

## Механизмы определения пола

### Под действием внешних факторов



♂ < 30 °С    ♀ 30–34 °С    ♂ > 34 °С    ♀

У крокодилов пол определяется под действием внешних факторов — если температура среды не превышает 30° — развиваются самцы, если превышает 35° — самки. В диапазоне 30–35° из яйца может развиваться как самка, так и самец.

### 1 ген



♂ > ♀ > ♀  
a<sup>D</sup> > a<sup>+</sup> > a<sup>d</sup>

У растения бешеный огурец пол определяется одним геном. Существует три аллеля этого гена: a<sup>D</sup> определяет мужской пол, a<sup>d</sup> – женский, a<sup>+</sup> – гермафродитизм. При этом ген a<sup>+</sup> подавляет проявление гена a<sup>d</sup>, а ген a<sup>D</sup> подавляет проявление гена a<sup>d</sup>.

### Половые хромосомы



♂ XY    ♀ XX

У человека, дрозофил и многих других организмов пол определяется с помощью специальных хромосом, которые называются половыми. Если у организма есть половые хромосомы, то остальные хромосомы называют аутосомами.

Выделяют две системы хромосомного определения пола:

**система XY** (♀ XX, ♂ XY) и

**система ZW** (♀ ZW, ♂ ZZ)

### Генетически

### Плоидность



♀  
2n



♂  
n

У пчел пол определяется по плоидности – то есть по количеству хромосом: самки (матки) и рабочие особи развиваются из оплодотворенного (диплоидного) яйца, а самцы (трутни) – из неоплодотворенного (гаплоидного).

В системе XY самки являются гомогаметным полом, то есть несут две одинаковые половые X-хромосомы, а самцы – гетерогаметным, то есть несут разные половые хромосомы – X и Y.

При этом механизм определения пола может различаться у разных видов: например, у человека пол определяется наличием или отсутствием Y-хромосомы, а у дрозофил – отношением числа X-хромосом к числу аутосом:

♀ (XX)    ♂ (XY)  
 $\frac{2X}{2(n)} = 1$      $\frac{1X}{2(n)} = 0,5$

По системе XY пол определяется у многих млекопитающих и некоторых насекомых.

Другая система хромосомного определения пола – система ZW.

В отличие от системы XY в системе ZY гетерогаметным является женский пол, а гомогаметным – мужской. По системе ZW пол определяется, например, у птиц и бабочек.

## Наследование при сцеплении с полом

Рассмотрим наследование при сцеплении с полом, то есть ситуацию, когда ген находится в одной из половых хромосом. Мы можем наблюдать два случая, в зависимости от того в какой из хромосом находится этот ген:

- Голландрический** тип наследования наблюдается, когда ген находится в **Y-хромосоме**. Y-хромосома присутствует только у самцов (у мужчин), а следовательно, такие гены будут а) со 100-процентной вероятностью передаваться от отца сыну и б) никогда не будут проявляться у женщин.
- В случае, если ген находится в **X-хромосоме**, наследование происходит по более сложным закономерностям. Для их демонстрации необходимо провести так называемые реципрокные скрещивания – два скрещивания с противоположным сочетанием пола и исследуемого признака. Например, если прямое реципрокное скрещивание производится между белой самкой и черным самцом, то обратное будет проводиться между черной самкой и белым самцом:

**P:** ♀ белый × ♂ черный

и

**P:** ♀ черный × ♂ белый.

Стоит также отметить, что при записи признаков, сцепленных с половыми хромосомами, необходимо также указывать в какой хромосоме они находятся: **X<sup>A</sup>**, **Y<sup>b</sup>** и так далее.

Рассмотрим прямое скрещивание при сцеплении с полом для гена **A**, наследующегося по принципу полного доминирования, и отвечающего, например, за окраску:

**A** – черный    **a** – белый

1) **P:** ♀ **X<sup>A</sup>X<sup>A</sup>** (черный) × ♂ **X<sup>a</sup>Y** (белый)

**G:** (X<sup>A</sup>) (X<sup>A</sup>) × (X<sup>a</sup>) (Y)

**F<sub>1</sub>:** ♀ **X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>** (черный)  
♂ **X<sup>A</sup>Y** (черный)

**G:** (X<sup>A</sup>) (X<sup>a</sup>) (X<sup>A</sup>) (Y)

**F<sub>2</sub>:** ♀ **X<sup>A</sup>X<sup>A</sup>** (черный)  
♀ **X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>** (черный)  
♂ **X<sup>A</sup>Y** (черный)  
♂ **X<sup>a</sup>Y** (белый)

признак сцепления с полом

♀	X <sup>A</sup>	X <sup>a</sup>
♂ X <sup>A</sup>	♀ X <sup>A</sup> X <sup>A</sup> черный	♀ X <sup>A</sup> X <sup>a</sup> черный
♂ Y	♂ X <sup>A</sup> Y черный	♂ X <sup>a</sup> Y белый

Расщепление по фенотипу — 3 : 1

В данной ситуации во втором поколении мы наблюдаем выщепление признака только у одного из полов – это первый признак сцепления с полом.

Рассмотрим обратное реципрокное скрещивание:

2) **P:** ♀ **X<sup>a</sup>X<sup>a</sup>** (белый) × ♂ **X<sup>A</sup>Y** (черный)

**G:** (X<sup>a</sup>) (X<sup>a</sup>) × (X<sup>A</sup>) (Y)

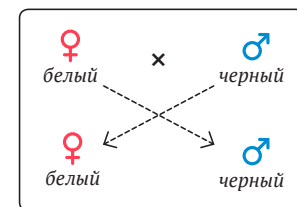
**F<sub>1</sub>:** ♀ **X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>** (черный)  
♂ **X<sup>a</sup>Y** (белый)

**G:** (X<sup>A</sup>) (X<sup>a</sup>) (X<sup>a</sup>) (Y)

**F<sub>2</sub>:** ♀ **X<sup>A</sup>X<sup>A</sup>** (черный)  
♀ **X<sup>a</sup>X<sup>a</sup>** (белый)  
♂ **X<sup>A</sup>Y** (черный)  
♂ **X<sup>a</sup>Y** (белый)

Расщепление по фенотипу — 1 : 1

Мы видим, что в первом поколении наблюдается явление крисс-кросс наследования, когда признак передается от матери к сыну и от отца к дочери:



крисс-кросс наследование

признак сцепления с полом

Крисс-кросс наследование в первом поколении – второй признак сцепления с полом. При этом во втором поколении мы наблюдаем соотношение фенотипов **1 : 1**, вне зависимости от пола.

### Задача №5

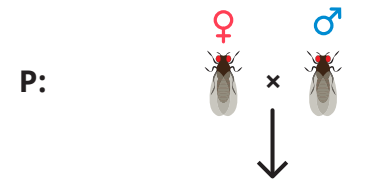
Две красноглазые длиннокрылые особи дрозофилы при скрещивании между собой дали следующее потомство:

- ♀ Самки:
-  **154** красноглазых длиннокрылых
  -  **48** красноглазых с зачаточными крыльями
- ♂ Самцы:
-  **98** красноглазых длиннокрылых
  -  **95** белоглазых длиннокрылых
  -  **25** красноглазых с зачаточными крыльями
  -  **32** белоглазых с зачаточными крыльями





Определить тип наследования данных признаков.  
Каковы генотипы родителей и потомков?

### Решение

Запишем общую схему скрещивания. Для удобства запишем наблюдаемое расщепление в виде таблицы:



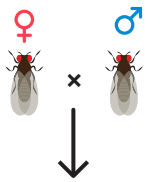
F<sub>1</sub>:

	♀	♂
	<b>154</b>	<b>98</b>
	<b>48</b>	<b>25</b>
	—	<b>95</b>
	—	<b>32</b>
Σ	<b>202</b>	<b>250</b>



Поскольку в данной задаче мы имеем дело с двумя признаками, нам нужно рассмотреть каждый из признаков отдельно.

Рассмотрим признак **цвета глаз**:

P:





F<sub>1</sub>:

	♀	♂	Σ
	202	123	325
	—	127	127

1. Поскольку в первом поколении мы наблюдаем два признака, мы можем предположить моногенное отличие родительских форм.
2. В первом поколении мы не наблюдаем единообразия, следовательно, родительские формы гетерозиготны.
3. Так как белый цвет выщепляется только у самцов, мы можем предположить, что ген находится в **X**-хромосоме.

При скрещивании в случае сцепления с **X**-хромосомой и проявлении признака только у самцов, мы должны наблюдать фенотипическое расщепление **3 : 1**. Следовательно, гипотеза **H<sub>0</sub> – 3 : 1**.

Проверим эту гипотезу по критерию  $\chi^2$ :

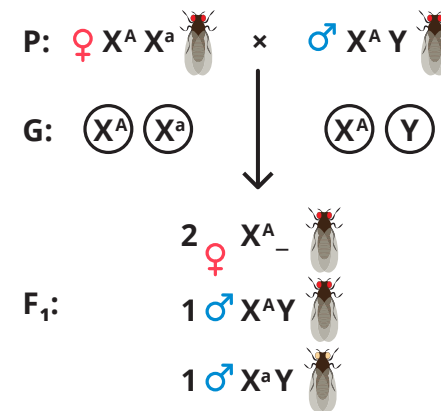
Фенотип	H	O	$\frac{(H - O)^2}{O}$	$\chi^2$
	325	339	0,578	2,313
	127	113	1,735	





Полученный  $\chi^2 < \chi^2_{кр}$ , для 1 степени свободы  $\Rightarrow$  гипотеза не отвергается.

Таким образом, мы наблюдаем наследование по типу полного доминирования, признак красной окраски глаз доминирует над белой окраской:





При этом ген локализован в **X**-хромосоме. Запишем итоговую схему скрещивания и решетку Пеннета по данному признаку:





♀ \ ♂	$X^A$	$X^a$
$X^A$	 $X^A X^A$	 $X^A X^a$
Y	 $X^A Y$	 $X^a Y$

Рассмотрим признак длины крыльев:

P:  ♀ ×  ♂

↓



F<sub>1</sub>:

	♀	♂	Σ
	154	193	347
	48	57	105

1. Поскольку в первом поколении мы наблюдаем два признака, мы можем предположить моногенное отличие родительских форм.
2. В первом поколении мы не наблюдаем единообразия, следовательно, родительские формы гетерозиготны.
3. Мы не наблюдаем никаких признаков сцепления с полом, следовательно, можем предположить аутосомный характер наследования.


Таким образом, ожидаемое расщепление в данном скрещивании – 3 : 1.


Проверим нулевую гипотезу по критерию  $\chi^2$ :

Фенотип	H	O	$\frac{(H - O)^2}{O}$	$\chi^2$
	347	339	0,189	0,755
	105	113	0,566	

$\chi^2 < \chi^2_{кр} \Rightarrow$  гипотеза не отвергается.

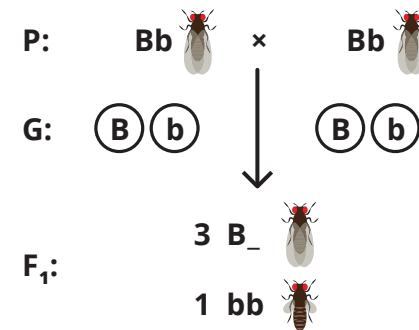
Таким образом, мы наблюдаем наследование по типу полного доминирования, признак нормальной длины крыльев доминирует над признаком укороченных крыльев:





 — B

 — b

При этом ген локализован в аутосоме.

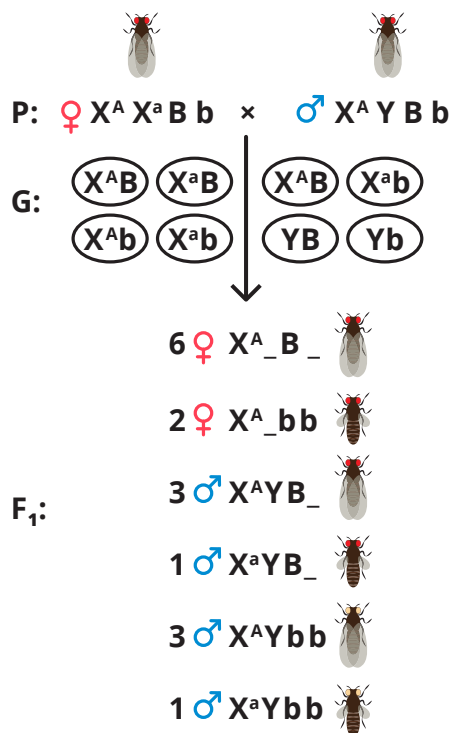
Запишем итоговую схему скрещивания и решетку Пеннета по данному признаку:



	B	b
B	 BB	 Bb
b	 Bb	 bb

Поскольку нам известно, что гены **A** и **B** находятся в разных хромосомах (**A** – в X-хромосоме, **B** – в аутосоме), мы можем не анализировать совместное наследование этих признаков – они наследуются независимо.

Запишем итоговую схему скрещивания и решетку Пеннета:



♀ \ ♂	$X^A B$	$X^A b$	$X^a B$	$X^a b$
$X^A B$	$X^A X^A B B$	$X^A X^A B b$	$X^A X^a B B$	$X^A X^a B b$
$X^A b$	$X^A X^A b b$	$X^A X^a b b$	$X^A X^a B b$	$X^A X^a b b$
$Y B$	$X^A Y B B$	$X^A Y B b$	$X^a Y B B$	$X^a Y B b$
$Y b$	$X^A Y b b$	$X^a Y b b$	$X^A Y B b$	$X^a Y b b$

## Не путайте термины!

Следует различать признаки, сцепленные с полом, признаки ограниченные полом и признаки, зависящие от пола:

- признак, сцепленный с полом — ген находится в половых хромосомах (например, дальтонизм);
- признак, ограниченный полом — ген находится в аутосоме, но у одного из полов он не может проявиться (например, яйцеклетка);
- признак, зависящий от пола — ген находится в аутосоме, но у разных полов наблюдается разный тип доминирования (например, облысение).

♀  $Aa$  — не лысая      ♂  $Aa$  — лысый