

Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования  
«Рязанская городская станция юных натуралистов»

# **Методика решения задач по генетике**

Методическая разработка  
Для учащихся 10-11 классов средних школ

Автор: педагог дополнительного образования Ильичёв Л.Ф.

Рязань 2015 г.

## I. Генетические термины

**Генетика** – наука о закономерностях наследственности и изменчивости организмов.

Различают три основные группы генов:

1. Структурные гены – это гены, синтезирующие все типы РНК.

2. Гены, которые кодируют белки, обеспечивающие жизнедеятельность клетки

3. Гены регуляторы, кодирующие белки, которые регулируют работу других генов. Эти белки «включают» и «выключают» определенные гены в определенный период жизни организма.

Гены различают доминантные, т.е. преобладающие над другими, и рецессивные, т.е. отступающие, подавляемые.

В генетических схемах гены принято обозначать буквами латинского алфавита. Доминантные гены обозначаются заглавными буквами, например: **A, B, C**, т.д. Рecessивные гены обозначаются строчными буквами – **a, b, c**, т.д.

Одно из свойств гена – это мутирование, т.е. способность изменять генетический код. Под воздействием факторов внешней среды может происходить изменение в последовательности нуклеотидов гена. Изменение в структуре гена носит название мутация.

Второе свойство гена – это его аллельность, т.е. образование разновидностей.

Аллель – это другая форма данного гена, измененное состояние. Один и тот же ген, в результате мутаций, может изменяться, образуя различные разновидности.

Генные аллели обозначаются одинаковой буквой с разными цифровыми индексами. Они определяют разные варианты одного и того же признака. Например, данный ген определяет цвет волос; его разные аллельные состояния будут формировать различные оттенки цвета волос:

ген  $\xrightarrow{\text{его аллели}}$  **A, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>**  
его варианты  
цвет  $\xrightarrow{\text{его варианты}}$  **черный, белый, желтый, зеленый и др.**

В гаметах за один признак отвечает один ген.

В диплоидных клетках содержится двойной набор хромосом, следовательно, гены там парные. В каждой паре один аллель материнский, другой аллель отцовский. Они располагаются в одинаковых участках-локусах гомологичных хромосом.

При решении генетических задач используется определённая символика и терминология. Они помогают усвоить методику решения задач. Применяются следующие термины:

**Фенотип** – это совокупность всех признаков организма; например цвет, волос, форма листьев, строение частей тела, рост и др.

Альтернативные признаки – это разные вариации одного признака.

**Генотип** – это набор всех генов организма. Различают два вида генотипа.

Если при оплодотворении в зиготу попадают два одинаковых гена, то генотип организма называется **гомозиготным** – гомозиготный рецессивный «**aa**» или гомозиготный доминантный «**AA**». Если в зиготе соединятся два разных аллельных гена «**Aa**», то такой генотип называется **гетерозиготным**.

Гомозиготный организм относится к чистой линии по данному признаку, гетерозиготный организм относится к гибридам.

*Гибриды* – это организмы, имеющие в генотипе разные аллели.

*Гибридизация* – это процесс скрещивания животных и опыление растений.

*Гибридологический анализ* – это система скрещивания особей в ряду последовательных поколений, для того, чтобы выяснить закономерности наследования отдельных признаков.

*Моногибридное скрещивание* – это скрещивание родительских форм, у которых изучается одна пара генов.

♂ – мужской символ

♀ – женский символ

**P** – родительские организмы (Parentes)

**F** – потомство (Filiale)

**x** – знак скрещивания

**Принцип сегрегации** или правило «чистоты гамет»: В диплоидной клетке за один признак отвечают два аллельных гена – один аллель от отца, другой от матери. При мейозе эти парные гены расходятся в разные гаметы, оставаясь как бы «чистыми». Поэтому в гаметах за один признак отвечает один ген.

<b>P</b>	<b>Aa</b>
	<i>мейоз</i>
<b>Гаметы</b>	<b>(A) (A) (a) (a)</b>

В строке со знаком «P» выписывают генотип родительского организма по данному признаку. В строке ниже родительской клетки выписывают все возможные типы гамет. Одна незрелая половая клетка в результате мейоза образует четыре зрелые гаметы.

Для удобства решения задач, когда составляется схема скрещивания, гаметы с одинаковыми генами можно сократить.

## II. Генетические закономерности.

### Первый закон генетики

**Первый закон генетики** – закон «единообразия» особей: при скрещивании генетически разных гомозиготных организмов всё потомство будет единообразно по фенотипу и генотипу.

Единообразие означает, что все особи в потомстве одинаковы по изучаемому признаку и по генному составу. По генотипу они будут гетерозиготными.

У гетерозиготного потомства происходит взаимодействие аллельных генов друг с другом. Поэтому в разных случаях могут быть различные проявления фенотипа.

Различают несколько типов взаимодействия аллельных генов.

**1. Полное доминирование** – это когда один из аллелей преобладает над другим и в потомстве проявляется признак только доминантного гена. Всё потомство будет иметь доминантный признак.

Составим схему скрещивания классического опыта Г. Менделя с садовым горохом (*Pisum sativum*).

**A** – доминантный ген, ответственный за развитие желтой окраски семян у гороха.

**a** – рецессивный ген зеленого цвета семян гороха.

<b>P</b>	<b>AA</b>	<b>x</b>	<b>aa</b>
Гаметы	<b>(A)</b>		<b>(a)</b>
	<i>оплодотворение</i>		
<b>F</b>	<b>Aa – 100% желтых</b>		

При опылении двух гомозиготных растений, один из которых имеет желтые семена гороха, а другой – зеленые семена, в потомстве получилось 100% желтых гетерозиготных.

В данном генотипе доминантный ген полностью подавляет рецессивный ген, поэтому в потомстве зеленый цвет не проявляется.

**2. Неполное доминирование** – это когда наблюдается ослабление доминантных свойств у доминантного гена в присутствии рецессивного гена. При взаимодействии доминантного и рецессивного аллелей у гетерозиготного организма будет промежуточный вариант признака.

Например, у Примулы мягкой (*Primula malacoides*) доминантный ген определяет красный цвет цветков, а его рецессивный аллель отвечает за белый цвет. Цветки будут красными, если два доминантных гена присутствуют в генотипе. Гетерозиготное состояние приводит к образованию цветков розового цвета.

При решении задач на неполное доминирование, неполностью доминантный ген обозначается с чёрточкой наверху буквы « $\bar{A}$ ».

Схема скрещивания при неполном доминировании на примере цветков у примулы.

$\bar{A}$  – ген, ответственный за развитие красной окраски цветков.

$a$  – ген белого цвета.

<b>P</b>	$\bar{A}\bar{A}$	x	<b>aa</b>
Гаметы	( $\bar{A}$ )		(a)
<b>F</b>			$\bar{A}a$ – 100% розовых

В данном случае, доминантный ген синтезирует недостаточное количество пигмента для образования насыщенного красного цвета, поэтому у потомства окраска цветков становится розовой.

**3. Кодоминирование** – это такое взаимодействие, когда происходит полное проявление двух разных аллельных генов при их одновременном присутствии.

При кодоминировании в потомстве нет промежуточных форм и в гетерозиготном генотипе оба аллеля действуют в равной степени.

Явление кодоминирования можно рассмотреть на примере наследования групп крови системы **AB0** у человека. Ген, определяющий группу крови имеет три аллеля:  $I^0$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ . Аллели  $I^A$  и  $I^B$  проявляют кодоминантность. (Аллель  $I^0$  рецессивен по отношению к  $I^A$  и  $I^B$ )

Схема взаимодействия аллелей на примере группы крови человека.

Например, если у гомозиготных родителей вторая и третья группы крови, то потомство всегда будет иметь четвертую группу крови.

<b>P</b>	$I^A I^A$	x	$I^B I^B$
Гаметы	( $I^A$ )		( $I^B$ )
<b>F</b>			$I^A I^B$

**4. Множественные аллели** – это когда один ген имеет несколько разновидностей. Взаимодействие разных аллелей будет определять разные варианты данного признака.

По каждому признаку у отдельной особи генных аллелей может быть одновременно не более двух: один аллель от отца, другой – от матери. При размножении организмов происходит попарная комбинация аллелей в различных сочетаниях.

Так, у морских свинок окраску шерсти определяют пять пар аллелей, находящиеся в одном локусе, которые в различных сочетаниях дают одиннадцать вариантов окраски.

Все аллельные состояния обозначают одной буквой с разными цифровыми индексами: **A**; **a<sub>1</sub>**, **a<sub>2</sub>**, **a<sub>3</sub>**, **a<sub>4</sub>** ... и т.д.

Взаимодействие между аллельными генами проявляется по типу доминантности-рецессивности, когда **A > a<sub>1</sub>** **a<sub>1</sub> > a<sub>2</sub>** **a<sub>2</sub> > a<sub>3</sub>**

Схема скрещивания при множественном аллелизме на примере окраски шерсти у морских свинок.

Например, при скрещивании коричневой морской свинки (**a<sub>1</sub>a<sub>1</sub>**) с альбиносом (**a<sub>2</sub>a<sub>2</sub>**) все потомство получается коричневого цвета (**a<sub>1</sub>a<sub>2</sub>**), т.к. **a<sub>1</sub>** доминирует над **a<sub>2</sub>**

**a<sub>1</sub>** – ген коричневого цвета,

**a<sub>2</sub>** – ген альбинизма.

<b>P</b>	<b>a<sub>1</sub>a<sub>1</sub></b>	x	<b>a<sub>2</sub>a<sub>2</sub></b>
Гаметы	(a <sub>1</sub> )		(a <sub>2</sub> )
<b>F</b>			<b>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub></b>

### III. Второй закон генетики

**Второй закон генетики** – закон «расщепления»: при скрещивании гетерозиготных организмов в потомстве проявляется расщепление на различные варианты данного признака.

Рассмотрим механизмы расщепления при различных взаимодействиях аллельных генов.

1. Схема скрещивания при полном доминировании на примере семян садового гороха.

**A** – ген, ответственный за развитие желтой окраски семян у гороха.

**a** – ген зеленого цвета семян.

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы	(A) (a)		(A) (a)
<b>F</b>	<u>AA</u>	<u>Aa</u>	<u>Aa</u> <b>aa</b>
	3 желтых		1 зеленый

При опылении двух желтых гетерозиготных растений в потомстве получилось 3/4 с желтыми семенами и 1/4 с зелеными семенами.

При полном доминировании соотношение в потомстве составляет **3:1** или 75%:25%

У гибридного организма образуются два типа гамет: гаметы с геном «**A**» и гаметы с геном «**a**». В процессе оплодотворения половые клетки отцовского и материнского организмов свободно комбинируются и имеют равную вероятность встретиться друг с другом.

2. Схема скрещивания при неполном доминировании на примере окраски цветков у примулы.

**Ā** – ген, ответственный за развитие красной окраски цветков.

**a** – ген белого цвета.

<b>P</b>	<b>Āa</b>	x	<b>Āa</b>
Гаметы	(Ā) (a)		(Ā) (a)
<b>F</b>	<u>ĀĀ</u>	<u>Āa</u> , <u>Āa</u>	<u>aa</u>
	1 красный	2 розовых	1 белый

При скрещивании двух цветков, имеющих розовую окраску, в потомстве произошло расщепление на три варианта данного признака: красный, розовый и белый.

При неполном доминировании соотношение в потомстве составляет – **1:2:1** по фенотипу и генотипу.

3. Схема расщепления при кодоминировании на примере группы крови человека.

Если оба родителя имеют четвертую группу крови, то потомство может иметь вторую, третью и четвертую группы крови, в процентном соотношении 25%:50%:25%

<b>P</b>	<b>I<sup>A</sup>I<sup>B</sup></b>	x	<b>I<sup>A</sup>I<sup>B</sup></b>
Гаметы	(I <sup>A</sup> ) (I <sup>B</sup> )		(I <sup>A</sup> ) (I <sup>B</sup> )
<b>F</b>	<u>I<sup>A</sup>I<sup>A</sup></u>	<u>I<sup>A</sup>I<sup>B</sup></u> <u>I<sup>A</sup>I<sup>B</sup></u>	<u>I<sup>B</sup>I<sup>B</sup></u>

4. Схема скрещивания при множественном аллелизме на примере окраски шерсти у морских свинок.

При множественном аллелизме гетерозиготных генотипов может быть несколько: **Aa<sub>1</sub>**, **Aa<sub>2</sub>**, **a<sub>1</sub>a<sub>2</sub>**, **a<sub>1</sub>a<sub>3</sub>**, **a<sub>2</sub>a<sub>3</sub>** и др. В зависимости от того, какие даны генотипы родителей, в потомстве наблюдаются различные фенотипические «расщепления», например, 3:1, 1:1:1:1, 1:2:1

Например, при скрещивании двух гетерозиготных морских свинок коричневого цвета (**a<sub>1</sub>a<sub>2</sub>**) в потомстве проявляется расщепление в соотношении: 75% коричневых и 25% альбиносов. (**a<sub>1</sub>** доминирует над **a<sub>2</sub>**)

**a<sub>1</sub>** – ген коричневого цвета шерсти у морской свинки.

**a<sub>2</sub>** – ген альбинизма.

<b>P</b>	<b>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub></b>	x	<b>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub></b>
----------	-----------------------------------	---	-----------------------------------

Гаметы	(a <sub>1</sub> ) (a <sub>2</sub> )	(a <sub>1</sub> ) (a <sub>2</sub> )
F	<u>a<sub>1</sub>a<sub>1</sub></u> <u>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub></u> <u>a<sub>1</sub>a<sub>2</sub></u> <u>a<sub>2</sub>a<sub>2</sub></u>	
	3 коричневых	1 белый

#### IV. Теория вероятностей

В генетике часто встает вопрос: «Какой наследственный признак будет иметь ребенок?». «Будет ребенок болен, или здоров?».

Закономерности Г. Менделя не отвечают на эти вопросы. В данном случае вступает принцип случайных явлений.

Случайные явления изучаются наукой, которая называется вариационная статистика. Одно из понятий этой науки – это понятие о равновероятных событиях. Например, у денежной монеты две стороны: – герб и цифра. Если подбросить монету, то возможны два варианта ее падения: монета может лечь вверх гербом, или цифрой. Эти события равновероятны.

Если подбросить монету один раз, то мы не можем заранее предсказать результат, мы можем только сказать, что вероятность выпадения герба  $\frac{1}{2}$ , т.е. один шанс из двух, или 50%

В генетике мы тоже имеем дело с равновероятными случаями. Так, например, при формировании пола организма равновероятны две комбинации: ребенок может родиться как мальчиком, так и девочкой с равной вероятностью – 50%

Другой пример, в браке двух гетерозиготных организмов могут быть равновероятны четыре результата при оплодотворении: AA : 2Aa : aa. Вероятность каждого из них равна  $\frac{1}{4}$  (один шанс из четырех), что составляет 25%

Точное фенотипическое расщепление **3:1** возможно получить, если в потомстве будет большое количество особей. Если рождается малое число особей – одна, две или три, то невозможно предсказать какими они будут по фенотипу и генотипу. При малой численности говорят только о теоретической вероятности проявления данного признака.

Процентная вероятность проявления данного признака при моногибридном скрещивании может составлять: 25%, 50%, 75%.

Один из методов определения возможных комбинаций генов заключается в использовании таблицы Пеннета, предложенной английским математиком и биологом Р. Пеннетом (R. Punnett). В таблицу по горизонтали сверху выписывают все возможные гаметы одного родителя, а по вертикали слева все возможные гаметы другого родителя. В ячейках пересечения получаем все возможные генотипы потомства при оплодотворении данных гамет.

Существуют задачи с «летальным исходом», когда часть потомства погибает. Тогда соотношение особей в потомстве будет иметь отклонение от обычного менделевского расщепления.

Например, наследование доминантного заболевания – серповидно-клеточной анемии характеризуется тем, что когда оба родителя гетерозиготны ( $\bar{A}a$ ), то часть потомства – 25% погибает, т.к. доминантный генотип ( $\bar{A}\bar{A}$ ) несовместим с жизнью. Следовательно, и соотношение в рождении здоровых и больных детей будет иным.

**Анализирующее скрещивание** – это скрещивание рецессивного организма с доминантным, для определения генотипа доминантной особи. Доминантный может быть двух видов.

Если в потомстве наблюдается единообразие, то по первому закону генетики доминантный организм – гомозиготный (AA).

Если в потомстве проявляется расщепление в соотношении **1:1** 50%:50% , то доминантный организм гетерозиготный.

P	Aa	x	aa
Гаметы	(A) (a)		(a)
F	Aa, aa.		

## V. Другие моногибридные скрещивания: плейотропия, пеннетрантность, экспрессивность.

**Плейотропное** действие гена – это один ген определяет развитие не одного признака, а многих признаков организма.

Причина плейотропного явления заключается в том, что данный ген синтезирует белок, который необходим для нормальной работы нескольких органов. При мутации этого гена нарушаются функции многих органов.

Например, серповидно-клеточная анемия вызывает малокровие, задержку в развитии, поражение сердца, почек, легких и глаз.

К одним признакам плейотропный ген проявляет доминантность, к другим признакам он рецессивен. Бывает, что плейотропный ген в гомозиготном состоянии вызывает гибель организма – летальный исход. Генетические задачи “с летальным исходом” имеет своеобразное расщепление, например 2:1.

### Методика решения задач.

Условие: У каракульских овец окраска шерсти и развитие пищеварительной системы определяются одним геном, расположенным в аутосоме.

Серая окраска шерсти доминирует над черной окраской. У доминантного гомозиготного организма наблюдается недоразвитие пищеварительной системы, и такие особи погибают в зародышевой период.

В стаде разводились только серошерстные бараны и овцы. От них родились ягнята в количестве 420 штук.

Определить в потомстве количество серых и черных особей.

Решение: Генотип серошерстных взрослых особей может быть только гетерозиготным, т.к. гомозиготы погибают еще не родившись. В потомстве отмечается соотношение 2:1.

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы (A) (a)			(A) (a)
<b>F</b>	<u>AA</u> , <u>Aa</u> , <u>Aa</u> , <u>aa</u>		
	420 ----- 3ч.		
	x ----- 2ч.	x = 280.	

Ответ: из 420 особей – 280 серых и 140 черных.

**Пеннетрантность** – это пробиваемость гена в признак; частота проявления фенотипа к данному генотипу. Пеннетрантность выражается в процентах числа особей несущих признак, к общему числу носителей гена.

При многих заболеваниях частота проявления признака 100%. Но существуют заболевания с более низкой частотой – 30% – 70%.

### Методика решения задач.

Условие: Одна из форм шизофрении наследуется по аутосомно-рецессивному типу с пеннетрантностью 20%

Определить вероятность заболевания у детей от двух здоровых гетерозиготных родителей.

Решение:

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы (A) (a)			(A) (a)
<b>F</b>	<u>AA</u> , <u>Aa</u> , <u>Aa</u> , <u>aa</u>		

Рецессивных особей в потомстве составляет 25% или 1/4. Это число умножаем на 1/5 (20%) и получаем  $1/20 = 5\%$

Ответ: вероятность рождения больных детей составляет 5%

**Экспрессивность** – это степень тяжести данной болезни. Родитель может быть с легким течением какой-либо болезни, а ребенок быть тяжелобольным.

## VI. Наследование генов, расположенных в половых хромосомах

В клетках кроме аутосом находятся половые хромосомы, условно обозначаемые, как X и Y, и в них тоже содержатся гены.

Например, ген, отвечающий за цвет шерсти у кошек и котов, находится в половой X-хромосоме. Окраска может быть самая разнообразная, но котов с пятнистой трехшерстной окраской шерсти не бывает, такими могут быть только кошки. Это объясняется тем, что для развития пятнистой трехшерстной окраски необходимо два аллельных гена, а Y-хромосома аллельного гена не содержит. У мужского организма XY-хромосомы не являются гомологичными, т.к. они разного строения, и поэтому эта пара аллельных генов не имеет.

У человека в X-хромосоме находятся гены, ответственные за: цветовое зрение, свёртываемость крови, цвет эмали зубов, работу зрительного нерва, тонус, мышц, а также некоторых видов обмена веществ.

В Y-хромосоме находятся гены, проявляющие такие признаки у человека, как перепончатость пальцев, избыточный волосяной покров на ушах, признак «рыбьей» кожи и др. Всего обнаружено около 10 генов.

Гены, наследуемые через половые хромосомы, называются сцепленными с полом.

Хромосомный набор женского организма составляет XX, а мужского организма – XY. У птиц женские особи имеют гетерогаметный пол – ZO, а мужские гомогаметный – ZZ.

В процессе мейоза происходит расхождение парных хромосом, в результате чего гаметы получают по одной хромосоме от каждой пары. Таким образом, мужские гаметы оказываются двух типов: 50% с X-хромосомой и 50% с Y-хромосомой.

Согласно теории хромосомного определения пола у мужского организма Y-хромосома от отца, а X-хромосома от матери.

Пример наследования гена гемофилии в царской семье:

P	$X^A X^a$	x	$X^A Y^-$		
	<i>Виктория</i>		<i>Альберт</i>		
F <sub>1</sub>	$X^A X^a$	x	$X^A Y^-$		
	<i>Алиса</i>		<i>Людвиг IV</i>		
F <sub>2</sub>	$X^A X^a$	x	$X^A Y^-$		
	<i>Александра Фёдоровна</i>		<i>Николай II</i>		
F <sub>3</sub>	$X^A X^a$	$X^A X^a$	$X^A X^a$	$X^A X^a$	$X^A Y^-$
	<i>Ольга</i>	<i>Татьяна</i>	<i>Мария</i>	<i>Анастасия</i>	<i>Алексей</i>

### Методика решения задач.

Условие: Изучается одна пара генов, расположенных в половой X-хромосоме. Y - хромосома аллельных генов не содержит.

Нормальный признак определяется доминантным геном, а рецессивная мутация этого гена приводит к наследственному заболеванию.

В семье, отец и сын имеют данное заболевание, а мать здорова.

От какого родителя сын получил данную болезнь?

Решение:

$X^A$  – ген нормального признака

$X^a$  – ген приводящий к болезни

Согласно теории хромосомного определения пола у мужского организма Y-хромосома от отца, а X-хромосома от матери, следовательно, данное заболевание сын получил от матери. Генотип материнского организма должен быть гетерозиготным.

Составляем схему скрещивания:

P	$X^A X^a$	x	$X^a Y^-$
	Гаметы ( $X^A$ ) ( $X^a$ )		( $X^a$ ) ( $Y^-$ )
F	$X^a Y^-$		



Ответ: сын получил данное заболевание от матери.

## **VII. Дигибридное скрещивание.**

### **Независимое наследование генов**

Скрещивание организмов, у которых изучается два признака и две пары аллельных генов, называется дигибридным скрещиванием.

Рассмотрим закономерности наследования при дигибридном скрещивании на классическом примере с горохом.

У садового горошка (*Pisum sativum*) желтый цвет семян доминирует над зеленым, гладкая форма семени доминирует над морщинистой формой. Выпишем гены данных признаков:

**A** – ген желтой окраски семени

**a** – ген зеленой окраски

**B** – ген гадкой формы плода

**b** – ген морщинистой формы

При самоопылении желтых гладких гетерозиготных организмов «**AaBb**» в потомстве образуются четыре разных фенотипа в соотношении **9** желтых гладких : **3** желтых морщинистых : **3** зеленых гладких : **1** зеленый морщинистый.

В чем причина такого расщепления?

При мейозе происходит свободное и независимое расхождение гомологичных хромосом. Если неаллельные гены находятся в разных хромосомах, то при свободном расхождении они могут образовывать различные комбинации друг с другом. Т.е. в гамету с геном «**A**» может попасть, как ген «**B**», так и ген «**b**» с одинаковой вероятностью.

Поэтому гены, расположенные в разных хромосомах наследуются независимо друг от друга.

В результате независимого распределения хромосом при мейозе дигетерозиготный организм образует четыре типа гамет в равных количествах.

**P**

	<b>AaBb</b>
Гаметы	( <b>AB</b> ) (Ab) ( <b>aB</b> ) ( <b>ab</b> )

В процессе оплодотворения равновероятны все возможные соединения гамет, с образованием 16 зигот. Из этого потомства и получается соотношение по фенотипу 9:3:3:1.

При решении задач, когда скрещиваются дигетерозиготные организмы, то для удобства анализа потомства выписывают фенотипический радикал.

Фенотипический радикал **9 A– B– : 3 A– bb : 3 aaB– : 1 aabb**

В данном условии соотношение между количеством семян гороха гладкой формы и морщинистой формы составляет 12:4, соотношение между количеством желтых и зеленых также составляет 12:4. Поэтому дигибридное скрещивание можно представить как два независимых моногибридных скрещивания.

Отсюда следует **третий закон генетики**: если гены расположены в разных хромосомах, то расщепление одной пары признаков происходит независимо от другой пары признаков.

### **Методика решения задач.**

Условие: Красная окраска плодов у помидор преобладает над жёлтой окраской, а круглая форма над грушевидной формой плода. Неаллельные гены находятся в разных парах хромосом.

В хозяйстве выращивали растения, имеющие плоды помидор красного цвета и круглой формы.

В потомстве получили 1792 растения, из них 1110 оказались с красными круглыми плодами и 322 с красными грушевидными; а также с желтыми круглыми и желтыми грушевидными, количество которых предстоит определить.

Проанализировать данную задачу, составить схему скрещивания и определить в потомстве количество желтых круглых и желтых грушевидных.

Решение: По условию задачи родительские организмы имеют доминантные фенотипы. В

этом случае их генотипы могут быть как гомозиготные, так и гетерозиготные. Генотипы родителей определяем по потомству. Так как в потомстве появились рецессивные признаки, то согласно принципу «чистоты гамет» родительские организмы должны быть дигетерозиготные.

Составляем схему скрещивания:

<b>P</b>	<b>AaBb</b>	x	<b>AaBb</b>
Гаметы	(AB) (Ab)		(AB) (Ab)
	(aB) (ab)		(aB) (ab)

<b>F</b>	<u>9A-B-</u>	:	<u>3aaB-</u>	:	<u>3A-вв</u>	:	<u>1aавв</u>
	1110		?		322		?

Количество красных помидор:  $1110 + 322 = 1432$ .

Количество желтых:  $1792 - 1432 = 360$ .

Ответ: 270 желтых круглых и 90 жёлтых грушевидных.

### VIII. Взаимодействие неаллельных генов

Неаллельные гены это гены, расположенные в негомологичных хромосомах или в разных участках гомологичных хромосом.

Неаллельные гены могут проявлять независимое наследование как, например, при законах Г.Менделя, а могут взаимодействовать друг с другом и совместно влиять на один и тот же признак.

Различают три типа взаимодействия: комплементарность, эпистаз и полимерия.

Комплементарность или дополнительное действие – это когда два доминантных неаллельных гена в разных генотипах каждый определяет развитие самостоятельного фенотипа. При встрече их в одной клетке развивается совершенно новый фенотип. При этом соотношение в потомстве бывает: 9:3:3:1, 9:6:1, 9:3:4, 9:7.

Примером комплементарности может служить наследование формы гребня у кур, формы плода у тыквы, цвет шерсти у мышей и морских свинок.

Эпистаз – это такое взаимодействие, когда гены одной пары подавляют действие другой неаллельной пары.

Различают доминантный эпистаз: **A>B** или **A>вв** и рецессивный эпистаз: **aa>вв** или **aa>BB**.

Соотношение в потомстве может быть: 12:3:1, 9:3:4, 13:3, 9:7.

Примером эпистаза является: наследование окраски оперения у кур, окраска плодов у тыквы и др.

Полимерия – это взаимодействие при котором несколько неаллельных генов определяют фенотип с разной степенью интенсивности.

Полимерные гены контролируют количественные признаки, например: содержание сахара в растении, массу животных, яйценоскость кур, количество пигмента в коже человека и др.

При этом, чем больше доминантных генов в генотипе, тем темнее окраска кожи, больше вес, больше сахара и т.д.

#### Методика решения задач.

Условие: Две пары неаллельных несцепленных генов определяют различные формы плода у тыквы.

Две пары рецессивных генов контролируют удлиненную форму. Наличие одного из двух доминантных генов будет определять сферическую форму плода. Взаимодействие двух доминантных генов приводит к образованию дисковидных форм.

При опылении растений имеющих дисковидные формы плода в потомстве произошло расщепление на различные сорта тыкв: дисковидные, сферические и удлиненные.

Каково соотношение этих сортов?

Решение:

По условию задачи дисковидная форма является доминантным признаком. Доминантный организм может быть гомозиготным или гетерозиготным. Т.к. в потомстве образовались рецессивные особи, то по принципу «чистоты гамет» определяем, что родители дигетерозиготны.

Составляем схему скрещивания

<b>P</b>	<b>AaBb</b>	x	<b>AaBb</b>
Гаметы	(AB) (Ab)		(AB) (Ab)
	(aB) (ab)		(aB) (ab)
<b>F</b>	<u>9A-B-</u> : <u>3A-вв</u> : <u>3aaB-</u> : <u>1aавв</u>		

Ответ: соотношение в потомстве **9:6:1**.

### IX. Сцепленное наследование генов.

Неаллельные гены могут находиться не только в разных хромосомах, но и в одной хромосоме. В таком случае они будут наследоваться не независимо друг от друга, а совместно.

В 1910 году американский генетик Т. Морган на лабораторных опытах показал, что гены находятся в хромосоме в линейном порядке и образуют группу сцепления.

Линейное расположение указывает на то, что гены при мейозе отходят в одну гамету все вместе, целой группой. Например, тригетерозиготный организм будет образовывать не восемь типов гамет, а только два типа.

<b>P</b>	<b>A B C</b>		<b>A B C</b>
	<b>a b c</b>		<b>a b c</b>
Гаметы	(A B C)		(a b c)

Число групп сцепления равно числу пар хромосом. У человека 23 пары хромосом и 23 группы сцепления, у мухи дрозофилы 4 пары хромосом и 4 группы сцепления.

Т. Морган в своих опытах скрещивал мух дрозофил. У мух серое тело и нормальные крылья являются доминантными признаками, а темное тело и короткие крылья – рецессивными признаками.

**A** – ген серой окраски тела

**a** – ген черной окраски

**B** – ген нормальной длины крыльев

**b** – ген коротких крыльев

При скрещивании гетерозиготных самцов с рецессивными самками потомство по внешнему виду оказалось похожим на родителей, в соотношении: 50% серых с нормальными крыльями и 50% черных с короткими крыльями.

<b>P</b>	A   a		a   a
	B   b	x	b   b
Гаметы	A   a		a   a
	B   b		b   b
<b>F</b>	A   a		a   a
	B   b		b   b

Соотношение 1:1 показывает, что у гетерозиготного организма не произошло свободной рекомбинации генов, и образовались не четыре типа гамет, как при независимом наследовании, а только два типа. Следовательно, гены ответственные за цвет тела и длину крыльев располагаются в одной хромосоме.

Отсюда следует **четвертый закон генетики**: гены, расположенные в одной хромосоме называются сцепленными и наследуются совместно целой группой.

Все гены одной хромосомы образуют группу сцепления.

### Методика решения задач.

Условие: При скрещивании мух дрозофил, имеющих серую окраску тела и нормальную длину крыльев, с рецессивными организмами, в потомстве было получено 50% особей серых короткокрылых и 50% черных с нормальными крыльями.

Составить схему скрещивания, если известно, что гены, определяющие цвет тела и длину крыльев, сцеплены.

Решение: Анализируя фенотип потомства можно определить, что при данном сцеплении доминантные гены «А» и «В» расположены в разных гомологичных хромосомах.

Составляем схему скрещивания

$$\begin{array}{r}
 \text{P} \quad \quad \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \text{a} \\ \text{в} \mid \text{В} \end{array} \quad \quad \quad \times \quad \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} \mid \text{a} \\ \text{в} \mid \text{в} \end{array} \\
 \\
 \text{Гаметы} \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \\ \text{в} \mid \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \\ \text{в} \mid \end{array} \quad \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} \mid \\ \text{в} \mid \end{array} \\
 \\
 \text{F} \quad \quad \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \text{a} \\ \text{в} \mid \text{в} \end{array} \quad \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} \mid \text{a} \\ \text{В} \mid \text{в} \end{array}
 \end{array}$$

### Х. Разрыв сцепления генов. Процесс кроссинговера

Было установлено, что у самцов мух дрозофил не происходит перекомбинации генов при мейозе, поэтому наблюдается полное сцепление генов.

Но от скрещивания гетерозиготных самок с рецессивными самцами, было получено потомство по фенотипу сходное с родительскими организмами, а также особей с перекомбинированными признаками, т.е. серых короткокрылых (Аавв 8,5%) и чёрных с нормальными крыльями (ааВв 8,5%).

Т. Морган сделал вывод, что у гетерозиготных самок сцепление нарушается, и гены парных хромосом менялись местами. Поэтому у самок возникает четыре типа гамет.

В профазе первого деления мейоза происходит перекрест гомологичных хромосом и обмен аллельными генами. Данный процесс называется кроссинговер или рекомбинация. Гаметы, в которых произошла перекомбинация генов, называются кроссоверными.

В результате кроссинговера дигетерозиготный организм будет образовывать четыре типа гамет – две кроссоверных и две некроссоверных.

$$\begin{array}{r}
 \text{P} \quad \quad \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \text{a} \\ \text{В} \mid \text{в} \\ \text{A} \diagdown \text{a} \\ \text{в} \diagup \text{В} \\ \text{перекрест} \end{array} \quad \quad \quad \times \quad \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} \mid \text{a} \\ \text{в} \mid \text{в} \end{array} \\
 \\
 \text{Гаметы:} \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \text{a} \\ \text{В} \mid \text{в} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \text{a} \\ \text{в} \mid \text{В} \end{array} \\
 \quad \quad \quad \text{некроссоверные} \quad \text{кроссоверные}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{F} \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \text{A} \\ \text{В} \mid \text{в} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{A} \mid \text{a} \\ \text{В} \mid \text{В} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{a} \mid \text{a} \\ \text{в} \mid \text{В} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{a} \mid \text{A} \\ \text{в} \mid \text{в} \end{array} \\
 \quad \quad 41,5\% \quad 41,5\% \quad 8,5\% \quad 8,5\%
 \end{array}$$

Количество кроссоверных и некроссоверных организмов неодинаково, оно зависит от расстояния между генами.

Расстояние между генами в хромосоме определяется в морганидах и соответствует разъединению в 1% перекрестов.

$$1 \text{ морганида} = 1\% \text{ кроссинговера}$$

Например, если расстояние между генами составляет 17 морганид, то это означает, что при мейозе образуется 17% кроссоверных гамет, (и 83% некроссоверных гамет).

Чтобы узнать процент кроссинговера нужно количество кроссоверных организмов умножить на 100% и разделить на сумму всех особей в потомстве.

Максимальная величина кроссинговера не превышает 50%.

Кроссинговер можно обнаружить только в том случае, если гены находятся в гетерозиготном состоянии. При гомозиготном состоянии перекреста выявить нельзя, т.к. обмен одинаковыми генами не дает новых комбинаций генов в потомстве.

Процесс кроссинговера можно напрямую наблюдать в клетках слюнных желез у личинок плодовых мушек. В клетках слюнных желез находятся гигантские хромосомы, они в 2000 раз больше, чем в других клетках. Гигантские хромосомы состоят из светлых и темных полос, за изменениями которых легко наблюдать.

Генетические карты – это последовательность расположения генов в хромосоме и определение примерного расстояния между ними. Чем дальше друг от друга расположены гены, тем чаще происходит между ними кроссинговер и тем выше процент организмов в потомстве с перекомбинированными признаками.

### Методика решения задач

Условие: Скрещиваются дигетерозиготные организмы. У обоих гены сцеплены в аутосоме и находятся на расстоянии 20 морганид.

В потомстве образуются некроссоверные особи, рецессивные по двум признакам. Определить их количество.

Решение:

<b>P</b>	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">B</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">b</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">b</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">B</td></tr> </table>	A	a	B	b	A	a	b	B	x	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">B</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">b</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">b</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">B</td></tr> </table>	A	a	B	b	A	a	b	B								
A	a																										
B	b																										
A	a																										
b	B																										
A	a																										
B	b																										
A	a																										
b	B																										
	кроссинговер																										
<b>Гаметы</b>	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">B</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">b</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">40%</td><td style="padding: 5px;">40%</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">b</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">B</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">10%</td><td style="padding: 5px;">10%</td></tr> </table>	A	a	B	b	40%	40%	A	a	b	B	10%	10%		<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">B</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">b</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">40%</td><td style="padding: 5px;">40%</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">a</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">b</td><td style="border-left: 1px solid black; padding: 5px;">B</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">10%</td><td style="padding: 5px;">10%</td></tr> </table>	A	a	B	b	40%	40%	A	a	b	B	10%	10%
A	a																										
B	b																										
40%	40%																										
A	a																										
b	B																										
10%	10%																										
A	a																										
B	b																										
40%	40%																										
A	a																										
b	B																										
10%	10%																										

$$F \quad \begin{array}{c} a \\ b \end{array} \left| \begin{array}{c} a \\ b \end{array} \right| \frac{40 \times 40}{100\%} = 16\%$$

Ответ: 16% рецессивных организмов.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

### I. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ. СИНТЕЗ БЕЛКА. ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ

1. В молекуле ДНК 23% аденилового нуклеотида.

Определить процентное содержание гуанилового нуклеотида?

Решение: согласно принципу комплементарности азотистых оснований в молекуле ДНК количество А + Т = 46%. Ц + Г = 54%.  $54 : 2 = 27\%$ .

Ответ: 27% Гуаниловых нуклеотидов.

2. В молекуле и-РНК 4200 нуклеотидов.

Сколько аминокислот в синтезируемой молекуле белка?

Решение: три нуклеотида кодируют одну аминокислоту, следовательно в молекуле белка  $4200 : 3 = 1600$

Ответ: 1600 аминокислот.

3. Дана последовательность нуклеотидов ДНК:

А – Ц – А – Ц – Т – А – Г – Ц – Г – Т

Т – Г – Т – Г – А – Т – Ц – Г – Ц – А

Произвести реакцию матричного синтеза – процесс репликации.

Решение: используя принцип комплементарности подстраиваем парные нуклеотиды и получаем две матричные ДНК.

4. Дана последовательность нуклеотидов ДНК:

Т – Г – А – Ц – А – Т – Г – Ц – Г – Т

А – Ц – Т – Г – Т – А – Ц – Г – Ц – А

Произвести реакцию матричного синтеза – процесс транскрипции.

Решение: на одной цепи ДНК по принципу комплементарности строим цепь нуклеотидов и-РНК.

5. В молекуле и-РНК 2823 нуклеотида. Сколько аминокислот будет в синтезируемом белке?

Решение: три нуклеотида кодируют одну аминокислоту, следовательно,  $2823 : 3 = 941$ .

Ответ: 941 аминокислот в данной молекуле белка.

6. В молекуле ДНК 1100 нуклеотидов с Аденином, что составляет 10% от их общего числа.

Определите количество нуклеотидов с Тиминном, Гуанином, Цитозином содержится в отдельности в молекуле ДНК.

Решение: Тимин комплементарен Аденину, следовательно количество Тимина составляет также 1100. Общее количество нуклеотидов с Тиминном и Аденином составляет 20% (2200 нуклеотидов). Сумма нуклеотидов с Цитозином и Гуанином составляет 80% (8800 нуклеотидов). Нуклеотиды с Цитозином и Гуанином комплементарны, и их количество в отдельности составляет 4400.

7. В процессе трансляции участвовало 30 молекул т-РНК.

Определите 1) число аминокислот, входящих в состав синтезируемого белка, 2) число триплетов и 3) число нуклеотидов в гене, который кодирует этот белок.

Решение: 1) Одна т-РНК подносит одну аминокислоту, следовательно, будет 30 аминокислот в белке. 2) Один триплет кодирует одну аминокислоту, следовательно, будет 30 триплетов. 3) В одном триплете три нуклеотида, следовательно, 90 нуклеотидов в данном гене.

8. и-РНК имеет закодированную информация о белке:

Ц-А-Ц-У-У-А-Г-У-А-У-Ц-У-Г-А-У-А-А-У-Г-Ц-А-А-Ц-А

Используя таблицу генетического кода, определить из каких аминокислот состоит данная белковая молекула.

Решение: по таблице находим следующие аминокислоты:

**Гис–Лей–Вал–Сер–Асп–Асн–Ала–Тре**

9. Фрагмент одной из цепей молекулы ДНК имеет следующую последовательность

нуклеотидов: Г–Т–Г–Ц–Ц–Г–Т–Ц–А–А–А–А.

Используя таблицу генетического кода определите: 1) последовательность нуклеотидов и-РНК, 2) антикодоны т-РНК, 3) аминокислотную последовательность соответствующего фрагмента молекулы белка.

Решение: 1) последовательность нуклеотидов и-РНК:

Ц–А–Ц–Г–Г–Ц–А–Г–У–У–У–У

2) антикодоны т-РНК: ГУГ, ЦЦГ, УАЦ, ААА

3) последовательность аминокислот: Гис – Гли – Сер – Фен

**10.** Все виды РНК синтезируются на матрице ДНК. Фрагмент молекулы ДНК, на котором синтезируется участок центральной петли т-РНК имеет следующую последовательность нуклеотидов:

А–Т–А–Г–Ц–Т–Г–А–А–Ц–Г–Г–А–Ц–Т

Установите: 1) последовательность нуклеотидов участка т-РНК, который синтезируется на данном фрагменте, и 2) аминокислоту, которую будет переносить эта т-РНК в процессе синтеза белка, если третий триплет соответствует антикодону т-РНК.

Решение: 1) по принципу комплементарности находим последовательность нуклеотидов участка центральной петли т-РНК:

У–А–У–Ц–Г–А–Ц–У–У–Г–Ц–Ц–У–Г–А

2) последовательность нуклеотидов антикодона Ц–У–У (третий триплет) соответствует конону на и-РНК: Г–А–А

3) по таблице генетического кода этому кодону соответствует аминокислота ГЛУ (**глутаминовая**), которую будет переносить данная т-РНК.

**11.** Фрагмент цепи и-РНК имеет следующую последовательность нуклеотидов:

Ц–Г–Ц–А–Ц–Ц–Г–Ц–А–Г–У–А

Используя таблицу генетического кода определите: 1) последовательность нуклеотидов на ДНК, 2) антикодоны т-РНК, 3) последовательность аминокислот в фрагменте молекулы белка.

Решение: 1) последовательность нуклеотидов на ДНК:

Г–Ц–Г–Т–Г–Г–Ц–Г–Т–Ц–А–Т

2) антикодоны т-РНК: ГЦГ, УГГ, ЦГУ, ЦАУ

3) последовательность аминокислот: Арт–Тре–Ала–Вал

**12.** В биосинтезе полипептида участвовали т-РНК с антикодонами:

УУА, ГГЦ, ЦГЦ, АУУ, ЦГУ

Определите нуклеотидную последовательность участка каждой цепи молекулы ДНК, который несет информацию о синтезируемом полипептиде.

Решение: антикодоны т-РНК комплементарны кодонам и-РНК, а последовательность нуклеотидов и-РНК комплементарна одной из цепей ДНК. Следовательно, последовательность нуклеотидов одной цепи ДНК:

Т–Т–А–Г–Г–Ц–Ц–Г–Ц–А–Т–Т–Ц–Г–Т

Последовательность нуклеотидов второй цепи ДНК:

А–А–Т–Ц–Ц–Г–Г–Ц–Г–Т–А–А–Г–Ц–А

**13.** Фрагмент цепи ДНК имеет последовательность нуклеотидов:

Т–Т–Т–А–Г–Ц–Т–Г–Т–Ц–Г–Г–А–А–Г

В результате произошедшей мутации в третьем триплете третий нуклеотид заменен на нуклеотид «А».

Определите последовательность нуклеотидов на и-РНК по исходному фрагменту цепи ДНК и измененному. Объясните, что произойдет с фрагментом молекулы белка и его свойствами после возникшей мутации ДНК. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

Решение: 1) последовательность нуклеотидов на и-РНК:

А–А–А–У–Ц–Г–А–Ц–А–Г–Ц–Ц–У–У–Ц

2) в результате мутации в третьем триплете ДНК нуклеотид «Т» заменен на нуклеотид «А»,

поэтому в молекуле и-РНК вместо триплета **A–Ц–A** будет триплет **A–Ц–У**

3) фрагмент молекулы белка не изменится, т.к. мутантный триплет также будет кодировать аминокислоту **Тре** (треанин). Благодаря свойству вырожденности генетического кода данный белок не изменит своих свойств.

**14.** У собаки в незрелых половых клетках содержится 78 хромосом.

Какое количество неполовых хромосом (аутосом) содержится в зрелых гаметах у собаки?

Решение: В зрелых гаметах у собаки содержится 39 хромосом, в два раза меньше, чем в незрелых половых клетках. Из 39 хромосом 38 будет аутосом и одна половая хромосома.

**15.** Общая масса всех молекул ДНК в 46 хромосомах одной соматической клетки человека составляет  $6 \cdot 10^{-9}$  мг. Определить, чему равна масса всех молекул ДНК: 1) перед началом деления (в интерфазу **S**). 2) после деления в соматической клетке. 3) в половой клетке.

Решение: 1) Перед началом деления (интерфазу **S**) в соматических клетках и в незрелых половых клетках количество ДНК удваивается, и общая масса будет равна  $12 \cdot 10^{-9}$  мг.

2) После митоза в соматической клетке количество ДНК остается таким же, как в исходной клетке:  $6 \cdot 10^{-9}$  мг.

3) В половых клетках 23 хромосомы, в два раза меньше, чем в соматических. Следовательно, масса ДНК в гаметах в два раза меньше и составляет  $3 \cdot 10^{-9}$  мг.

**16.** Если у женского организма с генотипом «**Aa**» ген «**A**» при мейозе попал в яйцеклетку, куда попадет

Ответ: В процессе деления происходит расхождение гомологичных хромосом и парных генов, и при мейозе ген «**A**» попадет в яйцеклетку, а ген «**a**» попадет в редукционную клетку.

## II. МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

### Полное и неполное доминирование.

**1.** У мухи дрозофилы нормальная длина крыльев доминирует над короткими крыльями. Скрещиваются организмы, относящиеся к разным чистым линиям по данному признаку.

Выписать генотипы родительских организмов и определить генотип и фенотип потомства.

Решение:

К чистым линиям относятся организмы с гомозиготным генотипом. Гомозиготный генотип бывает двух видов: доминантным (**AA**) и рецессивным (**aa**).

**P**         **AA**                 **x**                 **aa**  
Гаметы (**A**)   (**a**)

**F**                                 **Aa**

Ответ: потомство имеет гетерозиготный генотип, а по фенотипу все особи будут иметь нормальную длину крыльев.

**2.** У овса широкие листья неполностью доминируют над узкими, и гибридные растения имеют промежуточную ширину листьев.

Определить числовое и процентное соотношение в потомстве от скрещивания двух гибридных растений.

Решение:

**P**                 **Āa**                 **x**                 **Āa**  
Гаметы (**Ā**) (**a**)   (**Ā**) (**a**)  
**F**                                 **ĀĀ, Āa, Āa, aa**

Ответ: соотношение по фенотипу и генотипу в потомстве составляет 1:2:1 или 25% 50% 25%.

**3.** Ген, ответственный за развитие серой окраски шерсти у мышей, полностью доминирует над рецессивным аллелем, вызывающим белый цвет шерсти.

Какое можно ожидать соотношение в потомстве по генотипу и фенотипу от скрещивания



гетерозиготного самца с белой самкой?

Решение:

<b>P</b>	♂ <b>Aa</b>	x	♀ <b>aa</b>
Гаметы	(A) (a)		(a)
<b>F</b>	<b>Aa, aa</b>		

Ответ: соотношение по фенотипу и генотипу в потомстве составляет 1:1 или 50% 50%.

4. У человека каряя окраска радужной оболочки глаз доминирует над голубой окраской глаз. Аллельные гены, контролирующие окраску глаз, расположены в неполовых хромосомах.

Генотип какого организма кареглазого или голубоглазого можно указать сразу? Выписать генотипы.

Ответ: генотип голубоглазого человека можно указать сразу, т.к. он рецессивный – **aa**. Генотип кареглазых людей может быть двух вариантов: (**AA, Aa**) и поэтому сразу определить нельзя.

5. В семье отец имеет черную негритянскую окраску кожи, а мать – светлую европейскую кожу. У них родились два мулата, имеющие светло-коричневую окраску кожи.

Составить схему скрещивания.

Решение: потомство имеет промежуточный вариант признака, следовательно задача на неполное доминирование

<b>P</b>	$\bar{A}\bar{A}$	x	<b>aa</b>
Гаметы	( $\bar{A}$ )		(a)
<b>F</b>	$\bar{A}a, \bar{A}a$		

6. Растение гороха, имеющее желтые семена опыляется с растением, имеющим зеленые семена. В потомстве получились: часть растений с желтыми и часть с зелеными семенами.

Составить схему скрещивания, если известно, что желтый цвет доминирует над зеленым.

Решение: родительские организмы имеют разный фенотип и в потомстве произошло «расщепление», следовательно данная задача на анализирующее скрещивание. Для определения доминантного генотипа можно применить правило «чистоты гамет».

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>aa</b>
Гаметы	(A) (a)		(a)
<b>F</b>	<b>Aa, aa</b>		

Ответ: соотношение по фенотипу и генотипу в потомстве составляет 1:1 или 50% 50%.

7. Нормальный слух у человека контролируется аутосомно-доминантным геном. Рецессивная мутация этого гена приводит к глухоте.

В молодой семье оба супруга здоровы по данному признаку, но у невесты отец был больной, а у жениха мать больна.

Какова процентная вероятность рождения больного ребёнка в данном случае от здоровых родителей?

Решение: по правилу «чистоты гамет» определили, что оба родителя гетерозиготны.

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы	(A) (a)		(A) (a)
<b>F</b>	<b>AA, Aa, Aa, aa</b>		

Ответ: вероятность рождения больного ребёнка в данной семье составляет 25%.

8. Две самки морских свинок рыжей окраски скрещиваются с самцом, имеющим чёрный цвет шерсти.

От первой самки в потомстве оказалось 10 рыжих особей, а от второй самки – 8 рыжих и 8 чёрных.

Определить доминантные и рецессивные гены, и проанализировать генотипы родительских организмов.

Решение: в потомстве от первой самки наблюдается единообразие особей, и по первому

правилу генетики определяем, что рыжая окраска у самки является доминантным признаком, а чёрная окраска у самца – рецессивный признак. В потомстве от второй самки произошло расщепление в соотношении 1:1 – анализирующее скрещивание, следовательно генотип второй самки гетерозиготный.

9. На опытном участке было собрано 318 колосков пшеницы, среди них 237 остистых, а остальные безостые.

Определить количество колосьев, унаследовавших генотипы родительских организмов.

Решение: так как остистых колосьев больше, чем безостых, следовательно остистость является доминантным признаком. Соотношение по фенотипу 237:81 или приблизительно 3:1, поэтому согласно правилу “расщепления” скрещиванию подвергаются гетерозиготные организмы.

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы (A) (a)			(A) (a)
<b>F</b>	<u>AA, Aa, Aa, aa</u>		
	237		81

Определяем количество гибридов: 237 ----- 3ч.

x ----- 2ч.

Ответ: 158 организмов в потомстве имеют родительские генотипы.

10. При скрещивании двух кроликов имеющих серый цвет шерсти были получены крольчата серого, белого и чёрного цвета.

Определить характер наследования цвета шерсти, генотипы родительских организмов и соотношение особей в потомстве.

Решение: оба родительских организма имеют одинаковый фенотип – серый цвет, а в потомстве произошло расщепление на три варианта данного признака, следовательно наблюдается промежуточное наследование, а ген серого цвета проявляет неполное доминирование.

<b>P</b>	<b><math>\bar{A}a</math></b>	x	<b><math>\bar{A}a</math></b>
Гаметы ( $\bar{A}$ ) (a)			( $\bar{A}$ ) (a)
<b>F</b>	<u><math>\bar{A}\bar{A}, \bar{A}a, \bar{A}a, aa</math></u>		

Ответ: соотношение в потомстве составляет **1** – чёрный, **2** – серых, **1** – белый.

11. Произвести цитологический анализ моногибридного скрещивания двух гетерозиготных организмов.

Решение: Цитологический анализ – это анализ расхождения хромосом при делении клеток. Незрелая половая клетка имеет двойной набор хромосом, поэтому за один признак отвечают два гена. В интерфазу мейоза происходит удвоение хромосом, соответственно удваиваются и гены. При первом делении мейоза происходит расхождение гомологичных хромосом и аллельных генов. При втором делении мейоза расходятся хроматиды и вместе с ними удвоенные гены. В результате двух делений из одной диплоидной клетки образуются четыре гаметы, в каждой из которых за один признак будет отвечать один ген. При оплодотворении гамет двойной набор генов в зиготе восстанавливается.

12. При скрещивании пчёл, имеющих нормальные крылья, в потомстве оказались особи с короткими крыльями. Пчёл с короткими крыльями скрестили с одной из родительских форм и в следующем поколении получились особи с нормальными крыльями и короткокрылые.

Проанализировать генотипы родительских форм и потомства.

Решение: родительские организмы имеют одинаковые фенотипы, а в потомстве произошло расщепление данного признака, следовательно по правилу “расщепления” нормальные крылья доминируют над короткими и скрещиванию подвергаются гетерозиготные организмы (**Aa** x **Aa**).

Во втором поколении рецессивных особей скрестили с гетерозиготными (**aa** x **Aa**) и получили аналогичное потомство.

13. Растение, имеющее раннее созревание плодов ячменя, опылили с растением позднего созревания. Потомство оказалось средней спелости. Среднеспелые растения опылили между собой

и в потомстве получили три различные группы растений: ранней, средней и поздней спелости в общей сумме – 618.

Определить среди них количество растений среднего созревания плодов.

Решение: в потомстве второго поколения наблюдается расщепление на три варианта данного признака, следовательно задача на промежуточное наследование.

<b>P</b>	$\bar{A}a$	x	$\bar{A}a$
Гаметы ( $\bar{A}$ ) (a)			( $\bar{A}$ ) (a)
<b>F</b>	$\bar{A}\bar{A}, \bar{A}a, \bar{A}a, aa$		
	618 ----- 4ч.		
	x ----- 2ч. $x = 309$ .		

Ответ: 309 растений среднего созревания –  $\bar{A}a$ .

**14.** Изучается одна пара аутомомных генов, определяющая окраску шерсти у хомяков. Серый цвет шерсти неполностью доминирует над коричневым.

От скрещивания серо-коричневых особей с серыми, в потомстве получили 50% серых и 50% серо-коричневых. От скрещивания серо-коричневых с коричневыми получили 50% коричневых и 50% серо-коричневых.

Произвести схемы скрещивания.

Решение: 1)  $\bar{A}a$  x  $\bar{A}\bar{A}$     2)  $\bar{A}a$  x  $aa$

**15.** Признак полидактилии (шестипалость) у человека проявляется как результат доминантной мутации одного гена, расположенного в неполовой хромосоме. Рецессивный аллель отвечает за нормальное строение кисти руки.

В семье мать нормальная по фенотипу, хотя её родители были с признаками полидактилии; отец в генотипе имеет доминантный ген от своего отца.

Родились два ребёнка нормальные по фенотипу.

Какова процентная вероятность рождения следующего ребёнка без аномалии?

Решение: по правилу “чистоты гамет” определяем, что отцовский организм гетерозиготный.

<b>P</b>	$\text{♂}Aa$	x	$\text{♀}aa$
Гаметы (A) (a)			(a)
<b>F</b>	$Aa, aa$		

Ответ: соотношение по фенотипу и генотипу в потомстве составляет 1:1 или 50% 50%.

**16.** При скрещивании чёрных кроликов между собой в потомстве получили чёрных и белых крольчат.

Составить схему скрещивания, если известно, что за цвет шерсти отвечает одна пара аутомомных генов.

Решение: родительские организмы имеют одинаковые фенотипы – чёрный цвет, а в потомстве произошло “расщепление” на черных и белых. Согласно второму правилу генетики скрещиванию подвергаются гетерозиготные организмы.

<b>P</b>	$Aa$	x	$Aa$
Гаметы (A) (a)			(A) (a)
<b>F</b>	$AA, Aa, Aa, aa$		

Ответ: теоретически ожидаемое соотношение в потомстве составляет 3:1.

**17.** Растение высокого роста подвергли опылению с гомозиготным организмом имеющим нормальный рост стебля. В потомстве было получено 20 растений нормального роста и 10 растений высокого роста.

Какому расщеплению соответствует данное скрещивание – 3:1 или 1:1?

Решение: Гомозиготный организм может быть двух видов: доминантным ( $AA$ ) или рецессивным ( $aa$ ). Если предположить, что нормальный рост стебля определяется доминантным геном, тогда всё потомство будет “единообразным”, а это противоречит условию задачи.

Чтобы произошло “расщепление”, растение нормального роста должно иметь рецессивный генотип, а растение высокого роста должно быть гетерозиготным.

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>aa</b>
Гаметы (A)	(a)		(a)
<b>F</b>	<b>Aa, aa</b>		

Ответ: Соотношение по фенотипу и генотипу в потомстве составляет 1:1.

**18.** Один ребёнок в семье родился здоровым, а второй имел тяжёлую наследственную болезнь и умер от неё сразу после рождения.

Какова процентная вероятность того, что следующий ребёнок в этой семье будет здоровым? Рассматривается одна пара аутосомных генов.

Решение. Анализируем генотипы родителей: оба родителя здоровы, они не могут иметь данную наследственную болезнь, т.к. она приводит к гибели организма сразу после рождения.

Если предположить, что данное заболевание проявляется по доминантному типу и здоровый признак является рецессивным, тогда оба родителя рецессивны. Тогда у них не может родиться больной ребёнок, что противоречит условию задачи.

Если данная болезнь является рецессивной, а ген здорового признака наследуется по доминантному типу, тогда оба родителя должны быть гетерозиготными и у них могут быть как здоровые дети, так и больные. Составляем схему скрещивания:

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы (A)	(a)		(A) (a)
<b>F</b>	<b>AA, Aa, Aa, aa</b>		

Ответ: Соотношение в потомстве 3:1, вероятность рождения здорового ребёнка в этой семье составляет 75%.

**19.** Изучается одна пара аутосомных генов определяющая цвет глаз у кошек.

Скрещивается зеленоглазый кот с зеленоглазой кошкой. В потомстве оказалось три котёнка, глаза которых серого цвета.

Определить доминантные и рецессивные гены, генотипы родительских организмов и потомства, составить схему скрещивания.

Решение: родительские организмы имеют одинаковые фенотипы, а в потомстве произошло “расщепление” – появился признак не принадлежащий родителям. Согласно второму правилу генетики скрещиванию подвергаются гетерозиготные организмы.

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы (A)	(a)		(A) (a)
<b>F</b>	<b>3 aa</b>		

Ответ: теоретически ожидаемое соотношение в потомстве составляет 3:1.

**20.** У человека за синтез пигмента меланина отвечает аутосомно-доминантный ген. Его рецессивный аллель определяет альбинизм – заболевание отсутствия пигментации кожи и волос.

В семье оба родителя здоровы, их дочь имеет тёмный цвет волос, а два сына с симптомами альбинизма.

Какова процентная вероятность того, что следующий ребёнок в этой семье не будет иметь признаков альбинизма?

Решение: согласно правилу “чистоты гамет” у рецессивного потомства (**hh**) один ген от отца, другой аллельный ген от матери, следовательно оба родительских организма гетерозиготны.

<b>P</b>	<b>Hh</b>	x	<b>Hh</b>
Гаметы (H)	(h)		(H) (h)
<b>F</b>	<b>HH, Hh, Hh, hh</b>		

Ответ: вероятность рождения больного ребёнка в данной семье составляет 25%.

**21.** У Саши и Паши глаза серые, а у их сестры Маши глаза зелёные. Мать этих детей

сероглазая, хотя оба её родителя имели зелёные глаза. Ген, ответственный за цвет глаз расположен в неполовой хромосоме (аутосоме).

Определить генотипы родителей и детей. Составить схему скрещивания.

Решение: по материнскому организму и по её родителям определяем, что серый цвет глаз является рецессивным признаком (закон «расщепления»).

Мать сероглазая, следовательно у нее рецессивный генотип (**aa**). Чтобы в потомстве получились сероглазые и зеленоглазые дети, то отец должен иметь зелёный цвет глаз и гетерозиготный генотип.

<b>P</b>	♀ <b>aa</b>	x	♂ <b>Aa</b>
Гаметы	(a)		(A) (a)
<b>F</b>		<b>Aa, aa</b>	

**22.** Мать брюнетка; отец блондин, в его родословной брюнетов не было. Родились три ребёнка: две дочери блондинки и сын брюнет.

Ген данного признака расположен в аутосоме.

Проанализировать генотипы потомства и родителей.

Решение: Генотип отцовского организма должен быть гомозиготным, т.к. в его родословной наблюдается чистая линия по цвету волос. Гомозиготный генотип бывает доминантным (**AA**) или рецессивным (**aa**).

Если генотип отца гомозиготный доминантный, то в потомстве не будет детей с тёмными волосами – проявится “единообразие”, что противоречит условию задачи. Следовательно, генотип отца рецессивный. Материнский организм должен быть гетерозиготным.

<b>P</b>	♀ <b>Aa</b>	x	♂ <b>aa</b>
Гаметы	(A) (a)		(a)
<b>F</b>		<b>Aa, aa</b>	

Ответ: Соотношение по фенотипу и генотипу в потомстве составляет 1:1 или 50% 50%.

**23.** Способность лучше владеть правой или левой рукой у человека определяется работой одной пары аутосомных генов.

В семье двое детей лучше владеют левой рукой, а третий ребенок – правша. Их мать левша, хотя её родители лучше владели правой рукой.

Проанализировать в данной задаче доминантные и рецессивные гены, генотипы родителей и детей, составить схему.

Решение: 1). мать левша, а ее родители правши, следовательно по закону «расщепления» владение левой рукой является рецессивным признаком, а лучше владеть правой рукой – доминантный признак.

2). в этой семье мать и отец гетерозиготны; двое детей рецессивны, а третий ребенок доминантный.

3). составляем схему скрещивания:

<b>P</b>	<b>Aa</b>	x	<b>Aa</b>
Гаметы	(A) (a)		(A) (a)
<b>F</b>		<b>AA, Aa, Aa, aa</b>	

**24.** У человека проявляется заболевание – серповидно-клеточная анемия. Эта болезнь выражается в том, что эритроциты крови имеют не круглую форму, а серповидную, в результате чего транспортируется меньше кислорода.

Серповидно-клеточная анемия наследуется через неполностью доминантный ген ( $\bar{A}$ ), причём гомозиготное состояние ( $\bar{A}\bar{A}$ ) приводит к гибели ребенка сразу после его рождения.

В семье оба супруга болеют анемией.

Какова процентная вероятность рождения у них здорового ребёнка?

Решение:

$\bar{A}$  – ген с/к анемии

$a$  – ген нормального признака

$\bar{A}\bar{A}$  – гибель организма

**P**             $\bar{A}a$                            $x$                            $\bar{A}a$   
Гаметы ( $\bar{A}$ ) ( $a$ )    ( $\bar{A}$ ) ( $a$ )  
**F**                           $\bar{A}\bar{A}, \bar{A}a, \bar{A}a, aa$

Ответ: 25% здоровых детей в данной семье.

25. У кукурузы ген, определяющий синтез хлорофилла, доминирует над мутантным геном, вызывающим альбинизм – отсутствие пигмента.

При опылении зелёных растений между собой было получено 45 организмов, из них 12 оказались альбиносами и погибли.

Определить количество зелёных чистых линий (элитных) растений, если известно, что изучается одна пара аутосомных генов.

Решение:

**P**             $Aa$                            $x$                            $Aa$   
Гаметы ( $A$ ) ( $a$ )    ( $A$ ) ( $a$ )  
**F**                           $AA, Aa, Aa, aa$   
                               $\frac{33}{x} \text{ ч.} \quad \quad \quad \frac{3}{1} \text{ ч.}$                            $x = 11.$

Ответ: 11 зелёных элитных растений.

### Множественный аллелизм и кодоминирование.

26. У кроликов различные типы окраски шерсти определяются множественными аллелями, состоящими из нескольких видоизменений гена «А». Данный ген доминирует над всеми остальными, и дает сплошное распределение пигментации волос на всем теле.

Рецессивный аллель « $a_1$ » определяет полное отсутствие пигментации и приводит к альбинизму.

Аллель « $a_2$ » формирует гималайскую окраску, при которой шерсть окрашивается на, носу, ушах хвосте и лапах, а большая часть тела остается белой.

Аллель « $a_3$ » контролирует шиншиловую окраску шерсти.

« $a_2$ » и « $a_3$ » рецессивны по отношению к « $A$ » и доминантны по отношению к « $a_1$ ».

Гетерозиготные особи « $a_2a_3$ » бывают светло-серые.

Определить цвет шерсти у кроликов от скрещивания:

$Aa_3 \quad x \quad a_1a_2$   
 $a_1a_3 \quad x \quad a_1a_2$

Решение I:

**P**             $Aa_3$                            $x$                            $a_1a_2$   
Гаметы ( $A$ ) ( $a_3$ )    ( $a_1$ ) ( $a_2$ )  
**F**                           $Aa_1 \quad Aa_2 \quad a_1a_3 \quad a_2a_3$

$Aa_1, Aa_2$  – особи сплошной окраски,

$a_1a_3$  – шиншиловой окраски,

$a_2a_3$  – светло-серой окраски.

Ответ: соотношение по фенотипу составляет 1:2:1

Решение II:

**P**             $a_1a_3$                            $x$                            $a_1a_2$   
Гаметы ( $a_1$ ) ( $a_3$ )    ( $a_1$ ) ( $a_2$ )  
**F**                           $a_1a_1 \quad a_1a_2 \quad a_1a_3 \quad a_2a_3$

$a_1a_2$  – особи гималайской окраски,

$a_1a_1$  – альбиносы,

$a_1a_3$  – шиншиловой окраски,

$a_2a_3$  – светло-серой окраски.

Ответ: соотношение по фенотипу составляет 1:1:1:1

**27.** У мышей длина хвоста определяется серией аллелей одного локуса:  $A - a_1 - a_2 - a_3$

Доминантное гомозиготное состояние аллелей ( $AA$ ) вызывает гибель зародышей. Гетерозиготные особи ( $Aa_1$ ) рождаются бесхвостыми. Гетерозиготные ( $Aa_2$   $Aa_3$ ) имеют укороченные хвосты. Любое сочетание рецессивных генов определяет нормальное развитие хвоста.

Определить фенотип потомства от скрещивания бесхвостых особей ( $Aa_1$ ) с мышами, имеющих укороченный хвост ( $Aa_3$ ).

Решение:

**P**                   **$Aa_1$**                   x                   **$Aa_3$**   
Гаметы (A) (a<sub>1</sub>)    (A) (a<sub>3</sub>)

**F**                                   **$AA$**   **$Aa_3$**   **$Aa_1$**   **$a_1a_3$**   
 **$AA$**  – гибель зародышей,

**$Aa_3$**  – особи с укороченными хвостами,

**$Aa_1$**  – бесхвостые,

**$a_1a_3$**  – особи с нормальными хвостами.

Ответ: данная задача с летальным исходом; соотношение по фенотипу составляет 1:1:1

**28.** У одного родителя I группа крови; второй родитель гомозиготный с III группой крови. Составить схему.

Решение:

**P**                   **$I^O I^O$**                   x                   **$I^B I^B$**   
Гаметы                  ( $I^O$ )    ( $I^B$ )  
**F**                                   **$I^B I^O$**

**29.** У матери IV группа крови, у отца I группа. Может ли ребёнок в данной семье иметь группу крови одного из родителей?

Решение:

**P**                   **$I^A I^B$**                   x                   **$I^O I^O$**   
Гаметы                  ( $I^A$ )    ( $I^B$ )  
**F**                                   **$I^A I^O$**   **$I^B I^O$**

Ответ: в данном случае ребенок не может иметь группу крови родителей.

**30.** Определить соотношение в потомстве, когда родители гетерозиготны по второй ( $I^A I^O$ ) и третьей ( $I^B I^O$ ) группам крови.

Решение:

**P**                   **$I^A I^O$**                   x                   **$I^B I^O$**   
Гаметы                  ( $I^A$ ) ( $I^O$ )    ( $I^B$ ) ( $I^O$ )  
**F**                                   **$I^O I^O$**   **$I^A I^O$**   **$I^B I^O$**   **$I^A I^B$**

Ответ: соотношение в потомстве составляет 1:1:1:1.

### **Плейотропное действие гена и пенетрантность.**

**31.** У каракульских овец окраска шерсти и развитие пищеварительной системы определяются одним геном, расположенным в аутосоме.

Серая окраска шерсти доминирует над черной окраской. У доминантного гомозиготного организма наблюдается недоразвитие пищеварительной системы, и такие особи не выживают, они погибают в эмбриональный период.

В стаде разводились только серошерстные бараны и овцы. От них родились ягнята в количестве 420 штук.

Определить в потомстве количество серых и черных особей.

Решение: задача на плейотропное действие гена, когда один ген определяет несколько признаков – в данном случае цвет шерсти и формирование пищеварительной системы.

**P**                   **$Aa$**                   x                   **$Aa$**

Гаметы (A) (a) (A) (a)  
**F** AA, Aa, Aa, aa  
 420 ----- 3ч.  
 x ----- 2ч. x = 280.

Ответ: из 420 особей – 280 серошерстных.

**32.** Одна из пород собак (мексиканский дог) характеризуется тем, что иногда рождаются щенки с полным отсутствием шерсти и эта мутация приводит к летальному исходу.

При скрещивании здоровых собак часть потомства в одном случае погибает, а в другом случае потомство всегда выживает.

Проанализируйте эти два вида скрещивания.

**33.** Одна из форм шизофрении наследуется по аутосомно-рецессивному типу с пенетрантностью 20%.

Определить вероятность заболевания у детей от двух здоровых гетерозиготных родителей.

Решение: **P** **Aa** x **Aa**  
 Гаметы (A) (a) (A) (a)  
**F** AA, Aa, Aa, aa

Рецессивных особей в потомстве составляет 25% Это значение умножаем на 20%, делим на 100% и получаем = 5%

Ответ: вероятность рождения больных детей составляет 5%

**34.** Одна из форм шизофрении наследуется как аутосомно-доминантный признак, причем у гомозиготного организма (AA) пенетрантность составляет 100%, а у гетерозиготного – 20%.

Определить вероятность рождения здоровых и больных детей от гетерозиготных родителей.

Решение: **P** **Aa** x **Aa**  
 Гаметы (A) (a) (A) (a)  
**F** AA, Aa, Aa, aa

- 1) больных гомозиготных организмов составляет 25%
- 2) больных гетерозиготных составляет:  $50\% \times 20\% : 100\% = 10\%$
- 3) общее количество:  $25\% + 10\% = 35\%$

Ответ: вероятность рождения больных детей составляет 35%, здоровых – 65%

**35.** Синдром болезни Ван дер Хеве наследуется как доминантный аутосомный плейотропный ген, имеющий следующие признаки: голубую окраску белочной оболочки глаз, хрупкость костей и глухоту. Аллельный рецессивный ген определяет нормальные признаки.

Пенетрантность данных признаков различна: голубая окраска склеры составляет 100%, хрупкость костей – 63%, глухота – 60%.

Один родитель в семье здоровый рецессивный, второй родитель гетерозиготный: имеет голубые склеры, хрупкость костей и здоровый по слуху.

Определить в данной семье процентную вероятность рождения больных детей отдельно по трем признакам.

Решение: **P** **aa** x **Aa**  
 Гаметы (a) (A) (a)  
**F** **Aa, aa**

- 1) вероятность рождения детей с голубыми склерами составляет **50%**
- 2) вероятность рождения с хрупкостью костей составляет:  $50\% \times 60\% : 100\% = 30\%$
- 3) вероятность рождения глухих детей составляет:  $50\% \times 63\% : 100\% = 31,5\%$



### III. МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ, ГЕНЫ РАСПОЛОЖЕНЫ В ПОЛОВЫХ ХРОМОСОМАХ

1. Нормальное цветовое зрение у человека определяется доминантным геном, расположенным в половой X-хромосоме. Рецессивная мутация этого гена приводит к дальтонизму.

Y-хромосома аллельного гена не содержит.

В семье отец и сын дальтоники, мать различает цвета нормально.

От какого родителя сын унаследовал данное заболевание?

Решение: согласно хромосомной теории пола у мужского организма Y-хромосома от отца, X-хромосома от матери, следовательно ген дальтонизма сын получил от матери.

P	$X^A X^a$	x	$X^a Y^-$
	↑		
F			$X^a Y^-$

2. У мухи дрозофилы красный цвет глаз доминирует над белоглазостью. Ген окраски находится в X-хромосоме.

Y-хромосома аллельного гена не имеет.

Какие должны быть фенотипы родительских организмов, чтобы в потомстве всегда были красноглазые самки и белоглазые самцы?

Решение: чтобы в потомстве самцы оказались белоглазыми материнский организм должен быть рецессивным, т.е. по фенотипу белоглазым. Чтобы в потомстве самки были красноглазыми, отцовский организм должен иметь доминантный ген, т.е. по фенотипу красноглазым.

P	$X^a X^a$	x	$X^A Y^-$
	Гаметы ( $X^a$ )		( $X^A$ ) ( $Y^-$ )
F	$X^A X^a$		$X^a Y^-$

3. Ген нормальной свёртываемости крови у человека наследуется по доминантному типу и сцеплен с X-хромосомой. Рецессивная мутация этого гена приводит к гемофилии – несвёртываемости крови.

Y-хромосома аллельного гена не имеет.

Определить процентную вероятность рождения здоровых детей в молодой семье, если невеста имеет нормальную свёртываемость крови, хотя её родная сестра с признаками гемофилии. У жениха мать страдает этим заболеванием, а отец здоров.

Решение: 1) Определяем генотип невесты. По условию задачи сестра невесты имеет рецессивный генотип  $X^a X^a$ , значит обе сестры получают ген гемофилии (от своего отца). Поэтому здоровая невеста гетерозиготна.

2) Определяем генотип жениха. Мать жениха с признаками гемофилии  $X^a X^a$ , следовательно, по хромосомной теории пола, рецессивный ген она передаёт сыну  $X^a Y^-$ .

P	$X^A X^a$	x	$X^a Y^-$
	Гаметы ( $X^A$ ) ( $X^a$ )		( $X^a$ ) ( $Y^-$ )
F	$X^A X^a$	$X^a X^a$	$X^A Y^-$ $X^a Y^-$

Ответ: соотношение по фенотипу 1:1, 50% детей здоровы.

4. У кошек ген ответственный за развитие рыжей окраски шерсти проявляет неполное доминирование по отношению к чёрному цвету и расположен в X-хромосоме. Аллельные гены в гетерозиготном состоянии определяют пятнистую трехцветную окраску.

Y-хромосома данного гена не имеет.

Определить соотношение по фенотипу в потомстве от скрещивания пятнистой кошки с чёрным котом.

Решение:

P	$X^{\bar{A}} X^a$	x	$X^a Y^-$
	Гаметы ( $X^{\bar{A}}$ ) ( $X^a$ )		( $X^a$ ) ( $Y^-$ )

**F**  $X^A X^a \quad X^a X^a \quad X^A Y^- \quad X^a Y^-$

Ответ: соотношение по фенотипу составляет 1:2:1

5. У человека заболевание – «витамин Д резистентный рахит» наследуется по доминантному типу, а нормальный признак является рецессивным.

Аллельные гены, определяющие данные признаки сцеплены с X-хромосомой.

В семье мать болеет рахитом, а её дочь здорова.

Какова процентная вероятность рождения второго ребенка, не имеющего наследственного рахита.

Решение: по генотипу здоровой дочери ( $X^A X^a$ ) определяем, что мать гетерозиготна, отец здоровый рецессивный.

**P**  $X^A X^a \quad \times \quad X^a Y^-$

Гаметы ( $X^A$ ) ( $X^a$ ) ( $X^a$ ) ( $Y^-$ )

**F**  $X^A X^a \quad X^a X^a \quad X^A Y^- \quad X^a Y^-$

Ответ: вероятность рождения второго ребенка здорового составляет 50%

6. Изучается одна пара аллельных генов в X-хромосоме, регулирующая цветовое зрение у человека.

Нормальное цветовое зрение является доминантным признаком, а дальтонизм проявляется по рецессивному типу.

Проанализировать генотип материнского организма.

Известно, что у матери два сына, у одного из них больная жена и здоровый ребёнок. В семье второго – дочь с признаками дальтонизма и сын, цветовое зрение которого в норме.

Решение. 1) Определяем генотип первого сына. По условию задачи у него больная жена и здоровый ребёнок – это может быть только дочь  $X^A X^a$ . Рецессивный ген дочь получила от матери, а доминантный ген от отца, следовательно, генотип мужского организма доминантный ( $X^A Y^-$ ).

2) Определяем генотип второго сына. Его дочь больна  $X^a X^a$ , значит, один из рецессивных аллелей она получила от отца, поэтому генотип мужского организма рецессивный ( $X^a Y^-$ ).

3) Определяем генотип материнского организма по её сыновьям:

**P**  $X^? X^?$

**F**  $X^A Y^- \quad X^a Y^-$

Ответ: генотип матери гетерозиготный  $X^A X^a$ .

7. У скалистых ящериц доминантный ген, ответственный за синтез фермента дыхательной системы, расположен в X-хромосоме. Рецессивная мутация этого гена вызывает угнетение дыхательного центра у животного, что приводит к гибели организма.

Y-хромосома данного гена не имеет.

При исследовании опытной группы скалистых ящериц в потомстве было обнаружено 50% самок и 25% самцов.

Проанализировать генотипы родительских организмов в исследуемой группе.

Решение: родительские организмы должны иметь здоровый признак, т.к. патологический признак – угнетение дыхания приводит к гибели особей. Если данная мутация рецессивна, то родители должны быть доминантными. Гибель мужских особей в потомстве возможна, если материнский организм содержит мутантный ген.

**P**  $X^A X^a \quad \times \quad X^A Y^-$

Гаметы ( $X^A$ ) ( $X^a$ ) ( $X^A$ ) ( $Y^-$ )

**F**  $X^A X^A \quad X^A X^a \quad X^A Y^- \quad X^a Y^-$

Ответ: соотношение по полу 2:1 или 50% самок и 25% самцов; особи с генотипом  $X^a Y^-$  погибают.

8. Перепонки между пальцами проявляются только у мужчин и никогда не встречаются у женщин.

Как объяснить наследование данного признака с точки зрения хромосомной теории пола? Составить генетическую схему.

Решение: ген данного признака расположен в Y-хромосоме.

<b>P</b>	<b>X<sup>h</sup>X<sup>h</sup></b>	x	<b>X<sup>h</sup>Y<sup>c</sup></b>
Гаметы	(X <sup>h</sup> )		(X <sup>h</sup> ) (Y <sup>c</sup> )
<b>F</b>	<b>X<sup>h</sup>X<sup>h</sup></b>	<b>X<sup>h</sup>Y<sup>c</sup></b>	

#### **IV. ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ. НЕЗАВИСИМОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ГЕНОВ**

1. При скрещивании дигетерозиготных организмов наблюдается независимое наследование двух пар генов.

Объяснить данное явление поведением хромосом в процессе мейоза и при оплодотворении.

Решение: При мейозе происходит свободное и независимое расхождение гомологичных хромосом. Если неаллельные гены находятся в разных хромосомах, то при свободном расхождении они могут образовывать различные комбинации друг с другом. Т.е. в гамету с геном «А» может попасть, как ген «В», так и ген «в» с одинаковой вероятностью.

Поэтому гены, расположенные в разных хромосомах наследуются независимо друг от друга.

В результате независимого распределения хромосом при мейозе дигетерозиготный организм образует четыре типа гамет в равных количествах.

<b>P</b>	<b>AaBb</b>			
Гаметы	(AB)	(Ab)	(aB)	(ab)

И второй дигетерозиготный организм образует четыре типа гамет.

В процессе оплодотворения равновероятны все возможные соединения гамет, с образованием 16 зигот. Из этого потомства получается соотношение по фенотипу 9:3:3:1. В этом проявляется комбинативная изменчивость.

2. Организм, рецессивный по двум парам генов, скрещивают с дигетерозиготным организмом (анализирующее скрещивание).

Определить в потомстве соотношение по фенотипу и генотипу.

Решение:

<b>P</b>	<b>AaBb</b>		x	<b>aa bb</b>
Гаметы	(AB)	(Ab)		(ab)
	(aB)	(ab)		

**F** **AaBb, Aabb, aaBb, aabb**

Ответ: соотношение в потомстве – 1:1:1:1.

3. У гороха жёлтая окраска семян доминирует над зелёной окраской, а гладкая форма над морщинистой. Изучаются гены разных пар хромосом.

Растения с жёлтыми морщинистыми семенами скрестили с зелёными гладкими. В потомстве получили часть особей похожих по фенотипу на оба родительских организма.

Определить эту часть в процентном соотношении.

Решение:

<b>P</b>	<b>Aabb</b>		x	<b>aABb</b>
Гаметы	(Ab)	(ab)		(aB) (ab)
<b>F</b>	<b>AaBb, Aabb, aaBb, aabb</b>			

Ответ: 50% особей похожи на родителей.

4. У совы рыжая окраска перьев рецессивна по отношению к серой, а ген ночного зрения доминирует над геном дневного зрения.

Оба гена расположены в негомологичных хромосомах.

Какие могут быть генотипы родителей, если в потомстве оказались все совы с ночным зрением, и из них половина серых, и половина рыжих?

Решение: дигибридное скрещивание можно представить как два моногибридных.

1) единообразия в потомстве дадут следующие виды скрещивания: **AA x AA**, **AA x Aa**, **AA x aa**.

2) расщепление в соотношении 1:1 проявляется при анализирующем скрещивании, когда один организм гетерозиготный, другой рецессивный: **Vv x vv**.

5. Ген белого цвета шерсти у соболя является доминантным. Рецессивный аллель определяет черный цвет.

Нормальное зрение у соболя доминирует над слепотой.

Неаллельные гены находятся в разных парах хромосом.

В потомстве получилось: 50% слепых, 50% зрячих, 25% чёрных и 75% белых.

Проанализировать родительские организмы по фенотипу и генотипу.

Решение:

1) соотношение по цвету 75% 25% – правило “расщепления” – **Aa x Aa**.

2) соотношение по зрению 50% 50% – анализирующее скрещивание – **Vv x vv**.

Следовательно генотипы родителей:

**AaVv** x **Aavv**

6. У земляники красная окраска ягод неполностью доминирует над белой, а широкая листовая пластинка неполностью доминирует над узкой пластинкой листьев. Гибридные растения имеют розовые ягоды и промежуточную ширину листовой пластинки.

Опыляются растения гетерозиготные по двум парам генов негомологичных хромосом.

Определить в потомстве процентное содержание особей по фенотипу похожих на родительские организмы.

Решение:

**P**             $\bar{A}a\bar{E}e$             x             $\bar{A}a\bar{E}e$   
Гаметы: ( $\bar{A}\bar{E}$ ) ( $\bar{A}e$ )            ( $\bar{A}\bar{E}$ ) ( $\bar{A}e$ )  
                  ( $a\bar{E}$ ) ( $ae$ )            ( $a\bar{E}$ ) ( $ae$ )

**F**            составляем решетку Паннета и подсчитываем количество похожих на родителей.

Ответ:  $4/16 = 25\%$  розовых с промежуточной шириной листьев.

7. У человека ген негритянской окраска кожи « $\bar{A}$ » неполностью доминирует над геном европейской кожи « $a$ », и в гетерозиготном состоянии определяет мулатную окраску.

Заболевание серповидно-клеточная анемия проявляется неполностью доминантным геном « $\bar{E}$ », причём аллельные гены в гомозиготном состоянии « $\bar{E}\bar{E}$ » приводят к разрушению эритроцитов, и данный организм становится нежизнеспособным. Рецессивный аллель « $e$ » определяет нормальный признак.

Гены расположены в разных хромосомах.

Чистородная негроидная женщина от белого мужчины родила двух мулатов. Один ребёнок не имел признаков анемии, а второй умер от малокровия.

Определить генотип родителей и какова процентная вероятность рождения у них здорового ребенка?

Решение:

**P**            ♀  $\bar{A}\bar{A}\bar{E}e$             x            ♂  $aa\bar{E}e$   
Гаметы: ( $\bar{A}\bar{E}$ ) ( $\bar{A}e$ )            ( $a\bar{E}$ ) ( $ae$ )  
**F**             $\bar{A}a\bar{E}\bar{E}$   $\bar{A}a\bar{E}e$   $\bar{A}a\bar{E}e$   $\bar{A}aee$

Ответ: вероятность рождения здорового ребёнка в данной семье составляет  $1/4 = 25\%$

8. Рecessивные гены «а» и «с» определяют проявление таких заболеваний у человека, как глухота и альбинизм. Их доминантные аллели контролируют наследование нормального слуха «А» и синтез пигмента меланина «С».

Гены не сцеплены.

Оба родителя имеют нормальный слух. По цвету волос мать брюнетка, отец альбинос. У них родились три однояйцовых близнеца больные по двум признакам.

Какова процентная вероятность того, что следующий ребёнок в этой семье будет иметь оба заболевания?

Решение:

По правилу «чистоты гамет» определили, что родители дигетерозиготные.

**P** ♀ **AaCc** x ♂ **Aacc**  
 Гаметы (AC) (Ac) (Ac) (ac)  
 (Ac) (ac)

**F** **AACc, AAcc, AaCc, Aacc**  
**AaCc, Aacc, aaCc, aacc**

Ответ: вероятность рождения ребёнка имеющего оба заболевания составляет  $1/8 = 12,5\%$

9. Красная окраска плодов у помидор преобладает над жёлтой окраской, а круглая форма над грушевидной формой плода. Неаллельные гены находятся в разных парах хромосом.

В хозяйстве выращивали растения, имеющие плоды помидор красного цвета и круглой формы. Получили урожай: 7,2 тонны красных грушевидных и 7,2 тонны жёлтых круглых.

Определить вес круглых помидор красного цвета и жёлтых помидор грушевидной формы.

Решение:

По правилу «чистоты гамет» определили, что родители дигетерозиготные.

**P** **AaBb** x **AaBb**  
**F** **9A-B-** : **3aaB-** : **3A-bb** : **1aabb**  
 ? 7,2 7,2 ?  
 14,4 т.-----6ч.  
 x -----9ч. x = 21,6 т.

Ответ: 21,6 тонны красных круглых,

2,4 тонны жёлтых грушевидных.

10. Красная окраска плодов у помидор преобладает над жёлтой окраской, а круглая форма над грушевидной формой плода. Неаллельные гены находятся в разных парах хромосом.

В потомстве из семян было получено 1792 растения, из них 1110 имели красные круглые плоды, 322 растения имели красные грушевидные плоды.

Кроме того, в потомстве были получены растения с желтыми круглыми плодами и с желтыми грушевидными. Определить их количество.

Решение:

**P** **AaBb** x **AaBb**  
**F** **9A-B-** : **3aaB-** : **3A-bb** : **1aabb**  
 1110 ? 322 ?

Количество растений с красными плодами:  $1110 + 322 = 1432$ .

Количество растений с жёлтыми плодами:  $1792 - 1432 = 360$ .

Ответ: 270 с жёлтыми круглыми и 90 с жёлтыми грушевидными.

11. Мутации генов, вызывающие короткие конечности и длинную шерсть у овец, передаются в следующее поколение по рецессивному типу. Их доминантные аллели формируют нормальные конечности и короткую шерсть. Гены не сцеплены.

В хозяйство привезли баранов и овец, которые имели доминантные признаки. От их скрещивания было получено потомство в количестве 2336 ягнят. Из них 425 длинношерстных с

нормальными конечностями и 143 длинношерстных с короткими конечностями.

Определить количество короткошерстных ягнят и сколько среди них с нормальными конечностями?

Решение:

По правилу «чистоты гамет» определили, что родители дигетерозиготные.

<b>P</b>	<b>AaBb</b>	x	<b>AaBb</b>
Гаметы:	(AB) (Ab)		(AB) (Ab)
	(aB) (ab)		(aB) (ab)
<b>F</b>	<b><u>9A-B- : 3aaB-</u></b>	<b>:</b>	<b><u>3A-вв : 1aавв</u></b>
	425		143

1) находим количество длинношерстных ягнят:  $425 + 143 = 568$ .

2) находим количество короткошерстных:  $2336 - 568 = 1768$ .

3) определяем количество короткошерстных с нормальными конечностями (A-B-):

$$\begin{array}{r} 1768 \text{ ----- } 12 \text{ ч.} \\ x \text{ ----- } 9 \text{ ч.} \end{array} \quad x = 1326.$$

Ответ: 1326 короткошерстных с нормальными конечностями.

**12.** У гречиши ген высокого стебля ( $\bar{A}$ ) не полностью доминирует над геном низкого стебля, а ген раннего созревания семян ( $\bar{E}$ ) не полностью доминирует над геном позднего созревания. Гетерозиготные растения по данным признакам имеют среднюю длину стебля и среднее созревание семян.

Определить возможные генотипы и фенотипы родительских организмов, если в потомстве получены растения: 25% высоких, 25% низких, 50% средней длины, 50% среднего созревания и 50% позднего созревания.

Решение: 1) в потомстве наблюдается расщепление по признаку роста растения в соотношении 1:2:1. Это соотношение наблюдается при неполном доминировании гетерозиготных родителей ( $\bar{A}a \times \bar{A}a$ ).

2) соотношение по второму признаку – срокам созревания составляет 1:1. Это анализирующее расщепление ( $\bar{E}e \times ee$ ).

3) составляем схему скрещивания:

<b>P</b>	$\bar{A}\bar{a}\bar{E}e$	x	$\bar{A}aee$
Гаметы:	( $\bar{A}\bar{E}$ ) (ae)		( $\bar{A}e$ ) (ae)
	(a $\bar{E}$ ) ( $\bar{A}e$ )		
<b>F</b>	$\bar{A}\bar{A}\bar{E}e, \bar{A}\bar{A}ee, \bar{A}a\bar{E}e, \bar{A}aee$		
	$\bar{A}a\bar{E}e, \bar{A}aee, aa\bar{E}e, aaee$		

**13.** Изучаются две пары аутосомных генов, проявляющих независимое наследование.

Петух с розовидным гребнем и оперёнными ногами скрещивается с двумя курицами, имеющих розовидный гребень и оперённые ноги.

От первой курицы были получены цыплята с оперёнными ногами, из них часть имела розовидный гребень, а другая часть – простой гребень.

Цыплята от второй курицы имели розовидный гребень, и часть из них с оперёнными ногами и часть с неоперёнными.

Определить генотипы петуха и двух куриц.

Решение:

По условию задачи оба родителя имеют одинаковые фенотипы, а в потомстве от двух скрещиваний произошло расщепление по каждому признаку. Согласно закону Г. Менделя, только гетерозиготные организмы могут дать “расщепление” в потомстве. Составляем две схемы скрещивания.

1).	<b>P</b>	♂ <b>AaBb</b>	x	♀ <b>AaBb</b>
2).	<b>P</b>	♂ <b>AaBb</b>	x	♀ <b>AaBb</b>

14. У кроликов длинноухость полностью доминирует над короткоухостью, а черный цвет шерсти неполностью доминирует над белым, и гетерозиготные особи оказываются серого цвета.

Скрещиваются два серых длинноухих кролика. В потомстве оказались крольчата разного цвета шерсти, из них 6,25% белых короткоухих.

Определить процент серых длинноухих кроликов.

Решение: 1) выпишем доминантные и рецессивные гены:

$\bar{A}$  – ген черного цвета шерсти

$a$  – ген белого цвета шерсти

$B$  – ген отвечающий за длинноухость

$b$  – ген отвечающий за короткоухость

2) из условия задачи понятно, что родительские организмы доминантные ( $A-B-$ ), и в потомстве имеются особи с рецессивным генотипом ( $6,25\% = aabb$ ). По рецессивному потомству определили, что генотипы родителей гетерозиготные ( $\bar{A}aBb$ ).

Следует определить: сколько процентов в потомстве  $\bar{A}aB-$

3) составляем схему скрещивания:

**P**  $\bar{A}aBb$  x  $\bar{A}aBb$   
Гаметы: ( $\bar{A}B$ ) ( $ab$ ) ( $\bar{A}b$ ) ( $aB$ )  
( $aB$ ) ( $\bar{A}b$ ) ( $ab$ ) ( $\bar{A}B$ )

**F** составляем решетку Паннета.

Из таблицы определяем количество генотипов  $\bar{A}aB-$  =  $7/16 = 43,75\%$

Ответ: серых длинноухих кроликов 43,75%

15. Растение гороха гетерозиготного по трём парам генов « $AaBbCc$ » подвергли анализирующему скрещиванию. Гены расположены в аутосоме и проявляют независимое наследование.

Составить схему тригибридного скрещивания.

Решение:

**P**  $AaBbCc$  x  $aabbcc$   
Гаметы ( $ABC$ ) ( $ABc$ ) ( $AbC$ ) ( $abc$ )  
( $Abc$ ) ( $aBc$ ) ( $aBC$ )  
( $abC$ ) ( $abc$ )

**F**  $AaBbCc$ ,  $AaBbcc$ ,  $AabbCc$ ,  $Aabbcc$   
 $aaBbcc$ ,  $aaBbCc$ ,  $aabbCc$ ,  $aabbcc$ .

16. Скрещиваются два организма гетерозиготные по трём парам генов.

Составить схему скрещивания.

Решение:

**P**  $AaBbCc$  x  $AaBbCc$   
Гаметы ( $ABC$ ) ( $ABc$ ) ( $AbC$ ) ( $abc$ )  
( $Abc$ ) ( $aBc$ ) ( $aBC$ ) ( $ABC$ )  
( $AbC$ ) ( $aBc$ ) ( $aBC$ )  
( $abC$ ) ( $abc$ ) ( $abC$ ) ( $abc$ )

**F** 27  $A-B-C-$ , 9  $A-B-cc$ , 9  $A-bbC-$ , 9  $aaB-C-$   
3  $A-bbcc$ , 3  $aaB-cc$ , 3  $aabbC-$ , 1  $aabbcc$

17. Альбинизм у человека определяется рецессивным геном « $a$ », расположенным в аутосоме, а одна из форм диабета определяется рецессивным геном « $b$ », сцепленным с половой  $X$ -хромосомой.

Доминантные гены отвечают за пигментацию « $A$ » и нормальный обмен веществ « $B$ ».

$Y$ -хромосома генов не содержит.

Супруги имеют тёмный цвет волос. Матери обоих страдали диабетом, а отцы – здоровы.

Родился один ребёнок больной по двум признакам.

Определить процентную вероятность рождения в данной семье здоровых и больных детей.

Решение:

Применяя правило “чистоты гамет” определили, что родителей по цвету волос гетерозиготные (**Aa**).

По хромосомной теории пола определили, что отец болен диабетом  $X^B Y$ , а мать здорова  $X^B X^b$ .

**P**            **Aa X<sup>B</sup>X<sup>b</sup>**            x            **Aa X<sup>B</sup>Y**  
Гаметы (**A X<sup>B</sup>**) (**A X<sup>b</sup>**)            (**A X<sup>B</sup>**) (**A Y**)  
          (**a X<sup>B</sup>**) (**a X<sup>b</sup>**)            (**a X<sup>B</sup>**) (**a Y**)

**F**            составляем решётку Паннета

Ответ: шесть организмов из шестнадцати доминантны по двум признакам – вероятность рождения составляет  $6/16 = 37,5\%$ . Десять больных:  $10/16 = 62,5\%$ , из них двое больных по двум признакам:  $2/16 = 12,5\%$ .

## V. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕАЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОВ

1. Изучаются две пары неаллельных несцепленных генов определяющих окраску меха у горностая.

Доминантный ген одной пары «**A**» определяет чёрный цвет, а его рецессивный аллель «**a**» – голубую окраску.

Доминантный ген другой пары «**B**» способствует проявлению пигментации организма, его рецессивный аллель «**b**» не синтезирует пигмент.

При скрещивании чёрных особей между собой в потомстве оказались особи с голубой окраской меха чёрные и альбиносы.

Проанализировать генотипы родителей и теоретическое соотношение в потомстве.

Решение:

**P**            **AaBb**            x            **AaBb**  
**F**            **9A-B- : 3aaB- : 3A-bb : 1aabb**

Ответ: **9** чёрных, **3** альбиноса, **4** голубой окраски.

2. У душистого горошка две пары генов расположенных в разных хромосомах контролируют окраску цветка.

Рецессивные гены «**a**» и «**c**» формируют белый цвет. Наличие одного из двух доминантных генов не приводит к синтезу пигмента и цветки остаются белыми. При взаимодействии двух доминантных генов «**A**» и «**C**» развивается фиолетовая окраска

При опылении растений с белыми цветами, имеющих генотипы «**Aacc**» и «**aaCC**», в потомстве все цветки душистого горошка оказались с фиолетовой окраской.

При опылении фиолетовых между собой получены растения как с фиолетовыми, так и с белыми цветами.

Определить: в каком соотношении произошло данное расщепление?

Решение:

**P**            **AaCc**            x            **AaCc**  
**F**            **9A-C- : 3A-cc : 3aaC- : 1aacc**

Ответ: **9** фиолетовых, **7** белых.

3. Наследование формы гребня у кур определяется двумя парами неаллельных несцепленных генов. Доминантный ген одной пары контролирует розовидную форму гребня, доминантный ген другой пары формирует гороховидную форму. Взаимодействие двух доминантных генов в генотипе приводит к образованию ореховидного гребня.



Оба рецессивных гена определяют листовидную форму.

Петух и курица имели ореховидный гребень, а в потомстве произошло фенотипическое расщепление: 55 цыплят с ореховидным гребнем, 18 с гороховидным, 17 розовидных и 6 с листовидной формой.

Проанализировать характер наследования.

Решение:

<b>P</b>	<b>AaBb</b>	x	<b>AaBb</b>
<b>F</b>	<b><u>9A-B-</u></b> : <b><u>3A-вв</u></b> : <b><u>3aaB-</u></b> : <b><u>1aавв</u></b>		
	<b>55</b>	<b>17</b>	<b>18</b> <b>6</b>

Ответ: соотношение в потомстве **9:3:3:1**.

4. Две пары неаллельных несцепленных генов определяют различные формы плода у тыквы.

Две пары рецессивных генов «**aавв**» контролируют удлиненную форму. Наличие одного из двух доминантных генов «**A-вв**», «**aaB-**» будет определять сферическую форму плода. Взаимодействие двух доминантных генов «**A-B-**» приводит к образованию дисковидных форм.

При опылении растений имеющих дисковидные формы плода в потомстве произошло расщепление на различные сорта тыкв: дисковидные, сферические и удлиненные.

Каково соотношение этих сортов?

Решение:

<b>P</b>	<b>AaBb</b>	x	<b>AaBb</b>
<b>F</b>	<b><u>9A-B-</u></b> : <b><u>3A-вв</u></b> : <b><u>3aaB-</u></b> : <b><u>1aавв</u></b>		

Ответ: **9** дисковидных, **6** сферических,  
**1** удлиненной формы.

5. Наследование окраски оперения у кур определяется двумя парами неаллельных несцепленных генов, расположенных в аутосоме.

Доминантный ген одной пары «**A**» определяет синтез пигмента меланина, что обеспечивает наличие окраски. Рецессивный ген «**a**» не приводит к синтезу пигмента и куры оказываются белыми (перьевой альбинизм).

Доминантный ген другой пары «**B**» подавляет действие генов первой пары, в результате чего синтез пигмента не происходит и куры также становятся альбиносами. Его рецессивный аллель «**b**» падающего действия не оказывает.

Скрещиваются два организма гетерозиготные по двум парам аллелей.

Определить в потомстве соотношение кур с окрашенным оперением и альбиносов.

Решение: **B>A-**

<b>P</b>	<b>AaBb</b>	x	<b>AaBb</b>
<b>F</b>	<b><u>9A-B-</u></b> : <b><u>3A-вв</u></b> : <b><u>3aaB-</u></b> : <b><u>1aавв</u></b>		

Ответ: **13** белых, **3** окрашенных.

6. У овса цвет зёрен определяется двумя парами неаллельных несцепленных генов.

Один доминантный ген «**A**» определяет чёрный цвет, другой доминантный ген «**B**» – серый цвет. Ген чёрного цвета подавляет ген серого цвета.

Оба рецессивных аллеля определяют белый цвет зёрен.

При опылении организмов доминантных по двум признакам в потомстве оказались растения с чёрными, серыми и белыми зёрнами.

Определить генотипы родительских организмов и фенотипическое соотношение в потомстве.

Решение:

<b>P</b>	<b>AaBb</b>	x	<b>AaBb</b>
<b>F</b>	<b><u>9A-B-</u></b> : <b><u>3A-вв</u></b> : <b><u>3aaB-</u></b> : <b><u>1aавв</u></b>		

Ответ: 12 чёрных, 3 серых, 1 белый.

7. Наследование группы крови системы АВ0 у человека находится под контролем одного гена (I – «изогемагглютиноген»), у которого различают три аллеля:  $I^A, I^B, I^0$ .

Для реализации информации каждого аллеля необходимо присутствие доминантного аллеля (H) другого генного локуса. Рецессивные гены являются супрессорами для  $I^A$  и  $I^B$ .

Если человек рецессивен по H-системе, т.е. будет (hh), то аллели  $I^A$  и  $I^B$  не проявят своего действия и организмы с генотипами  $I^A I^0$  и  $I^B I^0$  будут распознаны как с первой группой крови, из-за отсутствия реакции агглютинации.

Определить группы крови у потомства, если родители имеют вторую и третью группы крови, и гетерозиготны по двум парам аллелей.

Решение:

<b>P</b>	$I^A I^0 Hh$	x	$I^B I^0 Hh$
Гаметы:	$(I^A H) (I^A h)$ $(I^0 H) (I^0 h)$		$(I^B H) (I^B h)$ $(I^0 H) (I^0 h)$

**F** составляем решетку Паннета и определяем группы крови, соответствующие данным генотипам.

Ответ: 7/16 – I группа крови; 3/16 – II группа крови; 3/16 – III группа крови; 3/16 с IV – группа крови.

8. Цвет кожи у человека определяется взаимодействием двух пар полимерных генов, причём цвет будет тем темнее, чем больше доминантных генов в генотипе. Люди европеоидной расы имеют рецессивный генотип.

От брака негра и женщины с белой кожей рождаются мулаты.

Какой цвет кожи может быть у детей от двух мулатных родителей?

Решение:

<b>P</b>	♀ $a_1 a_1 a_2 a_2$	x	♂ $A_1 A_1 A_2 A_2$
<b>F<sub>1</sub></b>	$A_1 a_1 A_2 a_2$ – мулаты		

<b>P</b>	$A_1 a_1 A_2 a_2$	x	$A_1 a_1 A_2 a_2$
<b>F<sub>2</sub></b>	1 негр, 4 тёмных мулата, 6 мулатов, 4 светлых мулата, 1 белый.		

9. У пастушьей сумки две пары полимерных генов влияют на формирование формы стручка.

При скрещивании дигетерозиготного организма с рецессивным в потомстве получилось 3/4 растений с треугольной формой стручка и 1/4 с округлой формой.

Составить схему скрещивания.

Решение:

Так, как в потомстве получилось 75% растений с треугольной формой стручка, то данный признак является доминантным.

<b>P</b>	$A_1 a_1 A_2 a_2$	x	$a_1 a_1 a_2 a_2$	
Гаметы	$(A_1 A_2) (a_1 A_2)$ $(A_1 a_2) (a_1 a_2)$		$(a_1 a_2)$	
<b>F</b>	$A_1 a_1 A_2 a_2$	$A_1 a_1 a_2 a_2$	$a_1 a_1 A_2 a_2$	$a_1 a_1 a_2 a_2$

## VI. СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ГЕНОВ

1. Два доминантных гена находятся в одной аутосоме и наследуются вместе. Рецессивные аллели расположены в гомологичной хромосоме.

Дигетерозиготный организм подвергли анализирующему скрещиванию.

Определить в потомстве процентное соотношение доминантных и рецессивных организмов.

Решение:

$$\text{P} \quad \begin{array}{c} \text{A} | \text{a} \\ \text{B} | \text{b} \end{array} \quad \times \quad \begin{array}{c} \text{a} | \text{a} \\ \text{b} | \text{b} \end{array}$$
$$\text{Гаметы} \quad \begin{array}{c} \text{A} | \quad \text{a} \\ \text{B} | \quad \text{b} \end{array} \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} | \\ \text{b} | \end{array}$$
$$\text{F} \quad \begin{array}{c} \text{A} | \text{a} \\ \text{B} | \text{b} \end{array} \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} | \text{a} \\ \text{b} | \text{b} \end{array}$$

Ответ: соотношение в потомстве 1:1 или 50% 50%.

2. У мухи дрозофилы серая окраска тела доминирует над черной окраской, нормальная длина крыльев доминирует над короткими крыльями.

При скрещивании мух дрозофил, имеющих серую окраску тела и нормальную длину крыльев, с черными короткокрылыми, в потомстве было получено: 50% особей серых короткокрылых и 50% черных с нормальными крыльями.

Составить схему скрещивания, если известно, что гены, определяющие цвет тела и длину крыльев, сцеплены.

Решение:

**A** – ген серой окраски тела у мух

**a** – ген черной окраски тела

**B** – ген нормальной длины крыльев

**b** – ген коротких крыльев

$$\text{P} \quad \begin{array}{c} \text{A} | \text{a} \\ \text{b} | \text{B} \end{array} \quad \times \quad \begin{array}{c} \text{a} | \text{a} \\ \text{b} | \text{B} \end{array}$$
$$\text{Гаметы} \quad \begin{array}{c} \text{A} | \quad \text{a} \\ \text{b} | \quad \text{B} \end{array} \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} | \\ \text{b} | \end{array}$$
$$\text{F} \quad \begin{array}{c} \text{A} | \text{a} \\ \text{b} | \text{b} \end{array} \quad \quad \begin{array}{c} \text{a} | \text{a} \\ \text{B} | \text{b} \end{array}$$

3. У человека ген, ответственный за синтез резус-белка в крови и ген, ответственный за форму эритроцитов, находятся в одной хромосоме.

Резус-положительный признак (**Rh+**) и круглая форма эритроцитов являются доминантными, а резус-отрицательный (**rh-**) и нарушение формы эритроцитов – рецессивные признаки.

В семье отец резус-положительный, имеющий нарушение в форме эритроцитов. Мать резус-отрицательная, имеющая округлые эритроциты.

Составить генетическую схему, если предположить, что в данной семье дети будут всегда доминантными: резус-положительными с округлой формой эритроцитов.

Решение:

**A** – ген круглой формы эритроцитов

**a** – ген нарушения в форме эритроцитов

**Rh+** резус положительная кровь

**rh-** резус отрицательная кровь

$$\text{P} \quad \begin{array}{c} \text{a} | \text{a} \\ \text{Rh+} | \text{Rh+} \end{array} \quad \times \quad \begin{array}{c} \text{A} | \text{A} \\ \text{rh-} | \text{rh-} \end{array}$$

Гаметы  $\begin{array}{c} a \\ Rh+ \end{array}$   $\begin{array}{c} A \\ rh- \end{array}$

**F**  $\begin{array}{c} a \\ Rh+ \end{array}$   $\begin{array}{c} A \\ rh- \end{array}$

## VII. РАЗРЫВ СЦЕПЛЕНИЯ ГЕНОВ. ПРОЦЕСС КРОССИНГОВЕРА

1. У кукурузы неокрашенные зёрна и их морщинистая форма являются рецессивными признаками по отношению к окрашенным зёрнам и гладкой форме. Гены обоих признаков расположены в одной хромосоме.

На участке скрещивали растения кукурузы, имеющие окрашенные зёрна гладкой формы, с растениями, семена которых неокрашены и форма их морщинистая.

За сезон было получено 1500 початков кукурузы. Из них 715 с гладкими окрашенными зёрнами, 731 морщинистых неокрашенных, 26 гладких неокрашенных, 28 окрашенных с морщинистой формой семян.

Определить расстояние между генами.

Решение:

**P**  $\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$   $\times$   $\begin{array}{c} a \\ b \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$

~~$\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$~~

кроссинговер

Гаметы  $\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$   $\begin{array}{c} a \\ b \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$

некроссоверные

$\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$

кроссоверные

**F**  $\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$   $\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$   $\begin{array}{c} a \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$   $\begin{array}{c} a \\ b \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$

Определяем расстояние между генами:

$$\frac{1500}{54} \text{ ----- } \frac{100\%}{x} \quad x = 3,6\%$$

Ответ: расстояние между генами, **1M = 1%**, составляет 3,6 морганиды.

2. Ген роста у человека и ген, определяющий количество пальцев на конечностях, находятся в одной группе сцепления на расстоянии 8 морганид.

Нормальный рост и пять пальцев на кистях рук являются рецессивными признаками. Высокий рост и полидактилия (шестипалость) проявляются по аутосомно-доминантному типу.

Жена имеет нормальный рост и по пять пальцев на руке. Муж гетерозиготен по двум парам аллелей, причём ген высокого роста он унаследовал от отца, а ген шестипалости от матери.

Определить в потомстве процентное соотношение вероятных фенотипов.

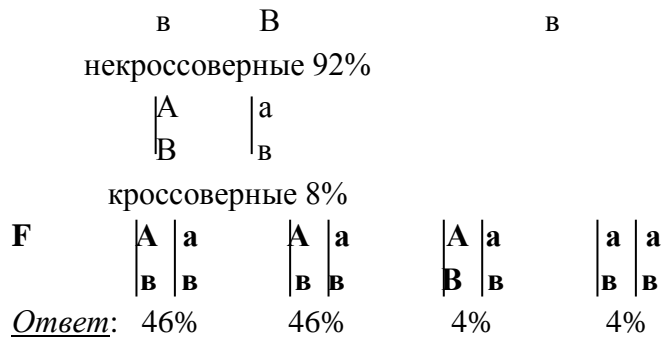
Решение.

**P**  $\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$   $\times$   $\begin{array}{c} a \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$

~~$\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$~~

кроссинговер

Гаметы  $\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$   $\begin{array}{c} a \\ B \end{array} \begin{array}{c} a \\ b \end{array}$

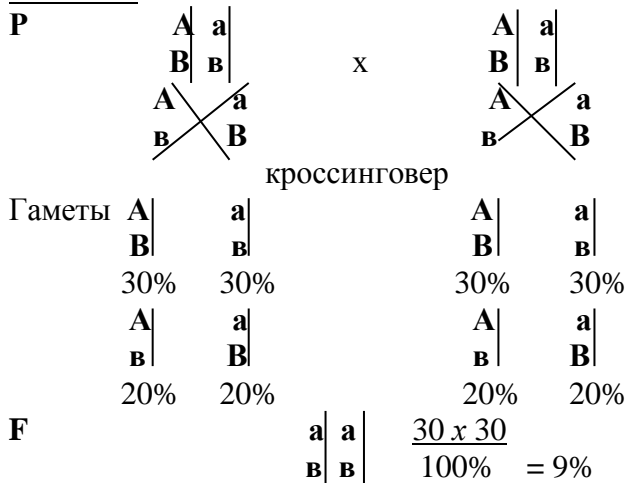


3. Скрещиваются два гетерозиготных организма, у обоих гены сцеплены в аутосоме и находятся на расстоянии 40 морганид.

В потомстве образуются некроссоверные особи, рецессивные по двум признакам.

Определить их количество.

Решение:



Ответ: 9% рецессивных организмов.

### VIII. ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ, ГЕНЫ СЦЕПЛЕНЫ С X-ХРОМОСОМОЙ

1. Два рецессивных гена, расположенных в различных участках X-хромосомы, вызывают у человека такие заболевания как гемофилия и дальтонизм. Их доминантные аллели контролируют нормальную свёртываемость крови и нормальное цветовое зрение.

Y-хромосома аллельных генов не содержит.

У невесты: мать страдает дальтонизмом, но по родословной имеет нормальную свёртываемость крови, а отец болен гемофилией, и имеет нормальное цветовое зрение.

У жениха проявляются оба заболевания.

Проанализировать потомство в данной семье.

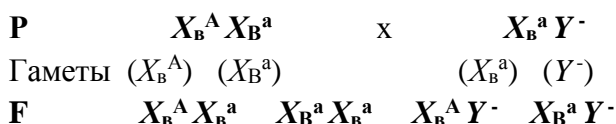
Решение:

$X^A$  – ген нормальной свёртываемости крови.

$X^a$  – ген гемофилии.

$X^B$  – ген нормального цветового зрения.

$X^b$  – ген дальтонизма.



Ответ: все дети имеют заболевание, 50% с гемофилией и 50% с дальтонизмом.

2. У человека два гена регулирующие две реакции обмена веществ сцеплены с X-хромосомой. Y-хромосома аллельных генов не содержит.

Доминантный ген одной пары (A) регулирует нормальный уровень сахара в крови, а его рецессивный аллель (a) развивает сахарный диабет. Доминантный ген другой пары (B) контролирует нормальное содержание мочевой кислоты, а рецессивная мутация (b) приводит к заболеванию, которая называется подагра.

В семье оба супруга имеют наследственные заболевания: мать страдает только подагрой, а отец болен только сахарным диабетом.

У них два ребенка: у одного ребенка проявились отцовские признаки, а второй ребенок полностью здоровый.

Составить генетическую схему скрещивания.

Решение:

В данном потомстве здоровый ребенок может быть только дочь; сыновья здоровыми быть не могут, т.к. они получают рецессивный ген от матери.

Вторая дочь имеет фенотипические признаки отца, следовательно, ее генотип ( $X_B^a X_B^a$ ).

<b>P</b>	$X_B^A X_B^a$	x	$X_B^a Y^-$
Гаметы	$(X_B^A)$	$(X_B^a)$	$(X_B^a)$ $(Y^-)$
<b>F</b>	$X_B^A X_B^a$	$X_B^A Y^-$	$X_B^a X_B^a$ $X_B^a Y^-$

3. Изучаются два гена регулирующие две реакции обмена веществ в организме человека. Оба гена сцеплены с X-хромосомой и расположены друг от друга на расстоянии 32 морганид.

Y-хромосома аллельных генов не содержит.

Доминантные гены контролируют нормальный обмен веществ. Их рецессивные аллели приводят к отклонениям в синтезе веществ и наследственным заболеваниям.

От здоровых родителей рождается больной ребёнок, имеющий два рецессивных гена в генотипе.

Какова процентная вероятность рождения следующего ребёнка с нарушением обмена веществ?

Решение: По условию задачи в данной семье больной ребёнок – это сын  $X^a Y^-$  т.к. от здорового отца дочери больными быть не могут.

Сын получил рецессивные гены от матери, следовательно, генотип матери гетерозиготный

Составляем схему скрещивания:

<b>P</b>	$X_B^A X_B^a$	x	$X_B^A Y^-$
Гаметы	$(X_B^A)$	$(X_B^a)$	$(X_B^A)$ $(Y^-)$
	некроссоверные 68%		
	$(X_B^A)$	$(X_B^a)$	
	кроссоверные 32%		
<b>F</b>	$X_B^A X_B^A$	$X_B^A X_B^a$	$X_B^A Y^-$ $X_B^a Y^-$
	17%	17%	17% 17%
	$X_B^A X_B^A$	$X_B^A X_B^a$	$X_B^A Y^-$ $X_B^a Y^-$
	8%	8%	8% 8%

Ответ: вероятность рождения больных детей составляет 33%, из них 17% больных по двум заболеваниям обмена веществ, 8% по одному заболеванию и 8% по другому.

4. У гречихи высокий рост стебля доминирует над низким ростом. Ген широких листьев доминирует над геном узких листьев. Ген раннего цветения доминирует над геном позднего цветения.

Ген роста у гречихи расположен в аутосоме и проявляет независимое наследование. Гены, ответственные за ширину листя и сроки цветение, сцеплены и локализируются в половой X-хромосоме на расстоянии 24 морганид.

Y-хромосома данных генов не имеет.

Женский гетерозиготный организм по трём парам аллелей ( $Aa X_C^B X_C^B$ ) подвергли опылению с рецессивным мужским организмом ( $aa X_C^B Y^-$ ).

Определить в потомстве процентное количество организмов рецессивных по трем признакам.

Решение:

**P**  $Aa X_C^B X_C^B$  х  $aa X_C^B Y^-$

**F** по решетке Паннета из 16 генотипов – два рецессивных некроссоверных по 8,5%.

Ответ: 17% рецессивных по трем признакам.

5. Изучаются три пары генов у человека (тригибридное скрещивание).

Одна пара расположена в половой X-хромосоме и контролирует окраску эмали зубов. Доминантный ген «С» определяет белый цвет, а рецессивный аллель «с» – тёмную эмаль.

Два других доминантных гена «А» и «В» отвечают за нормальный обмен веществ в организме, а их рецессивные мутации вызывают гормональные нарушения и различные заболевания: сахарный диабет «а», и кретинизм «в». Данные гены сцеплены в аутосоме и находятся на расстоянии 12 морганид.

Определить процентное соотношение больных детей по двум заболеваниям обмена веществ и по каждому отдельно, если известны генотипы родителей:

$A \begin{array}{|l} a \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline Y^- \end{array}$  х  $a \begin{array}{|l} a \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline X_C \end{array}$

Решение:

**P**  $A \begin{array}{|l} a \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline Y^- \end{array}$  х  $a \begin{array}{|l} a \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline X_C \end{array}$

Гаметы:  $A \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline Y^- \end{array}$   $A \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline X_C \end{array}$   
 $a \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline Y^- \end{array}$   $a \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline X_C \end{array}$   
 некроссоверные

$A \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline Y^- \end{array}$   $A \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline X_C \end{array}$   
 $a \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline Y^- \end{array}$   $a \begin{array}{|l} \\ \hline B \end{array} \begin{array}{|l} X_C \\ \hline X_C \end{array}$   
 кроссоверные

Ответ: в потомстве 56% больных, из них 44% по двум заболеваниям, 6% по одному заболеванию и 6% по другому.

## Список литературы

1. Гуляев Г.В. Задачник по генетике, - М., Колос, 1980.
2. Кочергин Б. Н., Кочергина Н. А. Задачи по молекулярной биологии и генетике, - Минск, Народная асвета, 1982.
3. Муртазин Г. М. Задачи и упражнения по общей биологии. – М., 1981.
4. Соколовская Б.Х. Сто задач по генетике и молекулярной биологии/ – Новосибирск: Наука, 1971. - 65 с.
5. Соколовская Б.Х. 120 задач по генетике. – М.: Центр РСПИ, 1991. –88с.
6. Щеглов Н. И. Сборник задач и упражнений по генетике. - МП Экоинвест, 1991.
7. Хелевин Н.В., Лобанов А.М., Колесова О.Ф. Учеб. пособие для биол. и мед. спец. вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 159 с.: ил.

МБУДО "РГСЮН", Балакирева Надежда Михайловна, Директор  
06.07.2021 09:08 (MSK), Сертификат № 01B3669900DFABF3B7484037CF1E83339B