фенотипической группы тетрад		
Частота второй фенотипической группы тетрад		
Частота третьей фенотипической группы тетрад		

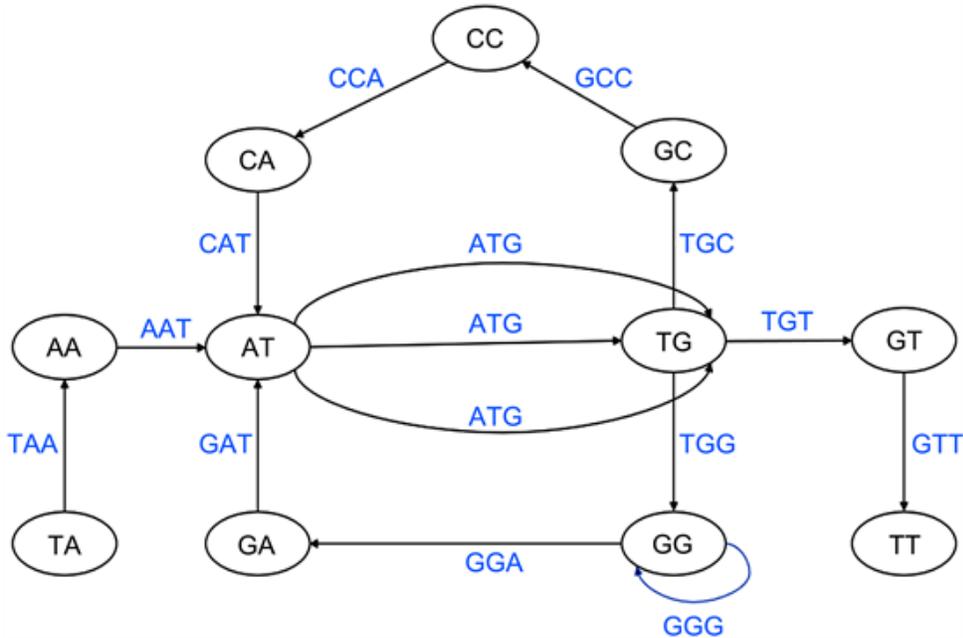
**Решение (4 балла, по 0.5 балла за верную ячейку):**

	Вариант расположения генов «А-центromера-В»	Вариант расположения генов «А-В-центromера»
Расстояние между генами А-В	34	6
Частота первой фенотипической группы тетрад	$0,34 \cdot 0,34 \cdot 160 = 18,5$	$0,06 \cdot 0,06 \cdot 160 = 0,6$
Частота второй фенотипической группы тетрад	$0,34 \cdot 160 = 54,4$	$0,06 \cdot 160 = 9,6$
Частота третьей фенотипической группы тетрад	$160 - 54,4 - 18,5 = 87,1$	$160 - 9,6 - 0,6 = 149,8$

**Задание 9. Сборка генома (5 баллов).**

Графы Де-Брюйна широко используются при сборке (установлении последовательности) геномов. В таких графах в ребрах располагаются последовательности (k-меры), а в вершинах последовательности меньшего порядка (k-1 меры), причем ребро, соединяющее две вершины содержит k-мер, являющийся пересечением двух k-1 мера. Например, два k-1-мера ТА и АА объединяются в k-мер ТАА. Для того, чтобы установить последовательность генома по набору k-меров необходимо в представленном графе найти такой обход, в котором по каждому ребру графа проходят один раз.

**9.1. Найдите такие обходы в графе и установите геномную последовательность, учитывая, что вершина начала ТА, а вершина конца ТТ (2 балла).**



**Решение (2 балла по одному баллу за каждую верную последовательность):**  
 TAATGGGATGCCATGTT или TAATGCCATGGGATGTT

**9.2. Обычно при сборке геномов величина k-меров существенно больше (примерно 50–100 нуклеотидов), а величина прочтений секвенатора обычно при этом составляет от 100 до 250 нуклеотидов. Считая, что все 4 нуклеотида в геноме встречаются с равной вероятностью, рассчитайте вероятность, встретить по случайным причинам последовательность прочтения в геноме. Ответ выразите в виде степени числа 2 (1 балл).**

**Решение (1 балл за верный ответ):**

$$0.25^{250} = 0.5^{250 \cdot 2} = 2^{-500}$$

*\*если ответ не выражен в степени числа 2, то балл не выставляется.*

**9.3. В реальных сборках геномов эукариот одной из самых частых проблем является то, что прочтение, а затем и k-мер не являются уникальными, а много раз повторяются в геноме, занимая при этом разное положение (разные геномные координаты). Приведите 2 причины наблюдаемому явлению (2 балла).**

**Решение (за каждую причину– 1 балл, не больше 2 баллов суммарно):**

- Наличие повторов (повторяющихся последовательностей, микросателлитов, минисателлитов, ретротранспозонов и др).
- Наличие генов-паралогов (дублицированных версий генов/дубликаций генов) в одном геноме.
- Полиплоидные геномы (полиплоидия, удвоения хромосом)
- Наличие множества интегрированных митохондриальных геномов в ядре