

МУНИЦИПАЛЬНОЕ КАЗЕННОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ «КРАСНОБОРСКАЯ СРЕДНЯЯ  
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ШКОЛА»

	язык в трубочку	складывать язык в трубочку
Склонность к аллергическим реакциям	отсутствие аллергии	различные проявления аллергии
Склонность к облысению	раннее облысение	норма
Нарушения зрения	глаукома	норма
	астигматизм	норма
	катаракта	норма
	близорукость	норма
Резус-фактор крови	наличие (Rh <sup>+</sup> )	отсутствие (rh <sup>-</sup> )
<b><i>Неполное доминирование</i></b>		
<b>AA</b>	<b>aa</b>	<b>Aa</b>
нормальный гемоглобин	серповидноклеточная анемия	часть эритроцитов серповидная
курчавые волосы	прямые волосы	волнистые волосы

***Типы хромосомного определения пола***

Группы организмов	Определение пола		
	Женский	Мужской	Тип
Некоторые отряды насекомых (прямокрылые, жуки, клопы)	XX	XO	XO (мужской)
Двукрылые насекомые, млекопитающие, рыбы.	XX	X <sup>Y</sup>	X <sup>Y</sup> (мужской)
Бабочки, птицы, пресмыкающиеся, хвостатые амфибии	X <sup>Y</sup>	XX	X <sup>Y</sup> (женский)
Некоторые виды насекомых (моль)	XO	XX	XO (женский)

**Решение генетических задач**  
методические рекомендации

Составитель: учитель  
биологии Нагой Л.Н.

## I. Основные понятия генетики

Генетика – наука, обладающая особым языком, поэтому для ее освоения этому языку следует научиться. Понятия предлагаются не в алфавитном порядке, а в логической последовательности.

- ~ **Ген** – элементарная единица наследственности, участок молекулы ДНК, несущий информацию об одном белке, тем самым определяя развитие признака.
- ~ **Гомологичные хромосомы** – одинаковые по строению и составу; парные хромосомы.
- ~ **Локус** – участок хромосомы, в котором расположен ген.
- ~ **Аллель** – одно из возможных структурных состояний гена.
- ~ **Аллельные гены** – гены, расположенные в одинаковых локусах гомологичных хромосом и отвечающие за развитие одного и того же признака.
- ~ **Признак (фен)** – любая особенность организма (цвет глаз, длина ресниц, способность складывать язык в трубочку и др.).
- ~ **Альтернативные признаки** (взаимоисключающие) – контрастное проявление одного признака (владение рукой: правша – левша).

Признак (как и аллель гена) по своему проявлению может быть либо доминантным, либо рецессивным:

- ~ **Доминантный признак** – преобладающий, подавляющий проявление рецессивного.
- ~ **Рецессивный признак** – подавляемый.



- ~ **Фенотип** – совокупность всех признаков организма.
- ~ **Генотип** – совокупность всех генов организма. Генотип всегда содержит парное число генов. Удобнее считать, что любой изучаемый организм получен в результате полового размножения, т.е. развивается из зиготы.
- ~ **Зигота** – оплодотворенная яйцеклетка, содержащая диплоидный набор хромосом, т.е. парное число генов. Так как ее гомологичные хромосомы могут содержать как одинаковые, так и разные аллели гена, различают несколько видов зигот, а, следовательно, и организмов. Говорят о том, что в зиготе закладываются разные генотипы.

## Основные положения хромосомной теории наследственности (Томас Морган)

1. Гены располагаются в хромосомах; различные хромосомы содержат неодинаковое число генов, причем набор генов каждой из негомологичных хромосом уникален.
2. Каждый ген имеет определенное место (локус) в хромосоме; в одинаковых локусах гомологичных хромосом находятся аллельные гены.
3. Гены расположены в хромосомах в определенной линейной последовательности.
4. Гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно, образуя одну группу сцепления; число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом и постоянно для каждого вида организмов.
5. Сцепление генов может нарушаться в процессе кроссинговера; это приводит к образованию рекомбинантных (кроссоверных) хромосом.
6. Частота кроссинговера является функцией расстояния между генами – чем больше расстояние, тем больше величина кроссинговера (прямая зависимость).
7. Каждый вид имеет характерный только для него набор хромосом – кариотип.

### Менделирующие признаки человека (аутосомное наследование)

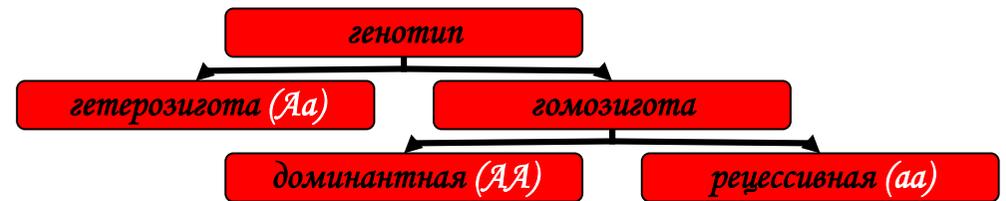
Признак	доминантный	рецессивный
<i>Полное доминирование</i>		
Цвет волос	темные нерыжие	светлые рыжие
Пигментация кожи и ее производных	нормальная (пигментированная)	альбинизм
Цвет глаз	карие	голубые, серые
Размер глаз	большие	маленькие
Толщина губ	толстые	тонкие
Форма носа	«римский» с горбинкой	«греческий» прямой
Количество пальцев	шесть (полидактилия)	пять
Длина пальцев	брахидактилия (короткие)	нормальная
Веснушки на лице	есть веснушки	нет веснушек
Рост тела	низкий	нормальный
Слух	нормальный	врожденная глухота
Углеводный обмен	норма	сахарный диабет
Ведущая рука	правша	левша
Положение мочки уха	свободная мочка	приросшая мочка
Длина ресниц	длинные	короткие
Форма подбородка	с треугольной ямочкой	гладкий
Подвижность языка	способность складывать	неспособность

## Список литературы:

1. Захаров, В.Б. Общая биология: Учеб. для 10-11 кл. общеобразов. учеб. заведений / В.Б. Захаров, С.Г. Мамонтов, Н.И. Сонин. – 2-е изд., дораб. – М.: Дрофа, 2002.
2. Киселева, З.С. Генетика: Учеб. пособие по факультатив.курсу для учащихся X кл./ З.С.Киселева, А.Н.Мягкова. – М.:Просвещение,1983. – 175с.
3. Лернер, Г.И. Общая биология (10-11 классы): Подготовка к ЕГЭ. Контрольные и самостоятельные работы/ Г.И. Лернер. – М.:Эксмо,2007. – 240с.
4. Лернер, Г.И. Общая биология. Поурочные тесты и задания.10-11 класс/ Г.И.Лернер. – М.:Аквариум,1998. – 240с.
5. Медицинская генетика: Учебник/ Н.П.Бочков, А.Ю.Асанов, Н.А.Жученко и др.; Под ред. Н.П.Бочкова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 192с.
6. Муртазин, Г.М. Задачи и упражнения по общей биологии. Пособие для учащихся IX-X классов./Г.М. Муртазин. – М.:Просвещение,1972. – 315с.
7. Раимова, Е.К. Генетика: учебное пособие для абитуриентов (основные понятия, краткие ответы на вопросы программы, задачи, образцы и методика решения задач)/ Е.К. Раимова, Г.Н. Соловых – Оренбург,2006. – 76с.
8. Элективный курс «Что Вы знаете о своей наследственности?». 9-11 классы./ Сост. И.В.Зверева. – Волгоград: ИТД «Корифей». – 128с.

Различают следующие варианты генотипов:

- Гомозигота** – зигота, содержащая одинаковые аллели данного гена. Различают два вида гомозигот: гомозигота по доминантному признаку (AA) и гомозигота по рецессивному признаку (aa). /Следовательно, **гомозиготный организм** – организм, гомологичные хромосомы которого содержат одинаковые аллели данного гена./
- ~ **Гетерозигота** – зигота, содержащая разные аллели данного гена (Aa). /**Гетерозиготный организм** – организм, гомологичные хромосомы которого содержат разные аллели данного гена./

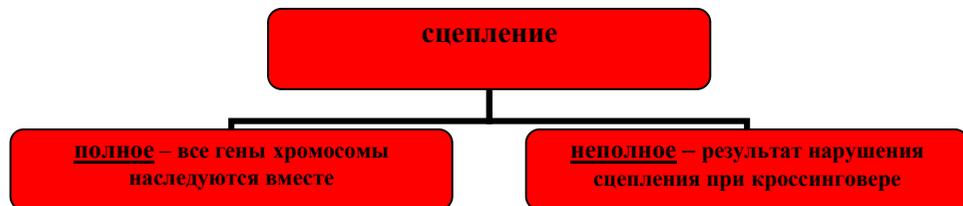


- ~ **Доминирование** – форма взаимодействия между разными (доминантным и рецессивным) аллелями гена. Доминирование может быть **полным**, при котором доминантный аллель полностью подавляет действие рецессивного, и **неполным**, при котором гетерозиготные особи обладают промежуточным проявлением признака.



- ~ **Гибридизация** – скрещивание организмов, отличающихся друг от друга по одному или нескольким признакам. Потомки от такого скрещивания именуется **гибридами**. Подобное скрещивание может быть **моногибридным** (моно- – один), **дигибридным** (ди- – два), **полигибридным** (поли- – много).
- ~ **Анализирующее скрещивание** – скрещивание исследуемой особи с доминантными признаками с рецессивной гомозиготой, производимое для установления генотипа первой.
- ~ **Сцепленное наследование** – совместное наследование генов, расположенных в одной хромосоме.

~ **Группа сцепления** – совокупность генов одной хромосомы. Располагаются линейно, контролируют развитие разных признаков.



Проверьте себя:

1. Какие из перечисленных признаков являются альтернативными:

- |                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| 1) прямые волосы;       | 6) голубые глаза;    |
| 2) маленькие глаза;     | 7) темные волосы;    |
| 3) отсутствие веснушек; | 8) волнистые волосы; |
| 4) большие глаза;       | 9) карие глаза;      |
| 5) светлые волосы;      | 10) веснушки.        |

Сколько признаков рассматривается в предложенном задании? Какие?

Выпишите парами номера альтернативных признаков.

2. Перечисляем несколько генов кролика:

черной окраски меха (1), висячего уха (2), мохнатого меха (3), гладкого меха (4), глухоты (5), белой окраски меха (6).

Определите: а) какие из них являются аллельными генами;

б) для каких из перечисленных генов не указаны аллельные гены?

3. Даны символические обозначения нескольких генов: A, D, b, f, F, a, B, c.

Выпишите пары аллельных генов.

4. Распределите в три столбца (какие?) предложенные генотипы:

Bb, aa, AABB, AaBb, DD, aabb, AABBD, bb, Dd, AA, AaBbDd, aabbdd.

5. Сколько аллелей одного гена содержится в:

- |                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| а) в яйцеклетке | в) в соматической клетке |
| б) в зиготе     | г) в сперматозоиде       |

6. Ответьте на вопросы, используя данные таблицы:

**Доминантный признак**

**Рецессивный признак**

красная окраска венчика гороха

белая окраска венчика гороха

черная окраска меха кролика

белая окраска меха кролика

карий цвет глаз человека

голубой цвет глаз человека

- У гороха посевного красные цветки. Что можно сказать о его фенотипе? Сколько и какие генотипы может иметь такое растение? Запишите их.
- У кролика белый мех. Сколько и какие генотипы может иметь такой кролик? Запишите их.

F<sub>2</sub>:

гаметы ♀ гаметы ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB <i>орех</i>	AABb <i>орех</i>	AaBB <i>орех</i>	AaBb <i>орех</i>
Ab	AABb <i>орех</i>	AAbb <i>горох</i>	AaBb <i>орех</i>	Aabb <i>горох</i>
aB	AaBB <i>орех</i>	AaBb <i>орех</i>	aaBB <i>розов</i>	aaBb <i>розов</i>
ab	AaBb <i>орех</i>	Aabb <i>горох</i>	aaBb <i>розов</i>	aabb <i>лист</i>

**Расщепление 9:3:3:1**

Поскольку независимое расщепление каждой пары признаков в соотношении 3:1 не соблюдается, в задаче рассматривается пример комплементарного взаимодействия неаллельных генов.

Ответ: в потомстве F<sub>2</sub> будет 9 частей особей с ореховидным гребнем, 3 части – с гороховидным, 3 части – с розовидным и 1 часть – с листовидным.

<b>F<sub>1</sub>:</b>	<b>гаметы</b>				
	<b>AC</b>	AACC <i>серая</i>	AACc <i>серая</i>	AaCC <i>серая</i>	AaCc <i>серая</i>
	<b>Ac</b>	AACc <i>серая</i>	AAcc <i>черная</i>	AaCc <i>серая</i>	Aacc <i>черная</i>
	<b>aC</b>	AaCC <i>серая</i>	AaCc <i>серая</i>	aaCC <i>белая</i>	aaCc <i>белая</i>
	<b>ac</b>	AaCc <i>серая</i>	Aacc <i>черная</i>	aaCc <i>белая</i>	aacc <i>белая</i>

**Ф** (фенотипических класса) – **3:** 9серых:3 черных:4 белых

Поскольку в потомстве дигетерозигот происходит расщепление 9:3:4, то наследование окраски шерсти мышей – результат эпистатического взаимодействия генов. Ген-супрессор - а, а>С.

Ответ: в потомстве происходит расщепление 9:3:4 (9серых:3 черных:4 белых). Тип наследования – рецессивный эпистаз.

**3. Все цыплята, полученные в результате скрещивания курицы с гороховидным и петуха с розовидным гребнем, имеют ореховидный гребень, который формируется благодаря взаимодействию двух неаллельных доминантных гена А и В. Каким будет потомство, полученное от скрещивания гибридных особей? (Известно, что простой листовидный гребень имеют рецессивные гомозиготные особи)**

признак (форма гребня кур)	ген	генотип
гороховидный	A	A-bb
розовидный	B	aaB-
листовидный	a, b	aabb
ореховидный	A, B	A-B-

*Решение:* Поскольку все гибриды первого поколения единообразны, их родители гомозиготны.

*горохов.* ♀ AA**bb** × *розовидн.* ♂ aa**BB**

**G:** **Ab**      **aB**

**F<sub>1</sub>:** **AaBb** – все с ореховидным гребнем

*орех.* **P(F<sub>1</sub>):** ♀ AaBb × ♂ AaBb

**G:** **AB** **aB**      **AB** **aB**  
**Ab** **ab**      **Ab** **ab**

- Сколько и какие фенотипы могут иметь кролики, описанные в таблице? Запишите их.
- У человека карие глаза. Сколько и какие генотипы может иметь человек с таким фенотипом? А если глаза голубые? Запишите их.
- 7. Слева предлагается условие задачи, справа – логическое следствие из этого условия. Заполните пропуски в следствиях:**

ВАРИАНТ I		ВАРИАНТ II	
условие	следствие	условие	следствие
1. Дано: гетерозиготный темноволосый отец и мать - блондинка	Следовательно, доминирует ген _____, а рецессивен ген _____	1. Дано: в F <sub>1</sub> от скрещивания длинноносых и коротконосных <b>муравьедов</b> получали только коротконосных особей	Следовательно, доминирует ген _____, а рецессивен ген _____
2. Дано: в потомстве кота Василия и пяти черных кошек были черные и серые котята, причем серых было в несколько раз больше	Следовательно, доминирует ген _____, рецессивен ген _____, а кот Василий имеет _____ окраску и генотип _____	2. Дано: все потомство доброй собаки Греты было добрым в нескольких поколениях	Следовательно, доминирует ген _____, рецессивен ген _____, а Грета имеет _____ характер и генотип _____

## II. Основные законы генетики

- ~ **Правило чистоты гамет:** при образовании половых клеток в каждую гамету попадает только один ген из каждой аллельной пары. Чистота гамет обеспечивается независимым расхождением хромосом при мейозе.
- ~ **Правило единообразия гибридов первого поколения (первый закон Менделя):** гибриды первого поколения (F<sub>1</sub>), полученные при скрещивании гомозиготных особей, единообразны по генотипу и фенотипу и обладают доминантным признаком.  
(Нужно уметь применять не только прямые, но и обратные формулировки законов Менделя. В данном случае это звучит так: если гибриды единообразны (одинаковы) по фенотипу (и генотипу), то их родители гомозиготны)
- ~ **Закон расщепления (второй закон Менделя):** в потомстве (F<sub>2</sub>), полученном при скрещивании гибридов первого поколения (F<sub>1</sub>), наблюдается расщепление



генов. Таким образом наследуется цвет кожи человека, окраска зерна пшеницы.

- ~ **Комплементарность** – такое взаимодействие неаллельных генов, которое приводит к новому проявлению признака. При скрещивании дигетерозигот возможны три типа расщепления: 9:7, 9:6:1, 9:3:3:1 (в этом случае независимое расщепление каждой пары признаков в соотношении 3:1 не соблюдается)
- ~ **Эпистаз** - такое взаимодействие неаллельных генов, при котором действие генов одной аллельной пары подавляется генами другой пары. Может быть *доминантным* ( $A > B$ ,  $B > A$ ), при котором в результате скрещивания дигетерозигот происходит расщепление 13:3 или 12:3:1 и *рецессивным* ( $a > B$ ,  $b > A$ ), в этом случае расщепление в потомстве дигетерозиготных особей 9:3:4. Гены – подавители называют **супрессорами**.

#### Примеры задач:

**1. При скрещивании лошадей серой и рыжей масти в первом поколении все потомство оказалось серым. Во втором поколении на каждые 16 лошадей в среднем появлялось 12 серых, 3 вороных и 1 рыжей масти. Определите тип наследования масти у лошадей и установите генотипы указанных животных.**

Из условия задачи следует: поскольку в  $F_2$  происходит расщепление в соотношении 12:3:1, речь идет о доминантном эпистазе. Поскольку первое поколение гибридов единообразно, исходные особи гомозиготны. Можно также предположить, что серая окраска проявляется всегда в присутствии обоих доминантных аллелей, причем ген А (супрессор) подавляет действие гена В. Это рассуждение позволяет сделать запись условия.

признак (масть лошади)	гены	генотип
серая	$A > B$	$A-B-$ , $A-bb$
вороная	$a, B$	$aB-$
рыжая	$a, b$	$aabb$

Решение:

$P: \text{♀ } A A B B \times \text{♂ } a a b b$

$G: \begin{matrix} \text{AB} & \text{ab} \end{matrix}$

$F_1: A a B b$  – все серые

$P(F_1): \text{♀ } A a B b \times \text{♂ } A a B b$

$G: \begin{matrix} \text{AB} & \text{aB} & \text{AB} & \text{aB} \\ \text{Ab} & \text{ab} & \text{Ab} & \text{ab} \end{matrix}$

Можно записать генотипы не в общем виде, но особого значения в данном случае это не имеет.

**8. При скрещивании кроликов с мохнатой и гладкой шерстью все крольчата в потомстве имели мохнатую шерсть. Какая закономерность наследования проявилась при этом?**

- а) независимого наследования;      в) единообразия первого поколения;
- б) неполное доминирование;              г) расщепления признаков.

#### III. Символы, используемые при решении генетических задач:

- ~ **P** - родительские организмы;
- ~ ♀ - женский организм («мама»);
- ~ ♂ - мужской организм («папа»);
- ~ (×) – знак скрещивания;
- ~ **G (g)** – гаметы, обводятся кружочком; удобнее: кружочком – яйцеклетки, кружочком с хвостиком – сперматозоиды (спермии).
- ~ Организмы, полученные от скрещивания особей с различными признаками, - **гибриды**, а совокупность таких гибридов – **гибридное поколение**, которое обозначают латинской буквой **F** с цифровым индексом, соответствующим порядковому номеру гибридного поколения. Например: первое поколение (дети) обозначают  $F_1$ ; если гибридные организмы скрещиваются между собой, то их потомство обозначают  $F_2$  (внуки), третье поколение (правнуки) –  $F_3$  и т.д.

#### IV. Памятка для решения задач по генетике

1. Прочитав текст задачи, запишите ее условие в виде таблицы:

признак	ген	генотип

Помните о том, что в *первой колонке* указывается альтернативное проявление признака (при моногибридном скрещивании) или признаков (при ди- и полигибридных скрещиваниях), причем сначала записывается доминантный признак, потом – рецессивный, и так для каждой пары альтернативных признаков; в *третьей колонке* – ВСЕ возможные генотипы особей с данным фенотипом.

2. Определите тип задачи: прямая (если из условия известно, какими признаками обладают родители, и спрашивается, какими могут быть их дети) или обратная (если в условии говорится о фенотипе детей и требуется определить генотипы и (или) фенотипы родителей)

3. Если задача прямая, запишите с помощью общепринятых символов схему скрещивания.

4. Если задача обратная, под таблицей с условием запишите данные о генотипах и фенотипах потомков, применяя символы, обозначающие расщепление:

$F_1: n \text{ (фенотип/ возможный генотип)} : m \text{ (фенотип/ возможный генотип)}$

Ниже запишите схему скрещивания.

5. Определите, какие генетические законы и закономерности проявляются в данной задаче. Вспомните прямую и обратную формулировку закона, спроецируйте их на задачу, сделайте выводы.

6. Помните: гетерозиготы всегда образуют четное количество сортов гамет, равное  $2^n$ , где  $n$  – число «гетеро» пар аллельных генов ( $Aa, AaBb, n = 1, 2^1=2, \Rightarrow$  два сорта гамет;  $AaBb, AabbDd, n = 2, 2^2=4, \Rightarrow$  4 сорта гамет;  $AaBbDd, n=3, 2^3= 8, \Rightarrow$  8 сортов гамет и т.д.). Гаметы образуются в соответствии с **Правилом чистоты гамет!!!**

7. При анализирующих скрещиваниях число образованных в поколении гибридов фенотипических классов указывает на число сортов гамет, образуемых гетерозиготной особью, при этом все фенотипические классы будут представлены в равных пропорциях (1:1; 1:1:1:1 и т.д.)

### V. Как решать типовые задачи.

Обучение решению задач по генетике начинается с урока, на котором приводится объяснение результатов экспериментов Менделя по изучению наследования признаков гороха.

#### Моногибридное скрещивание

Решение любой задачи начинают с записи ее условия. Условие генетической задачи удобнее оформлять в виде таблицы:

признак	ген	генотип

В первую колонку заносится информация о признаке, исследуемом в задаче. При этом нужно помнить о том, что любой признак может иметь альтернативное проявление:

За формирование данного признака отвечает ген, который существует в состоянии двух аллелей – доминантного и рецессивного. Из результатов менделевского скрещивания следует, что желтый цвет доминирует над зеленым, то есть можно смело внести в таблицу и обозначения аллелей гена, отвечающих за развитие альтернативных признаков: развитие желтого цвета определяет доминантный аллель гена **A**, зеленый – рецессивный аллель **a**. Остается записать возможные генотипы растений с желтыми и зелеными семенами. Зная о том, что генотип всегда содержит парное количество генов, можно предположить, что растение с зелеными семенами может иметь только один генотип – особи, гомозиготной по рецессивному признаку **aa**, растение с желтыми семенами может иметь два генотипа: особи, гомозиготной по доминантному признаку **AA** и гетерозиготы **Aa**.

В результате получается следующая запись:

признак (цвет семян гороха)	ген	генотип
желтый	<b>A</b>	<b>AA, Aa</b>
зеленый	<b>a</b>	<b>aa</b>

♀ \ ♂ гаметы / гаметы	<b>AX<sup>H</sup></b>	<b>aX<sup>H</sup></b>	<b>AY</b>	<b>aY</b>
<b>AX<sup>H</sup></b>	AA <sup>H</sup> X <sup>H</sup> норм. пигментация, здоров	Aa <sup>H</sup> X <sup>H</sup> норм. пигментация, здоров	AA <sup>H</sup> Y норм. пигментация, здоров	Aa <sup>H</sup> Y норм. пигментация, здоров
<b>aX<sup>H</sup></b>	Aa <sup>H</sup> X <sup>H</sup> норм. пигментация, здоров	aa <sup>H</sup> X <sup>H</sup> альбинос, здоров	Aa <sup>H</sup> Y норм. пигментация, здоров	aa <sup>H</sup> Y альбинос, здоров
<b>AX<sup>h</sup></b>	AA <sup>H</sup> X <sup>h</sup> норм. пигментация, здоров	Aa <sup>H</sup> X <sup>h</sup> норм. пигментация, здоров	AA <sup>H</sup> Y норм. пигментация, гемофилик	Aa <sup>H</sup> Y норм. пигментация, гемофилик
<b>aX<sup>h</sup></b>	Aa <sup>H</sup> X <sup>h</sup> норм. пигментация, здоров	aa <sup>H</sup> X <sup>h</sup> альбинос, здоров	Aa <sup>H</sup> Y норм. пигментация, гемофилик	aa <sup>H</sup> Y альбинос, гемофилик
дети:	дочери		сыновья	

Из полученных результатов видно, что в этой семье только в 3/16 случаев может родиться здоровым и с нормальной пигментацией сын; во всех остальных случаях сын может унаследовать либо по одной, либо сразу обе аномалии – так и произошло (вероятность рождения сына – альбиноса и гемофилика составляет 1/16, т.е 6,25%). Вероятность рождения здоровых и с нормальной пигментацией дочерей составляет 6/16, то есть 37,5%.

*Ответ:* вероятность рождения здоровых и с нормальной пигментацией дочерей составляет 6/16, то есть 37,5%.

**3. Врожденное отсутствие зубов предположительно наследуется как доминантный, сцепленный с X-хромосомой признак. Какое потомство следует ожидать от брака больной женщины и здорового мужчины?**

Следует принять во внимание, что в подобном случае генотип женщины однозначно определить нельзя, поэтому правильнее рассмотреть оба варианта:  $X^A X^A$  и  $X^A X^a$ , генотип мужчины -  $X^a Y$ .

**5. Женщина, носительница рецессивного гена дальтонизма, вышла замуж за здорового мужчину. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, ожидаемого потомства, соотношение генотипов и фенотипов.**

#### Взаимодействие генов.

Проявление одного и того же признака может определяться двумя и более парами генов. Различают следующие типы взаимодействия генов:

~ **Полимерия** – тип взаимодействия неаллельных генов, при котором степень проявления признака зависит от числа доминантных аллелей

Ответ: в этой семье с вероятностью 50% могут родиться как здоровые, так и больные дети.

2. У человека ген, вызывающий гемофилию (несвертываемость крови), рецессивен и находится в X-хромосоме, а альбинизм (отсутствие пигмента) обусловлен аутосомным рецессивным геном. У родителей, нормальных по этим двум признакам, родился сын - альбинос и гемофилик. Оцените вероятность рождения в этой семье здоровых дочерей.

признак	ген	генотип
1. пигментация	норма	А
	альбинизм	а
2. свертываемость крови	норма	X <sup>H</sup> X <sup>H</sup> , X <sup>H</sup> X <sup>h</sup> , X <sup>H</sup> Y
	гемофилия	X <sup>h</sup> X <sup>h</sup> , X <sup>h</sup> Y
		X <sup>h</sup>

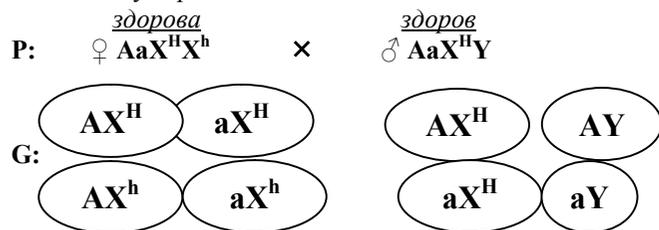
нормальная пигментация, здоровы:  
♀ A-X<sup>H</sup>X<sup>H</sup>;  
♂ A-X<sup>H</sup>Y

альбинос, гемофилик

F<sub>1</sub>: ♂ aaX<sup>H</sup>Y

Решение:

Сын мог родиться альбиносом, только получив по одному рецессивному гену от каждого из родителей, ⇒ его родители гетерозиготны по первому признаку. От отца сын получил Y-хромосому, не несущую ген, отвечающий за свертываемость крови, ⇒ он унаследовал X-хромосому с «больным» геном от матери. Тогда определяем генотипы родителей: ♀ AaX<sup>H</sup>X<sup>h</sup>, ♂ AaX<sup>H</sup>Y и записываем схему скрещивания:



F<sub>1</sub>:

Следующий шаг – запись схемы скрещивания. Для эксперимента Мендель брал самоопыляющееся растение – горох, из чего следует, что исходные растения не имели возможности приобрести «чужие» гены, т.е. были гомозиготны. Подобные растения принято называть чистыми линиями. По условию, Мендель скрещивал растения с желтыми и зелеными семенами, меняя окраску семян «мамы» и «папы», получая при этом одинаковые результаты, т.е. пол родительских особей не имеет значения. В схеме скрещивания указываются фенотипы родительских особей:

(фенотип) желтые × зеленые

P:(генотип) ♀ AA × ♂ aa

Поскольку данными фенотипами обладают половозрелые особи, они способны продуцировать специализированные клетки – гаметы, содержащие гаплоидный набор хромосом, а значит и непарное число генов. Гаметы образуются в результате мейоза, при котором гомологичные хромосомы в норме не могут попасть в одну клетку, то есть половые клетки образуются в соответствии с Правилом чистоты гамет: при образовании половых клеток в каждую гамету попадает только один ген из каждой аллельной пары. Чистота гамет обеспечивается независимым расхождением хромосом при мейозе.

С помощью этого правила записываются гаметы родительских особей:

желтые × зеленые

P: ♀ AA × ♂ aa



Знать заранее, какой из спермиев примет участие в оплодотворении данной яйцеклетки, невозможно. Поэтому рассматриваются все возможные ситуации. Однако, постольку, поскольку родительские особи гомозиготны и из записи видно, что каждая из них образует только по одному сорту гамет (поэтому в дальнейшем для гомозиготы записывают только одну гамету), в любом случае при оплодотворении возможен только один результат:

F<sub>1</sub>:(генотип) Aa.

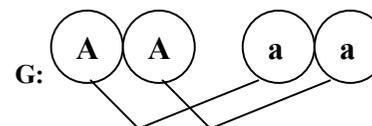
(фенотип) желтые

Итак, после всех рассуждений должна получиться следующая запись:

признак (цвет семян гороха)	ген	генотип
желтый	A	AA, Aa
зеленый	a	aa

желтые × зеленые

P: ♀ AA × ♂ aa



F<sub>1</sub>: Aa - 100%  
желтые

Подобным образом анализируется продолжение эксперимента Менделя, в котором он скрещивает между собой гибриды первого поколения. Для удобства определения генотипов гибридов второго поколения используют решетку Пеннета, в которой по вертикали указываем гаметы «мамы», а по горизонтали – «папы»; в таблице указываем и фенотипы гибридов второго поколения. Запись принимает следующий вид:

P(F<sub>1</sub>): ♀ Aa × ♂ Aa  
G:

F<sub>2</sub>:

♀ \ ♂	гаметы A	гаметы a
гаметы A	AA желтые	Aa желтые
гаметы a	Aa желтые	aa зеленые

**Расщепление по генотипу: 1:2:1**

**Расщепление по фенотипу: 3:1**

**Примеры задач:**

1. У кареглазого мужчины и голубоглазой женщины родились три кареглазые девочки и один голубоглазый мальчик. Ген карих глаз доминирует. Каковы генотипы родителей?

- а) отец AA, мать Aa
- б) отец aa, мать AA
- в) отец aa, мать Aa
- г) отец Aa, мать aa
- д) отец AA, мать aa

признак (цвет глаз человека)	ген	генотип
карий	A	AA, Aa
голубой	a	aa

карегл. голуб.

F<sub>1</sub>: 3 A- : 1 aa

Решение:

В том случае, когда гены ответственные за формирование какого-либо признака, расположены в аутосомах, наследование осуществляется независимо от того, какой из родителей (мать или отец) является носителем изучаемого признака. Когда признаки определяются генами, лежащими в половых хромосомах, следует учитывать, с какой именно половой хромосомой сцеплен данный признак: если с X-хромосомой, то признак может проявляться у особи обоих полов, если с Y-хромосомой, то только у особи одного пола (если речь в задаче идет о человеке – мужского).

**Примеры задач:**

1. Классическая форма гемофилии передается как рецессивный, сцепленный с X - хромосомой признак. Мужчина, больной гемофилией, вступает в брак со здоровой женщиной, отец которой страдал гемофилией.

Дайте прогноз относительно здоровья их будущих детей.

признак (свертываемость крови)	ген	генотип
норма	X <sup>H</sup>	♀ X <sup>H</sup> X <sup>H</sup> , X <sup>H</sup> X <sup>h</sup> ♂ X <sup>H</sup> Y
гемофилия	X <sup>h</sup>	♂ X <sup>h</sup> Y

Решение:

Известно, что у женщины с нормальной свертываемостью крови был отец – гемофилик. Рассуждая об определении пола, можно прийти к выводу, что от отца дочь получает X-хромосому, в данном случае – содержащую ген гемофилии, т.е. генотип женщины X<sup>H</sup>X<sup>h</sup> (говорят, что она – *носительница гена гемофилии*).

P: ♀ X<sup>H</sup>X<sup>h</sup> × ♂ X<sup>h</sup>Y

G:

F<sub>1</sub>:

♀ \ ♂	гаметы X <sup>h</sup>	гаметы Y
гаметы X <sup>H</sup>	X <sup>H</sup> X <sup>h</sup> ♀ норма	X <sup>H</sup> Y ♂ норма
гаметы X <sup>h</sup>	X <sup>h</sup> X <sup>h</sup> ♀ гемофилия	X <sup>h</sup> Y ♂ гемофилия

7. У человека большие глаза и римский нос (с горбинкой) доминируют над маленькими глазами и греческим (прямым) носом. Женщина с большими глазами и греческим носом вышла замуж за человека с маленькими глазами и римским носом (они оба гетерозиготны по одному из признаков). У них родилось четверо детей, двое из которых имели большие глаза и римский нос. Каковы вероятные генотипы родителей? Может ли у них родиться ребенок с маленькими глазами и греческим носом?

### Сцепленное с полом наследование.

Прежде, чем приступить к рассмотрению задач по этой теме, следует остановиться на некоторых теоретических аспектах генетики пола.

- ~ Пол - это совокупность морфологических, физиологических, биохимических, поведенческих и других особенностей организма, обуславливающих его роль в размножении
- ~ Аутосомы – хромосомы, одинаковые у особей обоих полов.
- ~ Половые хромосомы – хромосомы, определяющие пол организма.
- ~ Гомогаметный пол – пол, имеющий одинаковые половые хромосомы (XX) и дающий один тип гамет (по содержанию в них половых хромосом).
- ~ Гетерогаметный пол - образующий разные типы гамет (например, XY).
- ~ Сцепленные с половыми хромосомами признаки - признаки, развитие которых обусловлено генами, расположенными в одной из половых хромосом. Наследование таких признаков называют **сцепленным с полом** (гоносомное наследование).

X- хромосома значительно больше по своим размерам Y-хромосомы. В X и Y-хромосомах имеются гомологичные участки, содержащие аллельные гены. Но в X-хромосоме есть большой участок, которому нет гомологичного в Y-хромосоме.

- ~ Признаки, развитие которых детерминируют гены, расположенные в негомологичном участке X- хромосомы, называются **сцепленными с X-хромосомой**. Таких признаков для человека описано около 200 (дальтонизм, гемофилия - рецессивные и доминантные - рахит, темная эмаль зубов и др.).
- ~ Сцепленные с Y- хромосомой (голандрические) признаки детерминируются генами, расположенными в негомологичном участке Y-хромосомы, и проявляются фенотипически только у мужчин и передаются от отца ко всем сыновьям. Таких генов описано 6 (ихтиоз, волосатость ушей, перепонка между пальцами ног и др.).

В настоящее время известны несколько типов генетического определения пола (см. ПРИЛОЖЕНИЕ). У человека хромосомный набор выглядит так:

- женщина - 44 аутосомы + XX = 46
- мужчина - 44 аутосомы + XY = 46

Учитывая, что в оплодотворении участвуют мужские и женские гаметы, содержащие только по одному аллельному гену (*Правило чистоты гамет*), выясняем, что голубоглазый сын (обладатель рецессивного признака) получил по одному гену от каждого из родителей. В этом случае, однозначно, его кареглазый отец гетерозиготен. Тогда схема скрещивания будет выглядеть следующим образом:

Р:  $\frac{\text{голубые}}{\text{♀ aa}} \times \frac{\text{карие}}{\text{♂ Aa}}$

G:  $\text{a} \quad \text{A} \quad \text{a}$

F<sub>1</sub>: Aa – кареглазые дочери, aa – голубоглазый сын

Ответ: г)

2. У человека ген длинных ресниц доминирует над геном коротких ресниц. Женщина с длинными ресницами, у отца которой ресницы были короткими, вышла замуж за мужчину с короткими ресницами. Какова вероятность рождения в данной семье ребенка с длинными ресницами?

признак (длина ресниц)	ген	генотип
длинные	A	AA, Aa
короткие	a	aa

Решение:

Мужчина обладает рецессивным признаком - имеет короткие ресницы, то есть он гомозиготен по рецессивному признаку (его генотип aa). Известна, что женщина обладает доминантным признаком. (Запись схемы скрещивания можно делать параллельно с рассуждениями)

Р:  $\frac{\text{длинные}}{\text{♀ Aa}} \times \frac{\text{короткие}}{\text{♂ aa}}$

Кроме фенотипа женщины в условии говорится еще о том, что ее отец имел такой же фенотип, как и ее муж. Так как она могла получить от своего отца только рецессивный аллель, приходим к выводу, что женщина гетерозиготна по признаку длины ресниц. Уточняем запись схемы:

Р:  $\frac{\text{длинные}}{\text{♀ Aa}} \times \frac{\text{короткие}}{\text{♂ aa}}$

G:  $\text{A} \quad \text{a} \quad \text{a}$

F<sub>1</sub>:  $\text{Aa} \quad \text{aa}$

с длинными ресницами : с короткими ресницами

1 : 1

В потомстве наблюдается расщепление по фенотипу 1:1, то есть их дети равновероятно могут иметь как длинные, так и короткие ресницы (в задаче рассматривается пример анализирующего скрещивания).

Ответ: вероятность рождения в данной семье ребенка с длинными ресницами составляет 50%

3. Ген сахарного диабета рецессивен по отношению к гену нормального состояния. У здоровых супругов родился ребенок, больной диабетом. Какова вероятность рождения здорового ребенка в данной семье? Какова вероятность того, что второй ребенок родится больным?

признак (углеводный обмен)	ген	генотип
норма	<i>A</i>	<i>AA, Aa</i>
диабет	<i>a</i>	<i>aa</i>

диабет

**F<sub>1</sub>: aa**

Решение:

норма × норма  
**P:** ♀ *A-* × ♂ *A-*

Все организмы, размножающиеся половым способом, содержат два аллельных гена: один достается от матери, а другой - от отца. У сына два рецессивных аллеля, они достались ему от родителей. У них этот ген не проявлялся, так как он рецессивен и маскируется доминантным геном *A* (родители здоровы). Следовательно, генотипы родителей теперь известны:

норма × норма  
**P:** ♀ *Aa* × ♂ *Aa*



**F<sub>1</sub>:**

гаметы	<i>A</i>	<i>a</i>
♀ <i>A</i>	<i>AA</i> норма	<i>Aa</i> норма
♂ <i>a</i>	<i>Aa</i> норма	<i>aa</i> диабет

В соответствии со вторым законом Менделя, вероятность того, что вторая беременность завершится рождением здорового ребенка, составляет 75%, рождением больного ребенка – 25%

Ответ: вероятность рождения в данной семье здорового ребенка составляет 75%, больного ребенка – 25%

4. У человека ген дальновзоркости доминирует над геном нормального зрения. В семье муж и жена страдают дальновзоркостью, однако матери обоих супругов имели нормальное зрение. Какова вероятность рождения в этой семье ребенка с нормальным зрением?

мать мужчины была голубоглазой и у нее не было веснушек. Какова вероятность того, что их первый ребенок будет похож на отца? А на мать?

признак	ген	генотип
1. цвет глаз { карие голубые	<i>A</i> <i>a</i>	<i>AA, Aa</i> <i>aa</i>
2. пигментация кожи { веснушки без веснушек	<i>B</i> <i>b</i>	<i>BB, Bb</i> <i>bb</i>

♀ голубоглазая без веснушек – *aabb*  
 ♂ кареглазый с веснушками – *A-B-*

Решение:

голуб. без весн. × карегл. весн.

**P:** ♀ *aabb* × ♂ *AaBb*

**G:**



**F<sub>1</sub>:**

гаметы	<i>AB</i>	<i>Ab</i>	<i>aB</i>	<i>ab</i>
♀ <i>aB</i>	<i>AaBb</i> кар. весн.	<i>Aabb</i> кар. б/весн.	<i>aaBb</i> гол. весн.	<i>aabb</i> гол. б/весн.

Отец дигетерозиготен, т.к. он получает от своей матери рецессивные аллели обоих генов (см. условие). Из решетки Пеннета следует, что при каждом оплодотворении у них с равной долей вероятности могут родиться дети с четырьмя различными фенотипами; на долю каждого фенотипа *F<sub>1</sub>* приходится 25%.

Ответ: вероятность того, что их первый ребенок будет похож на отца – 25%, на мать – 25%.

4. У отца курчавые волосы (*A*) и нет веснушек, а у матери прямые волосы и есть веснушки (*B*). В семье трое детей и у всех веснушки и курчавые волосы. Определите генотипы всех членов семьи.

5. У человека вьющиеся и темные волосы являются доминантными признаками. Муж и жена имеют вьющиеся темные волосы. У них родился светловолосый ребенок с прямыми волосами. Каковы возможные генотипы родителей? Запишите схему скрещивания.

6. У человека лопухость доминирует над геном нормально прижатых ушей, а ген нерыжих волос – над геном рыжих волос. Каков генотип лопухого рыжего отца, если в браке с нерыжей женщиной, имеющей нормальные уши, у него были только лопухие нерыжие дети?

расщепление по фенотипу 1:1:1:1;

вероятность рождения голубоглазого ребенка с нормальным зрением -

25%

Ответ: вероятность рождения голубоглазого ребенка с нормальным зрением - 25%

2. У человека свободная мочка уха (A) доминирует над приросшей, а подбородок с треугольной ямкой (B) – над гладким подбородком. У мужчины – приросшая мочка уха и подбородок с треугольной ямкой, а у женщины – свободная мочка уха и гладкий подбородок. У них родился сын с приросшей мочкой уха и гладким подбородком. Какие еще дети (по данным признакам) могут быть в этой семье?

признак	ген	генотип
1. мочка уха	A a	AA, Aa aa
2. подбородок	B b	BB, Bb bb

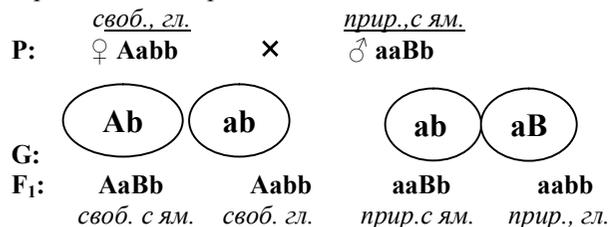
♀ свободная мочка, гладкий подбородок – A-bb  
♂ приросшая мочка, подбородок с ямкой – aaB-

прир., гл.

F<sub>1</sub>: aa bb

Решение:

Все организмы, размножающиеся половым способом, содержат два аллельных гена: один достается от матери, а другой - от отца. Сын является рецессивной гомозиготой по обоим изучаемым признакам, они достались ему от родителей: по одному в каждой паре (a и b) от отца и от матери. Следовательно, генотипы родителей теперь известны:



Ответ: в семье могут быть еще дети: со свободной мочкой уха и подбородком с треугольной ямкой; со свободной мочкой и гладким подбородком; с приросшей мочкой и гладким подбородком. Понятно, что могут родиться дети с таким же сочетанием признаков, как у сына: с приросшей мочкой уха и гладким подбородком.

3. У человека карий цвет глаз доминирует над голубым, а наличие веснушек – над их отсутствием. Женщина с голубыми глазами и без веснушек выходит замуж за мужчину с карими глазами и веснушками. Известно, что

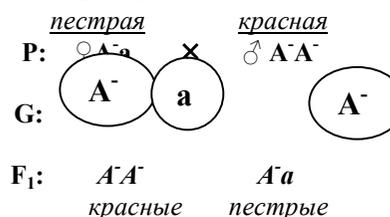
5. У человека ген тонких губ рецессивен по отношению к гену толстых губ. В семье у женщины тонкие губы, а у мужчины – толстые. Определите генотипы родителей, если из их троих детей двое имеют тонкие губы, а один – толстые.

6. У коров породы шортгорн красная масть доминирует над белой, а в гетерозиготном состоянии животные имеют пеструю окраску. Животновод создает стадо, скрещивая пестрых коров с красным быком. Какой процент телят будет иметь белую окраску?

Так как в условии упоминается три возможных окраски коров, речь в задаче идет о неполном доминировании признака: гетерозиготы имеют промежуточный фенотип. Для удобства доминантный аллель обозначаем: A<sup>-</sup>.

признак (окраска шерсти коров)	ген	генотип
красная	A <sup>-</sup>	A <sup>-</sup> A <sup>-</sup>
пестрая	A <sup>-</sup> , a	A <sup>-</sup> a
белая	a	aa

Решение:



Так как красный бык гомозиготен по доминантному признаку, в его потомстве от пестрых коров белых телят не будет.

Ответ: процент белых телят = 0.

7. У человека серповидноклеточная анемия наследуется как признак неполностью доминантный. У рецессивных гомозигот развивается сильная анемия, приводящая к смерти, а у гетерозигот анемия проявляется в легкой форме. Малярийный плазмодий не может усваивать аномальный гемоглобин, поэтому люди, имеющие ген серповидноклеточной анемии, не болеют малярией. В семье у обоих супругов легкая форма анемии.

- Какова вероятность рождения ребенка с тяжелой формой анемии?
- Какова вероятность рождения ребенка, устойчивого к малярии?
- Какова вероятность рождения ребенка, чувствительного к малярии?

**Дигибридное скрещивание.**

Результаты первого менделевского скрещивания растений гороха, отличающихся по форме и окраске семян, позволяют сделать следующие выводы:

- доминантными признаками являются желтый цвет (это известно и из опыта Менделя на моногибридном скрещивании) и гладкая форма семян;
- родительские растения гомозиготны (обратное прочтение правила единообразия).

Записывая условие скрещивания, указывают все возможные генотипы особей, учитывая оба признака:

признак	ген	генотип
1. цвет семян гороха	желтый	А
	зеленый	а
2. форма семян гороха	гладкая	В
	морщинистая	в

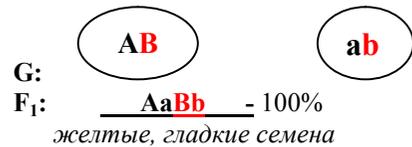
Растение с желтыми гладкими семенами: ААВВ, ААВв, АаВВ, АаВв  
 ааВВ, ааВв, ааВВ, ааВв – растение с зелеными морщинистыми семенами

Генотип особи, обладающей доминантными признаками в общем виде может быть записан как А-В-, то есть на месте пропусков могут находиться как доминантные, так и рецессивные аллели генов.

Известно, что исходные растения (родители) гомозиготны (Мендель для эксперимента брал чистые линии гороха):

Ж. гл.                      З. морщ.  
 Р: ♀ ААВВ × ♂ ааВв

Одним из условий верного решения задачи является правильное определение всех возможных сортов гамет, которые образуют родительские особи. Это возможно только при четком понимании *Правил чистоты гамет*. Так как генотип родителей содержит *две пары* аллельных генов, в гамете должно содержаться *два гена*: по одному из каждой пары.



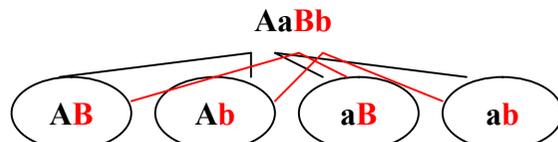
Гибридные растения *дигетерозиготны*, т.е. гетерозиготны по двум признакам (по аналогии – тригетерозигота, тетрагетерозигота. А если изучается большее количество признаков?).

Продолжение схемы скрещивания:

Ж. гл.                      Ж. гл.  
 P(F<sub>1</sub>): ♀ АаВв × ♂ АаВв

Так как скрещиваемые растения гетерозиготны, следует вспомнить о том, что *гетерозиготы всегда образуют четное количество сортов гамет, равное 2<sup>n</sup>*, где n – число “гетеро-“ пар аллельных генов.

В данном случае n = 2, т.е. дигетерозигота образует 2<sup>2</sup> = 4 сорта гамет:



Так как генотипы особей идентичны, то и гаметы они образуют одинаковые – по 4 сорта.

Для определения генотипов и фенотипов второго поколения гибридов (т.е. результатов оплодотворения) используется решетка Пеннета:

гаметы		AB	Ab	aB	ab
		AB	Ab	aB	ab
♀	AB	ААВВ ж. гл.	ААВв ж. гл.	АаВВ ж. гл.	АаВв ж. гл.
	Ab	ААВв ж. гл.	ААВв ж. морщ.	АаВв ж. гл.	Аавв ж. морщ.
	aB	АаВВ ж. гл.	АаВв ж. гл.	ааВВ зел. гл.	ааВв зел. гл.
	ab	АаВв ж. гл.	Аавв ж. морщ.	ааВв зел. гл.	аавв зел. морщ.

Остается только подсчитать количество генотипических (Г) и фенотипических (Ф) классов и их соотношение при расщеплении:

Г - девять: 1 ААВВ, 2 ААВв, 2 АаВВ, 4 АаВв, 1 ААВв, 2 Аавв, 2 ааВВ, 1 аавв, т.е. расщепление по генотипу – 1:2:2:4:1:2:2:1:1

Ф – четыре: 9 желтых гладких (А-В-), 3 желтых морщинистых (А-bb), 3 зеленых гладких (ааВ-) и 1 зеленый морщинистый (аавв), т.е.

**Расщепление по фенотипу 9:3:3:1 (9А-В-: 3А-bb: 3ааВ-: 1аавв)**

Примеры задач:

1. У человека близорукость доминирует над нормальным зрением, а кареглазость над голубоглазостью. Гетерозиготная кареглазая женщина с нормальным зрением вышла замуж за голубоглазого близорукого мужчину, гетерозиготного по второму признаку. Какова вероятность рождения у них голубоглазого ребенка с нормальным зрением?

признак	ген	генотип
1. цвет глаз	карие	А
	голубые	а
2. зрение	близорукость	В
	норма	в

♀ кареглазая с норм. зр. по условию - АаВв  
 ♂ голубогл., близорук, по условию - ааВв

Решение:

кар. н. зр.                      голуб. близ.  
 Р: ♀ АаВв × ♂ ааВв

