



КЕМЕРОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ

## **ТЕМА 4. Генетика пола и сцепленное с полом наследование**

# План

---



**1. Типы определения пола**

**2. Хромосомная теория пола**

**3. Балансовая теория пола**

**4. Определение пола у человека**

**5. Пол и половые хромосомы у растений**

**6. Наследование признаков, сцепленных с полом**

**7. Ограниченные полом и зависимые от пола признаки**





## Типы определения пола

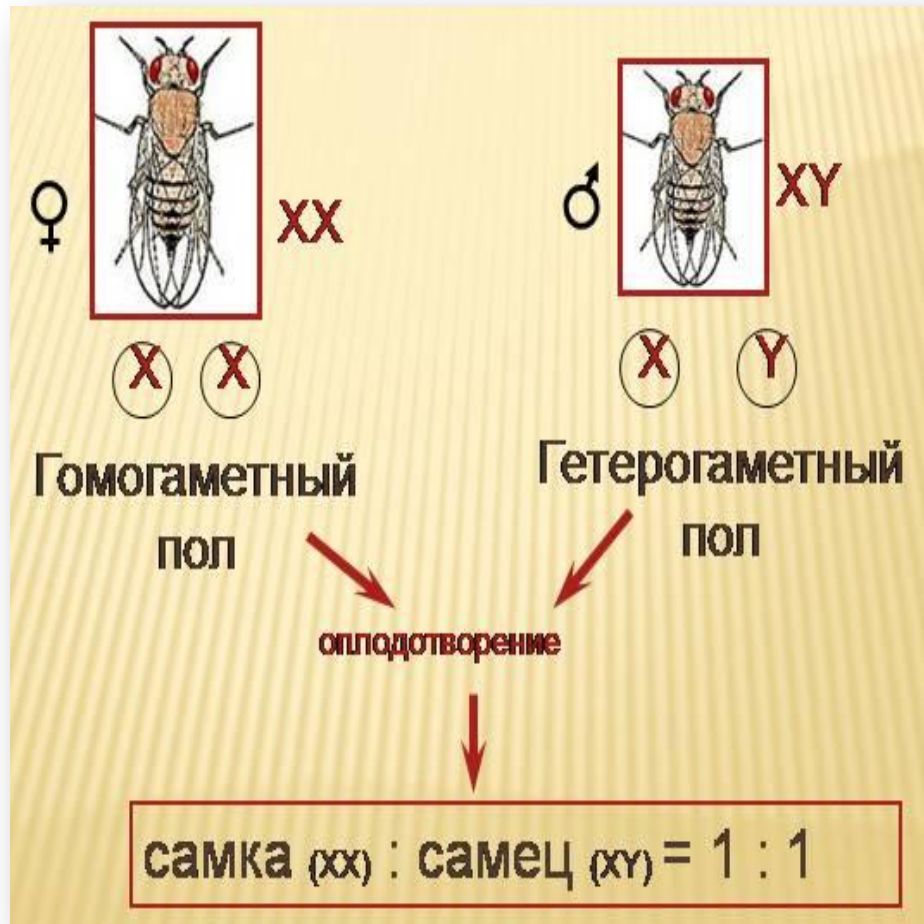
**Сингамный** –  
пол определяется  
в момент  
оплодотворения

**Эпигамный** – пол  
определяется  
после  
оплодотворения

**Эусингамный** –  
пол определяется  
набором хромосом

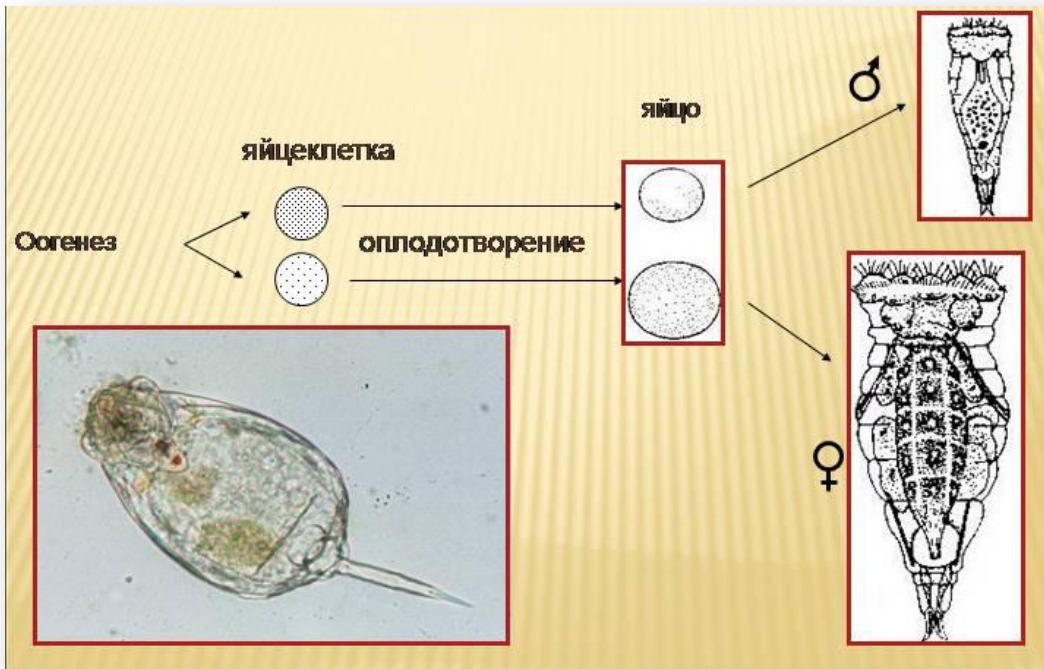
**Прогамный** – пол  
определяется до  
оплодотворения

# 1. Типы определения пола



**Сингамный тип** – в этом случае преобладание женской или мужской тенденции проявляется в момент слияния гамет и образования зиготы.

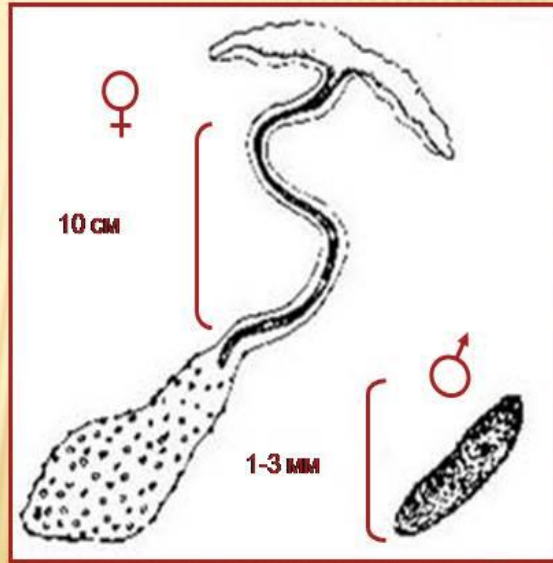
Сингамия характерна для большинства растений, птиц, рыб, млекопитающих.



**Прогамный тип**  
встречается у немногих организмов (например, у коловраток, первичных кольчецов, тлей).

У них пол зиготы определяется еще в процессе оогенеза, при этом у самок вследствие неравномерного деления цитоплазмы образуются крупные и мелкие яйца, после оплодотворения из крупных развиваются самки, из мелких — самцы.

# 1. Типы определения пола



**Эпигамный тип** – наиболее редкий тип определения пола.

Например, у морского червя (*Bonellia viridis*) очень мелкие самцы обитают в половых путях самки.

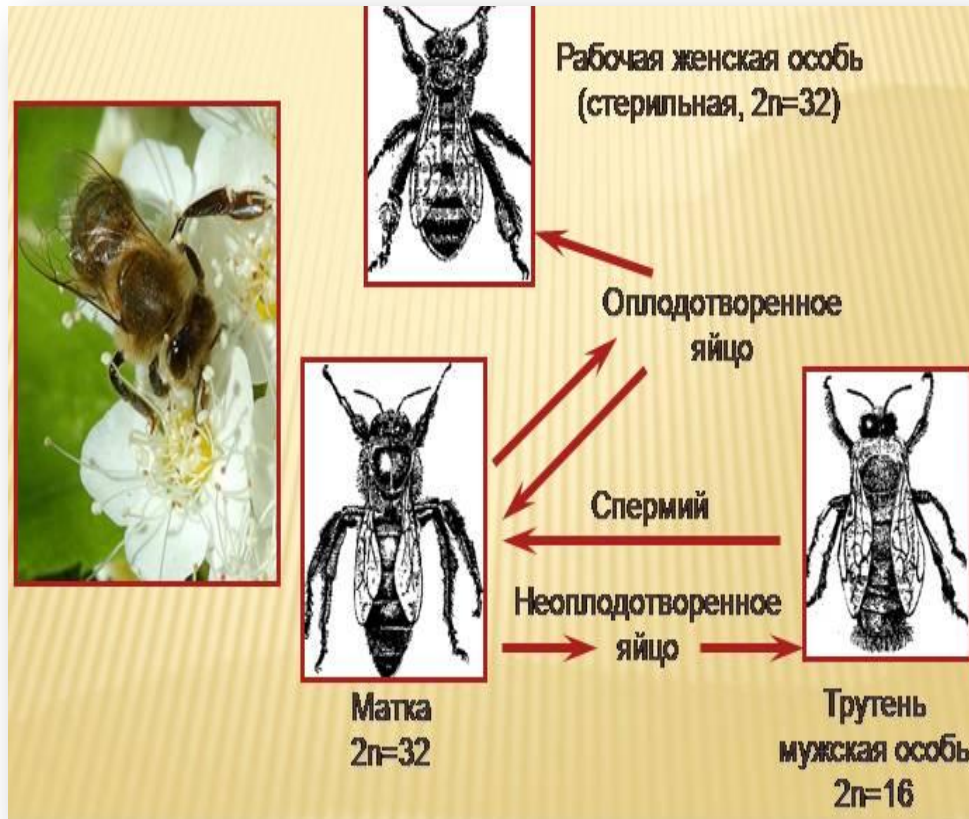
Личинка червя бисексуальна, развитие самца или самки зависит от случая. Если личинка, плавающая определенное время в воде, встретит свободную от самца самку и зафиксирована на ее хоботке, то превращается в самца и мигрирует в ее половые органы, если нет, то она прикрепляется к камням и развивается в самку.



### Эпигамный тип

У крокодилов температура инкубации влияет на пол: если яйцо хранилось при температуре от 31 до 32 °С, то выводятся самцы, если выше или ниже — то самки.

# 1. Типы определения пола



При **эусингамном** типе (пчелы, муравьи), самцы первично гаплоидны, поскольку они развиваются из неоплодотворенных яйцеклеток, тогда как самки диплоидны. В процессе развития соматические клетки самцов таких животных становятся диплоидными



## ПОЛ

**ГОМОГАМЕТНЫЙ  
XX**



пол, имеющий  
одинаковые половые  
хромосомы

**ГЕТЕРОГАМЕТНЫЙ  
XY**



пол, имеющий разные  
половые хромосомы

Человек, млекопитающие, дрозофила, клоп *Ligaeus*.

♀ - XX (гомогаметный),  
♂ - XY (гетерогаметный)

♀ XY, ♂ XX - птицы, бабочки, рыбы

♀ XX, ♂ XO - кузнечики, клопы (*Protenor*)

♀ XO, ♂ XX - моль

Перепончатокрылые (пчелы, муравьи, осы) – половые хромосомы отсутствуют



Американский генетик Кальвин Бриджес, проводя опыты на дрозофиле, в начале 20-х годов обнаружил, что развитие признаков пола у плодовой мушки сильно изменяется в зависимости от соотношения X-хромосом и аутосом

На основании данных опытов К. Бриджес пришёл к выводу, что у дрозофилы женский пол определяется не только наличием двух X-хромосом, а развитие мужского пола не всегда зависит от сочетаний X и Y-хромосом



К. Бриджес

Самцы у мухи дрозофилы могут иметь разные наборы половых хромосом XY и XO (последние имеют все признаки мужского пола, но стерильные, так как в Y-хромосоме содержатся гены, необходимые для нормального течения сперматогенеза)

### 3. Балансовая теория пола



**Половой индекс (ПИ) – соотношение числа X-хромосом к числу наборов аутосом ( $X : A$ )**

**$2X : 2A$  (ПИ=1) –  
самка**

**$X : 2A$  (ПИ = 0,5) –  
самец**

**$3X:2A$  (ПИ =1,5) –  
сверхсамка**

**Половой индекс**

**$X:3A$  (ПИ=0,33)–  
сверхсамец**

**$2X:3A$  (ПИ=0,67)  
– интерсекс**

### 3. Балансовая теория пола



**Сверхсамки** – являются бесплодными и имеют гипертрофированные признаки женского пола

**Сверхсамцы** – имеют гипертрофированные признаки мужского пола, бесплодны, быстро погибают

**Интерсексы** – бесплодные особи с промежуточными признаками обоих. До определенного момента развития сохраняется генетически детерминированный пол, но затем развитие продолжается в направлении противоположного пола. В результате интерсексы отличаются от нормальных особей тем, что у них первичные и вторичные половые признаки носят промежуточный характер, образуя непрерывный ряд переходов от нормального самца к самке



ген SRY – короткое плечо Y-хромосомы  
ген MIS – в коротком плече 19 хромосомы  
ген ZFY – в коротком плече Y-хромосомы  
ген ZFX – в коротком плече X-хромосомы  
ген SOX 9 – в аутосоме

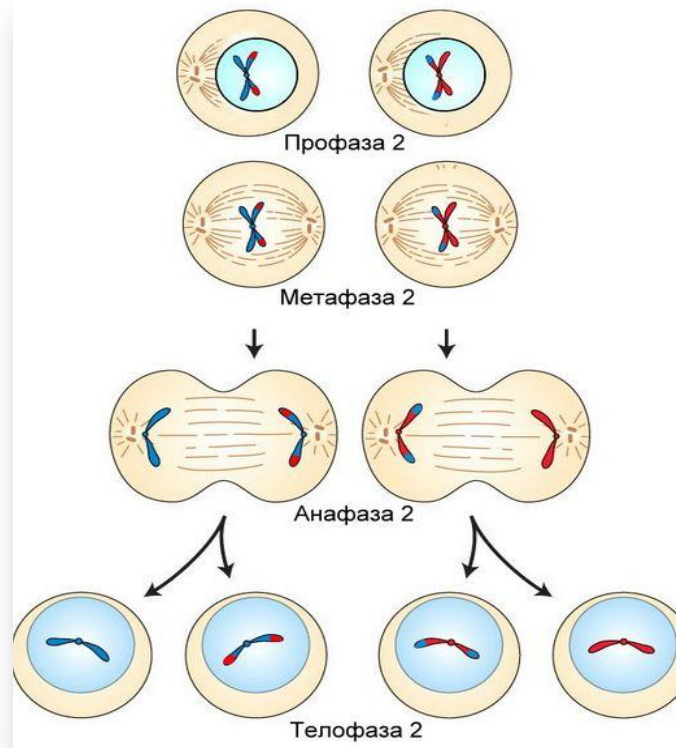


**Гинандроморфы – содержат разное число хромосом в разных клетках**

### Мейоз

**Нормальное  
течение**

XX – гаметы X  
XY – гаметы X, Y



**Аномалии**

XX – гаметы X, XX  
XY – гаметы X, Y, XY

## 4. Определение пола у человека



### Возможные комбинации половых хромосом

|    | X   | XX   | 0   |
|----|-----|------|-----|
| X  | XX  | XXX  | X0  |
| Y  | XY  | XXY  | Y0  |
| XY | XXY | XXXY | XY* |
| 0  | X0  | XX*  | 00  |

XX – нормальный женский организм

XXX – трисомия по X-хромосоме кариотип 47  
XXX

XY – нормальный мужской организм

Y0, 00 – зиготы нежизнеспособны

X0 – синдром Шерешевского-Тернера (моносомия X) кариотип 45 X

XXY, XXXY – синдром Клайнфельтера кариотип 47, XXY; 48, XXXY

XY\* – норма, обе хромосомы получены от отца

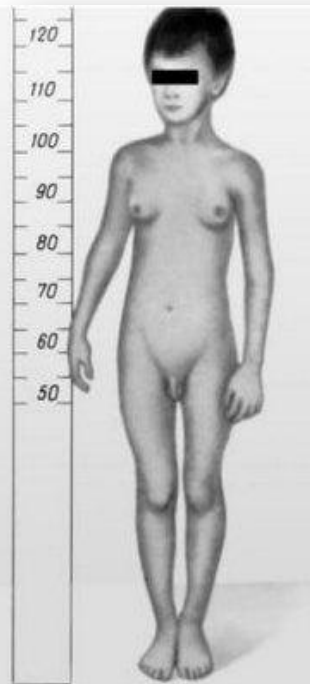
XX\* – норма, обе хромосомы получены от матери

## 4. Определение пола у человека



### Синдром Шерешевского-Тернера (45XO)

- Недоразвитие половых органов
- Маленький рост
- Крыловидные складки на шее
- Врожденные пороки почек,
- ЖКТ, сердца



### Синдром Клайнфельтера.

**Кариотип больного XXУ.** полисомии по X-хромосоме у мужчин (распространенность около 1:500). Чаще всего наблюдается кариотип 47,XXУ (классический вариант синдрома), но встречаются и более редкие кариотипы: 48,XXXXУ; 49,XXXXУ; 48,XXYY; 49,XXXYY.

Характерно высокий рост, непропорциональные конечности (мальчик 6 лет).



Подавляющее большинство высших растений обоеполые (гермафродитные).

Около 5 % цветковых растений двудомные. У таких организмов чётко выражен половой деморфизм.

У всех известных видов двудомных диплоидных растений гетерогаметными (XY) являются мужские формы.



Кукуруза –  
однодомное растение



Ива – двудомное  
растение



Обоеполый цветок  
лилии

## 5. Пол и половые хромосомы у растений



У большинства двудомных растений X- и Y- хромосомы отличаются друг от друга по размерам, обычно X- хромосома более крупная

### Генетический контроль пола

#### Наличие Y-хромосомы

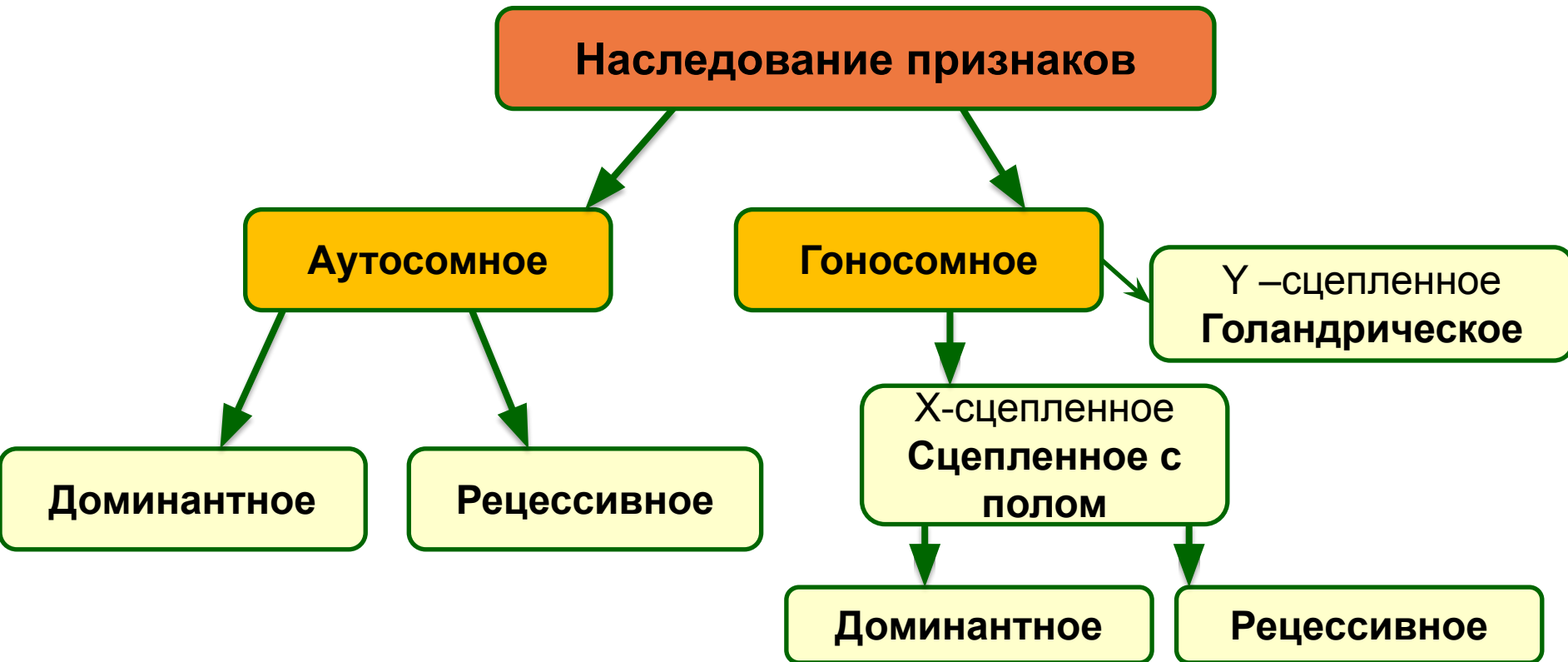
Одна Y-хромосома определяет мужской пол независимо от числа X-хромосом

Так у дремы белой женские особи ♀ имеют генотип  $2A + XX$ , а мужские ♂ -  $2A + XY$

#### Балансовая детерминация пола

Пол определяется соотношением числа аутосом и X-хромосом

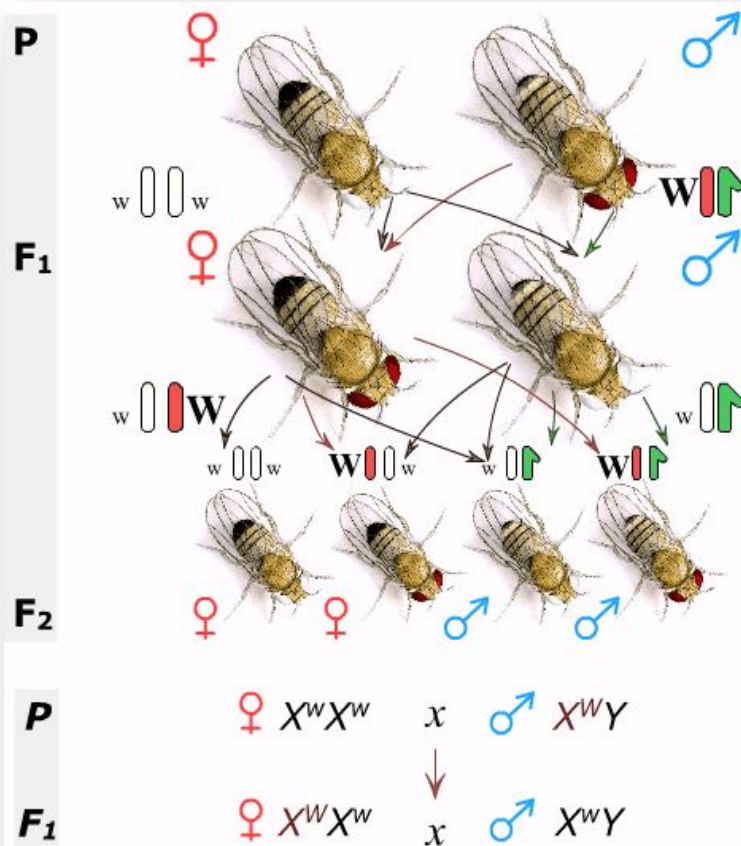
щавель кислый полиплоидные формы:  
 $X : 3A$  (половой индекс 0,5 и ниже) - ♂  
 $4X : 3A$  (половой индекс 1 и более) - ♀  
 $2X : 3A$  (половой индекс 0,5-1,0) – растения имеют промежуточное состояние



## 6. Наследование сцепленное с полом



Наследование признаков, гены которых находятся в половых хромосомах, называется наследованием, сцепленным с полом.

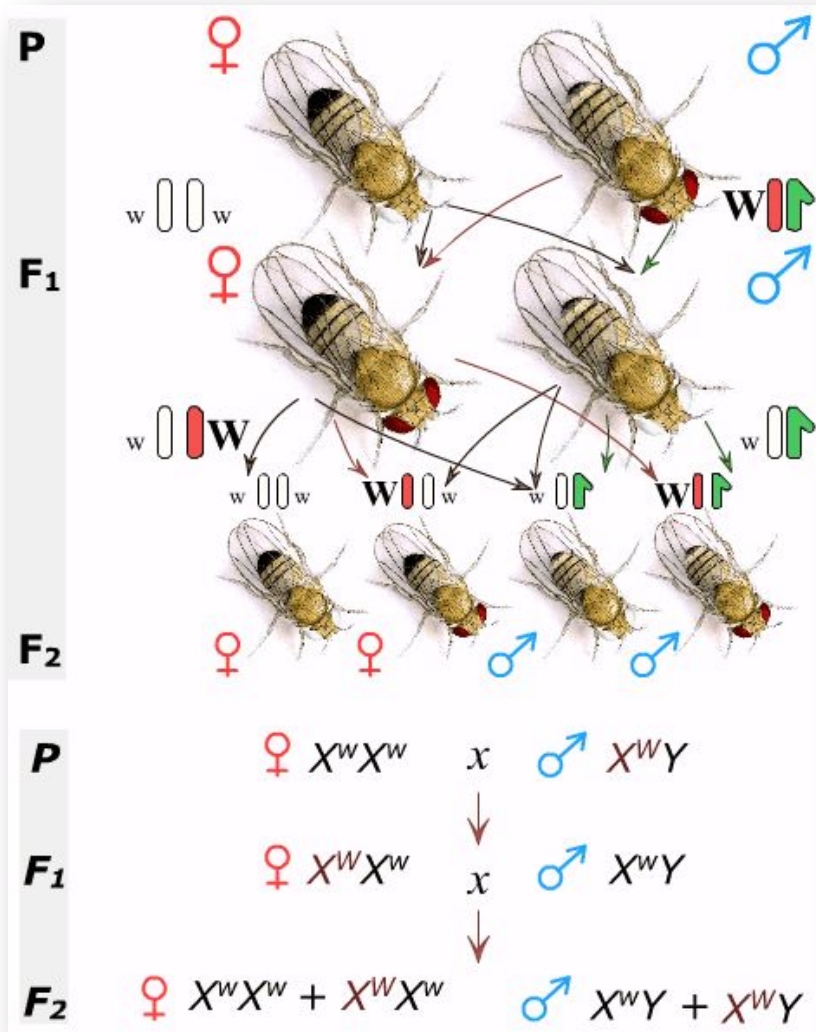


Его впервые выявил Т. Морган.  
Изучая наследование признаков у дрозофилы, он установил, что кроме генов, определяющих пол, половые хромосомы содержат гены, влияющие на разные признаки, не имеющие отношения к дифференциации пола.

W – красный цвет глаз  
w – белый цвет глаз

P1 ♀  $ww$  x ♂  $WY$   
F1 ♀  $Ww$ , ♂  $wY$

## 6. Наследование сцепленное с полом



**Крисс-кросс наследование**  
– это наследование, при  
котором признаки родителей  
передаются  
противоположному полу

## 6. Наследование сцепленное с полом



- Гены цвета глаз и гены, определяющие развитие признаков женского пола у дрозофилы наследуются сцеплено
- самки могут быть гомо- ( $WW$ ) и гетерозиготными ( $Ww$ ) по гену окраски глаз

- Гены, определяющие окраску глаз расположены в X-хромосоме
- Y-хромосома генетически инертна
- Признак определяется одним аллелем, т.е. проявляется одна доза генов – это **гемизиготное** состояние ( $WY, wY$ )



## 6. Наследование сцепленное с полом



Дальтонизм, цветовая слепота, - наследственная, реже приобретённая, особенность зрения человека и приматов, выражающаяся в сниженной или полной неспособности различать цвета.

Названа в честь Джона Дальтона, который впервые описал один из видов цветовой слепоты на основании собственных ощущений в 1794 году

### Женщины

$X^D X^D$  – нормальное зрение

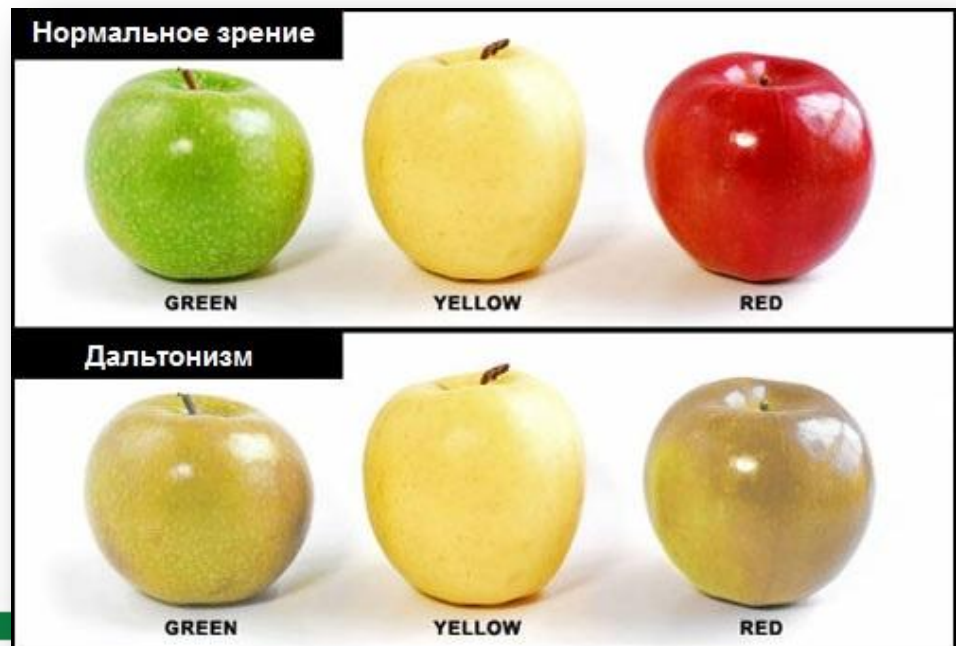
$X^D X^d$  – нормальное зрение

$X^d X^d$  – дальтоник

### Мужчины

$X^D Y$  – нормальное зрение

$X^d Y$  – дальтоник



## 6. Наследование сцепленное с полом



Гемофилия – редкое наследственное заболевание, связанное с нарушением процесса свертывания крови.

При этом заболевании возникают кровоизлияния в суставы, мышцы и внутренние органы, как спонтанные, так и в результате травмы или хирургического вмешательства.

### Женщины

$X^H X^H$  – нормальная свертываемость крови

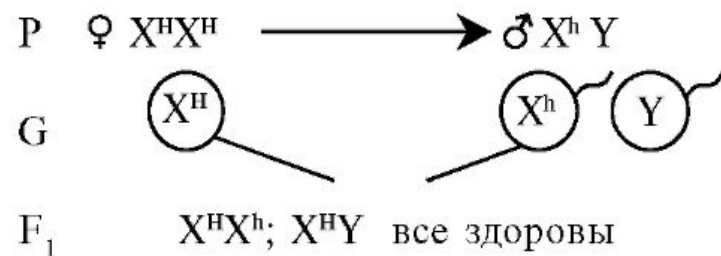
$X^H X^h$  – нормальная свертываемость крови

$X^h X^h$  – гемофилия

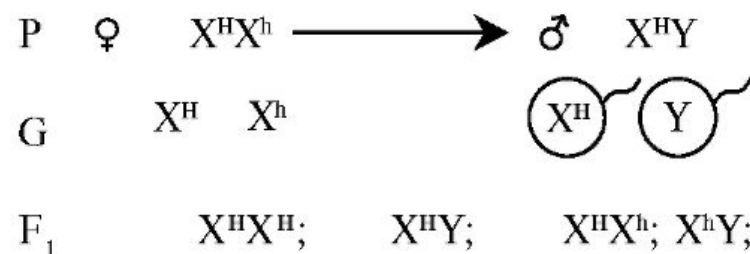
### Мужчины

$X^H Y$  – нормальная свертываемость крови

$X^h Y$  – гемофилия

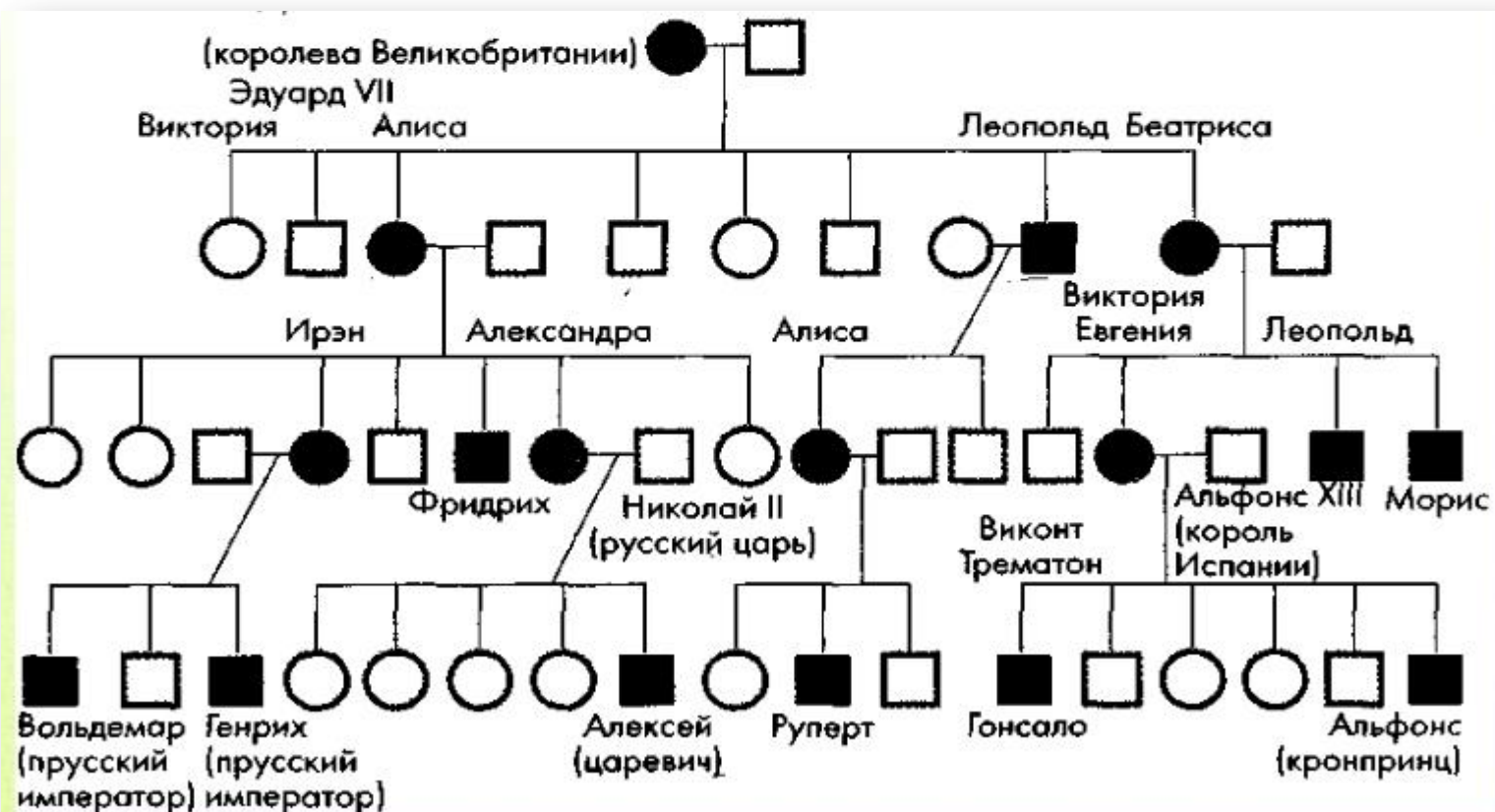


Если мать – носитель гена





### Генеалогическое древо царской семьи Николая и Александры Романовых





### Наследование «черепаховой» окраски у кошек

Чёрный ген -  $O$

Красный (рыжий) ген -  $o$

располагаются только на X хромосоме.

$X^O X^O$  – черная кошка

$X^O X^o$  – черепаховый окрас у кошки

$X^o X^o$  – рыжая кошка

$X^O Y$  – черный кот

$X^o Y$  – рыжий кот



Кот, рождённый «черепахой» должен иметь лишнюю X хромосому (XXY), что является патологией.

Только 1 из 3 тыс. черепаховых — кот.



### Задача 1

Серебристая курица из породы белый виандот скрещена с золотистым (коричневым) петухом породы леггорн. Определить соотношение и расщепление групп гибридов по фенотипу и генотипу.

*Примечание:* указанные признаки сцеплены с полом: доминантный ген серебристой окраски ( $A$ ) локализован в одной X-хромосоме, аллельный ему рецессивный ген золотистой окраски ( $a$ ) - в другой X-хромосоме. У птиц женский пол - гетерогаметный, а мужской – гомогаметный.

$$\begin{array}{llll} \text{P:} & \text{♀ } X^A Y & \times & \text{♂ } X^a X^a \\ & \text{Серебр.} & & \text{Золотист.} \\ \\ \text{G:} & X^A ; Y & & X^a \\ \\ \text{F1:} & \text{♂ } X^A X^a & ; & \text{♀ } X^a Y \\ & \text{Серебр.} & & \text{Золотист.} \end{array}$$



### Задача 2

У кур встречается сцепленный с полом летальный ген ( $X^a$ ), вызывающий гибель эмбрионов, гетерозиготы по этому гену жизнеспособны. При скрещивании гетерозиготного по этому признаку самца с самкой появилось потомство (у птиц гетерогаметный пол — женский). Составьте схему скрещивания и определите генотипы родителей, возможного потомства и соотношение по полу выживших цыплят.

$$\begin{array}{lcl}
 \text{P:} & \text{♀ } X^A u & \times \text{ ♂ } X^A X^a \\
 & \text{норма} & \text{норма} \\
 \\
 \text{G:} & X^A ; u & X^A ; X^a \\
 \\
 \text{F1:} & \begin{array}{l} \text{♂ } X^A X^a ; \\ \text{♂ } X^A X^A \\ \text{норма} \end{array} & ; \begin{array}{l} \text{♀ } X^a u \\ \text{гибель} \\ \text{♀ } X^A u \\ \text{норма} \end{array}
 \end{array}$$

**ПРИЗНАКИ****ограниченные полом**

развитие этих признаков обусловлено генами, расположенными в аутосомах обоих полов, но проявляются они только у особей одного пола (яйценоскость у кур, молочность у коров)

**контролируемые полом**

обусловлено генами, расположенными в аутосомах, но степень и частота проявления их (экспрессивность и пенетрантность) разная у особей разного пола

H – рогатость у овец, h – комолость  
HH – рогатое животное независимо от пола  
Hh – рогатый самец, безрогая самка  
hh – самцы и самки безрогие

# Контрольные вопросы



1. Перечислите и дайте характеристику типам определения пола
2. В чем суть хромосомной теории пола?
3. Что такое половой индекс? Как он влияет на определение пола?
4. Как определяется пол у человека? Приведите примеры.
5. Как определяется пол у растений? Приведите примеры.
6. Как осуществляется наследование признаков, сцепленных с полом?
7. В чем заключается разница между наследованием признаков ограниченных полом и зависимых от пола?





Пухальский В. А. Введение в генетику (краткий конспект лекций): учеб. пособие для студ. вузов агр. спец./ В. А. Пухальский. — М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. — 224 с.



Иванищев В.В. Основы генетики: учебник / В.В. Иванищев. — М. : РИОР : ИНФРА-М, 2017 — 207 с.

