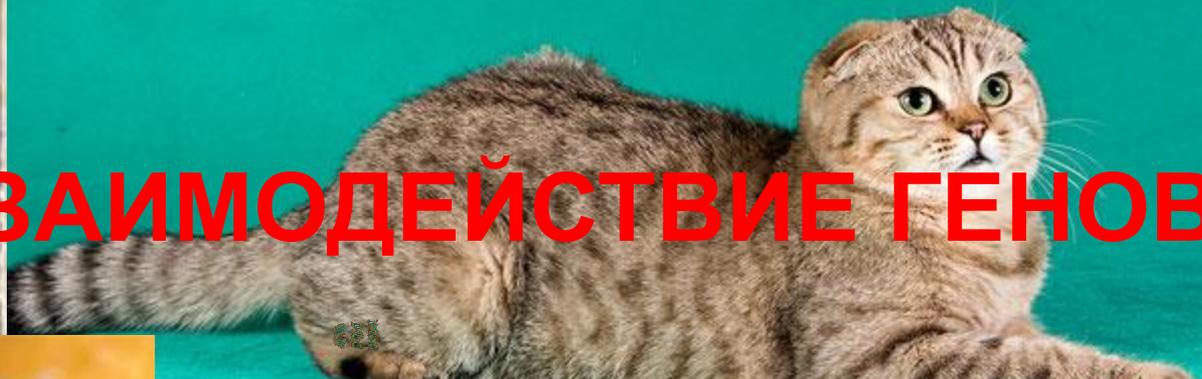




**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ.**



**ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ  
НАСЛЕДСТВЕННОСТИ.**

101 Утекина Анна

Установленные Г. Менделем принципы **независимого наследования** проявляются только тогда, когда гены, определяющие эти признаки, находятся в **разных хромосомах**.

Г.Мендель анализировал **контрастирующие** признаки, каждый из которых был представлен **двумя альтернативными формами**, определяемыми аллелями **одного гена**. Однако такие четко различимые альтернативные формы существуют **далеко не для всех признаков**.



Развитие любых признаков у организмов является следствием **сложных взаимодействий между генами**, точнее – между продуктами их деятельности – **белками – ферментами**.

### УПРОЩЕННАЯ СХЕМА:

ГЕН  $\longrightarrow$  и-РНК  $\longrightarrow$  БЕЛОК-ФЕРМЕНТ  $\longrightarrow$   
 $\longrightarrow$  БИОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ  $\longrightarrow$  ПРИЗНАК

**Действие гена** на признак может быть различно в зависимости от того, **в комплексе с какими генами** оказывает влияние данный ген на развитие признака.

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ:

## АЛЛЕЛЬНОЕ:

1. Полное доминирование;
2. Неполное доминирование;
3. Сверхдоминирование;
4. Кодоминирование;
5. Аллельное исключение ;

## НЕАЛЛЕЛЬНОЕ :

1. Комплементарное действие;
2. Эпистаз;
3. Полимерия;
4. «Эффект положения».

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОВ.

## 1. Полное доминирование:

- один аллель гена полностью скрывает присутствие другого аллеля;
- одинаковый фенотип у гомозигот и гетерозигот;
- расщепление по фенотипу в F<sub>2</sub> 3 : 1.

## МОНОГЕННЫЕ или МЕНДЕЛИРУЮЩИЕ признаки:

- ямочки на щеках; -свободная мочка уха;
- способность свертывать язык трубочкой;
- кареглазость; -праворукость; - Rh +;
- веснушки на лице; - темные волосы;
- способность загибать язык назад; -низкий рост;
- большие глаза; - толстые губы; -»римский нос».



## 2. НЕПОЛНОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ ИЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ:

- **разный фенотип** у гомозигот и гетерозигот;
- расщепление по фенотипу в F2 **1:2:1**;

### Примеры:

- курчавые волосы (AA) и прямые волосы (aa) - волнистые волосы (Aa);
- тенор и бас - баритон;
- альтовые голоса и сопрано - меццо-сопрано;
- анофтальмия;
- цистинурия.



Отклонения от ожидаемого расщепления по законам Менделя вызывают **ЛЕТАЛЬНЫЕ ГЕНЫ**.  
Большинство летальных аллелей находится в **рецессивном** состоянии и служат причиной гибели особей, гомозиготных по ним.

**D** – не образуются спайки в легких;

**d** - образуются спайки в легких, что ведет к смерти при рождении.

**P** ♀ **Dd** × ♂ **Dd**

**G:** D,d D,d

**F1** DD, Dd, Dd, **dd – гибнет**

Расщепление по фенотипу 1 : 2.

Иногда летальной бывает **доминантная аллель**, которая вызывает гибель при образовании гомозигот. В гетерозиготном состоянии организмы остаются живыми **/расщепление в F2 2:1/**.

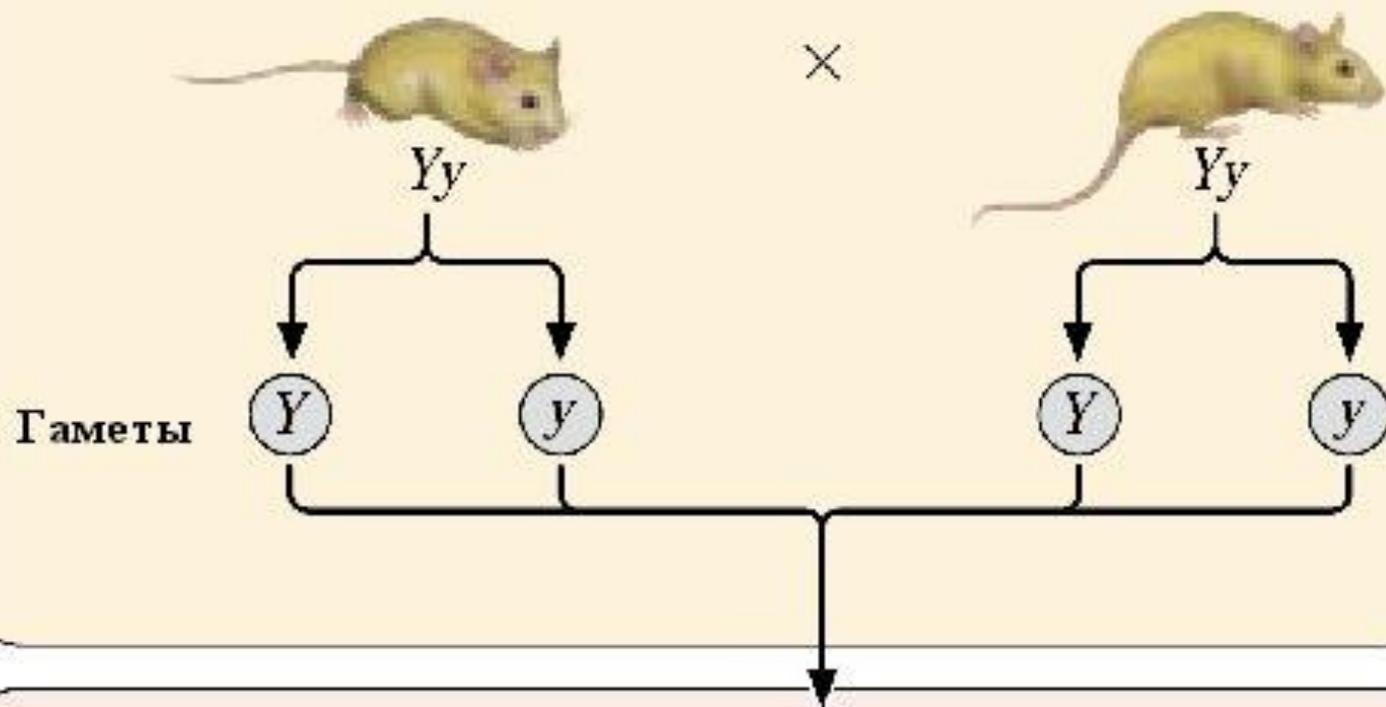
### Примеры:

- **брахидактилия** /укороченные пальцы/: признак проявляется в гетерозиготном состоянии. У АА – гибель на ранних стадиях эмбриогенеза;

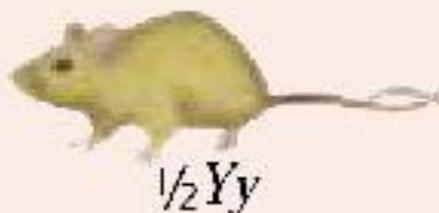


**P**

Доминантная мутация желтой окраски у мышей  
с рецессивным летальным эффектом

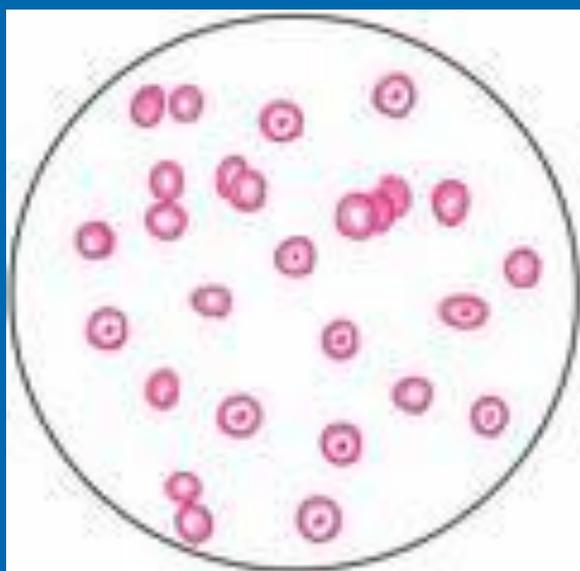


**F<sub>1</sub>**



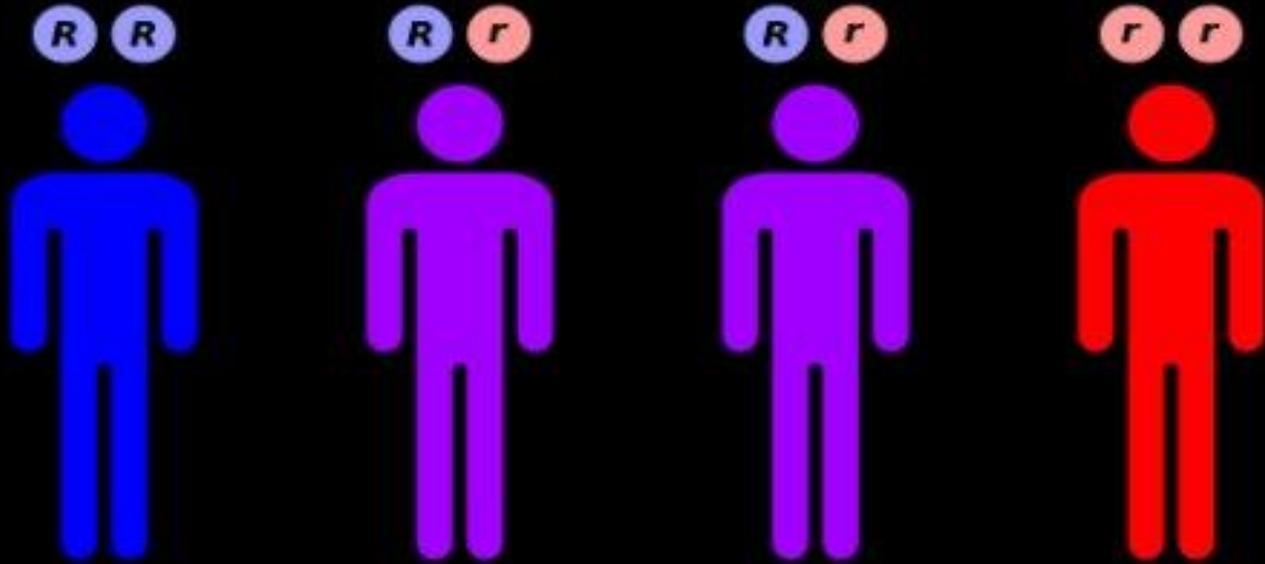
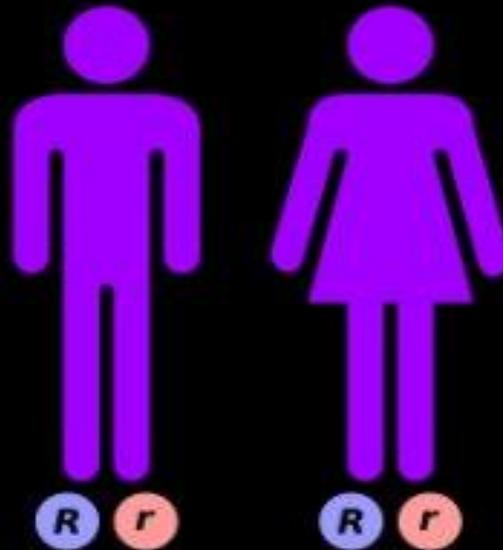
**2 желтых : 1 не желтый**

**-талассемия /AA/ - гибель в раннем детстве;**



**- серповидно-клеточная анемия /aa/ - гибель в раннем детском возрасте.**





# 3.Сверхдоминирование:

- доминантный ген в гетерозиготном состоянии проявляется **сильнее**, чем в гомозиготном;

## ПРИМЕР:

Продолжительность жизни у дрозофилы:

- **AA** - нормальная продолжительность жизни;
- **Aa** - увеличенная продолжительность жизни;
- **aa** - летальный исход.

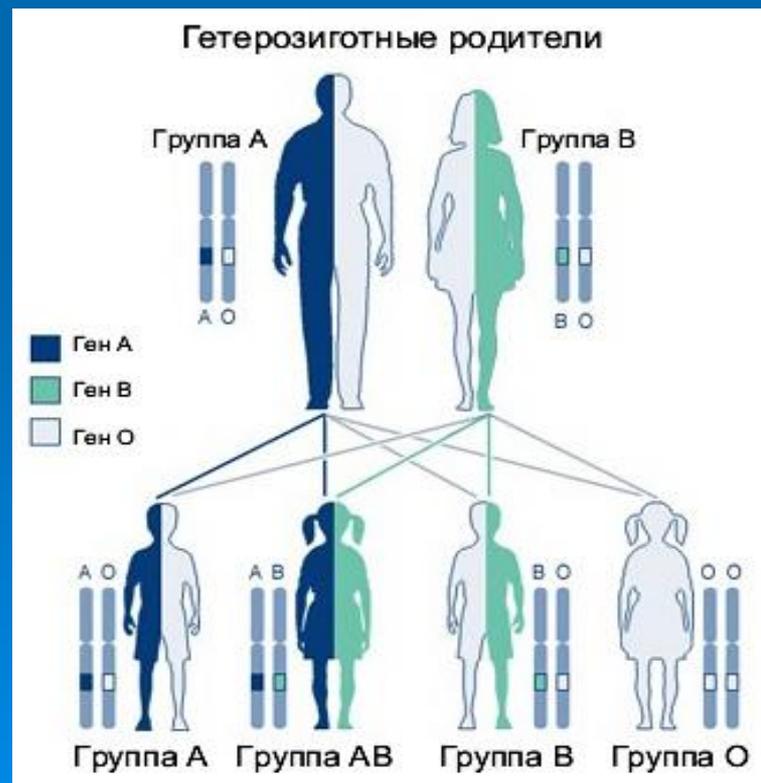


## 4. КОДОМИНИРОВАНИЕ:

- проявление у гетерозигот признаков, детерминированных обоими аллелями.

### ПРИМЕРЫ:

- $I^A I^B$  - IV группа крови по системе ABO;
- $I^M I^N$  – группа MN по системе MN.



## 5. АЛЛЕЛЬНОЕ ИСКЛЮЧЕНИЕ:

- у гетерозигот в одних клетках активна одна аллель, а в других – другая.



у млекопитающих каждая плазматическая клетка синтезирует только одну (свою) цепь иммуноглобулинов (антител).



в результате инактивации одной из двух X-хромосом, в разных клетках организма фенотипически проявляются разные аллели, находящиеся или в материнской или в отцовской X – хромосоме.

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕАЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОВ.

## 1. Комплементарное действие:

- проявление нового признака при наличии в одном генотипе 2-х доминантных неаллельных

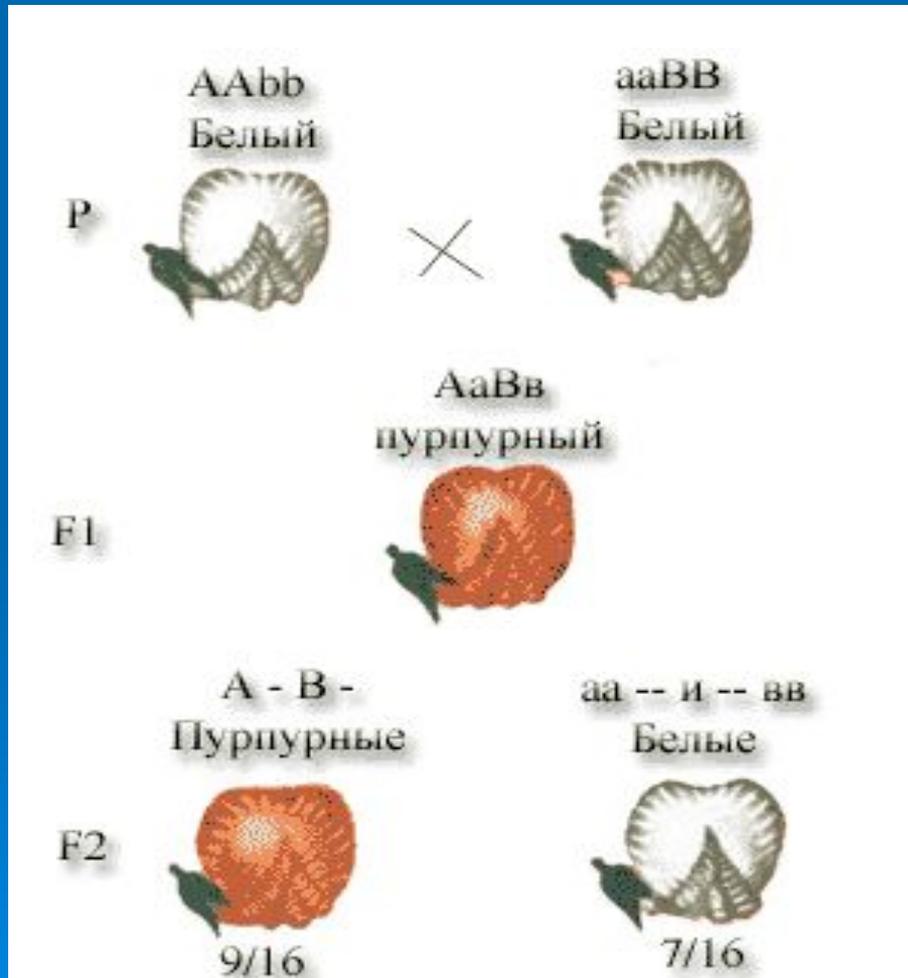
ГЕНОВ ;

Классический

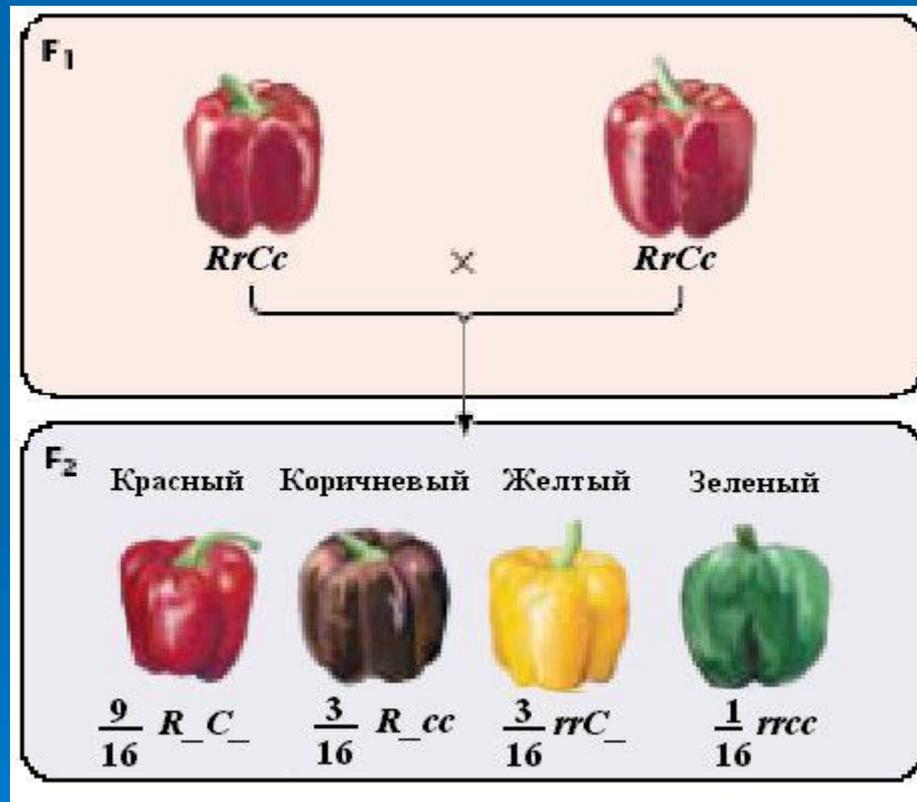
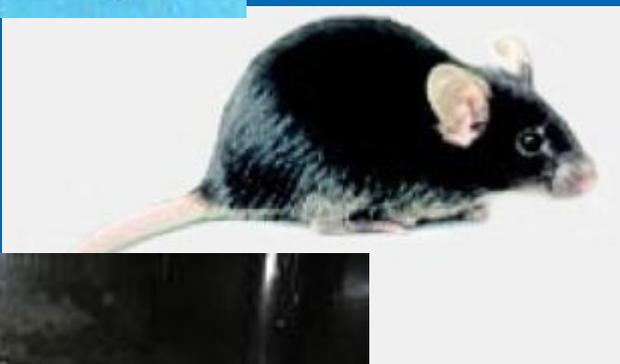
Наследование окраски цветов у душистого горошка.

У гибридов

**F2 : 9 растений с красными цветками и 7 – с белыми.**



- расщепление по фенотипу у гибридов **F<sub>2</sub> 9 : 7**  
или **9 : 3 : 4** или **9 : 3 : 3 : 1**.



## Примеры комплементарного действия у человека:

- развитие нормального слуха ( **D-E-**);
- синтез интерферона;
- синтез молекулы гемоглобина;
- наследственная близорукость;
- наследственная слепота;
- появление глаукомы;
- пигментация волос;
- глухонемота;
- развитие ретинобластомы и нефробластомы;
- формирование половой принадлежности  
/ синдром Морриса/.

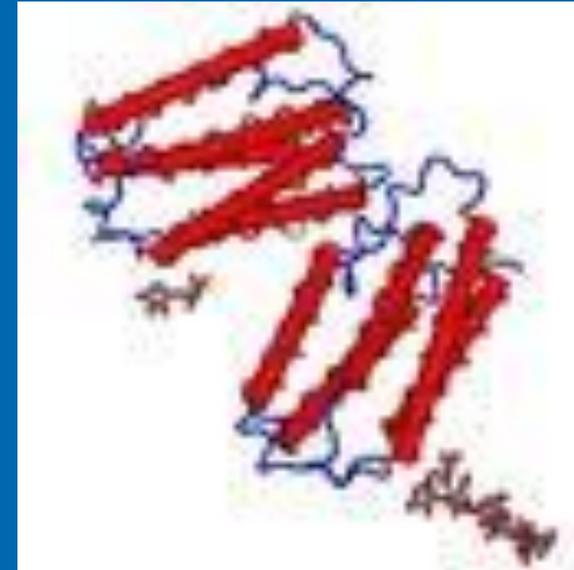
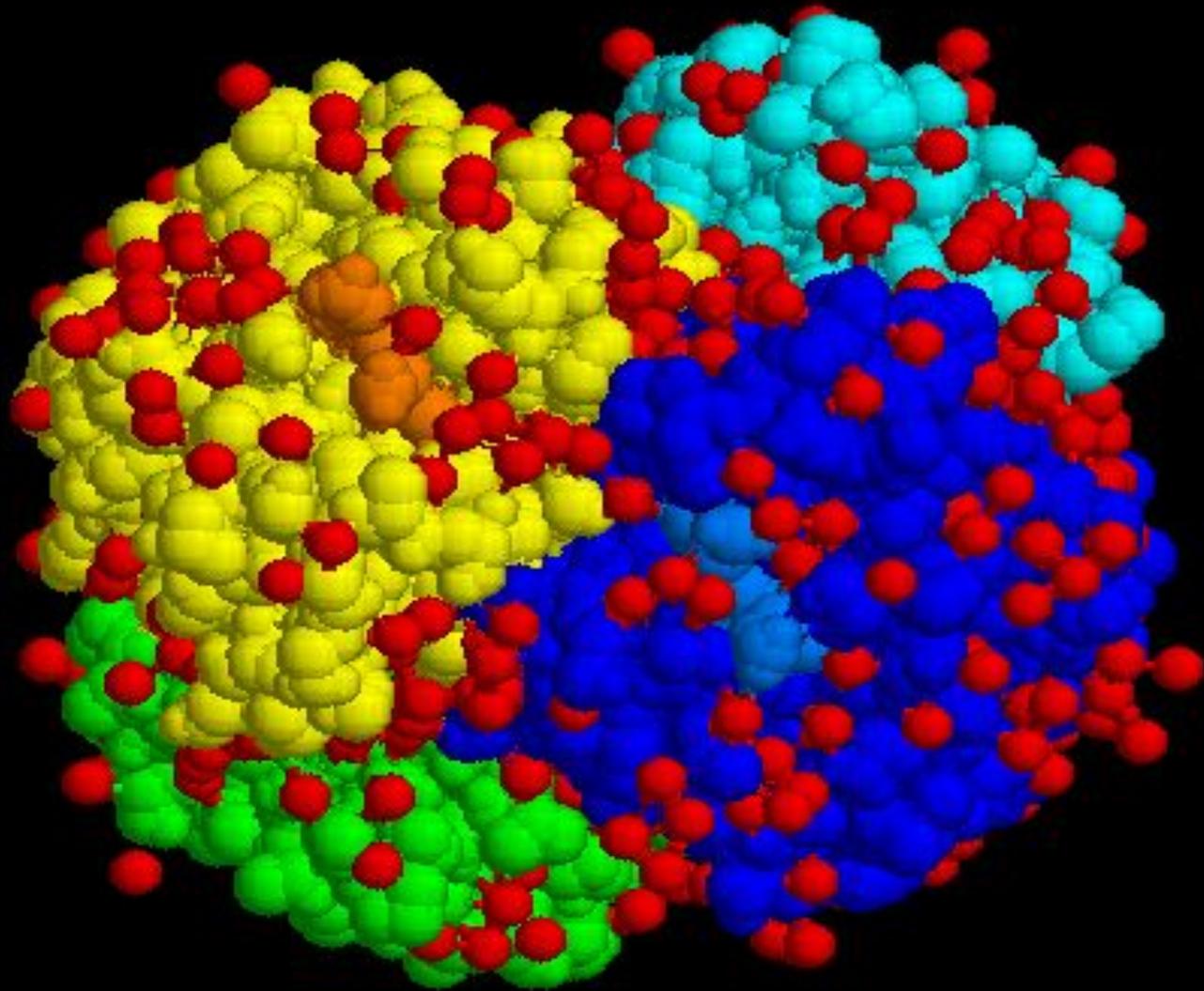




PLATE XL. QUEEN ELIZABETH, 1589: *Portrait by an unknown artist*  
Private collection



## 2.ЭПИСТАЗ:

- ген одной аллельной пары ( доминантный или рецессивный) подавляет действие неаллельного гена другой пары.

**ГЕН-СУПРЕССОР** — **I** или **i** > **C**- гипостатический ген.

**Классический пример:** наследование окраски

оперения у кур.

Решение

P: ♀ CCII × ♂ ccii

G: (CI) (ci)

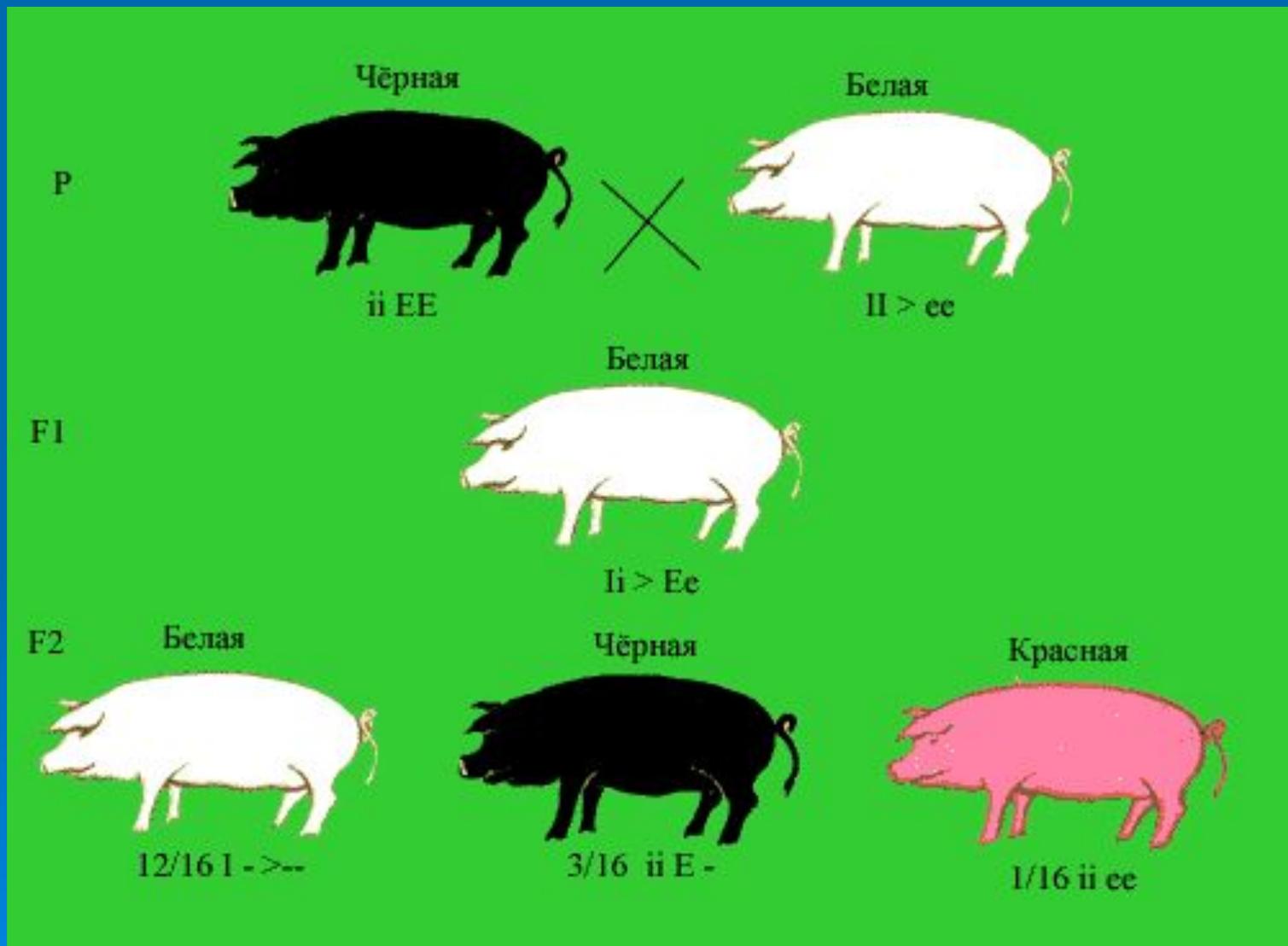
F<sub>1</sub>: Ccli — 100% — белые

F<sub>2</sub>: Ccli × Ccli

♂ \ ♀	CI	Ci	cl	ci
CI	CCII	CCfi	Ccli	Ccli
Ci	CCfi	CCii	Ccli	Ccii
cl	Ccli	Ccli	ccli	ccli
ci	Ccli	Ccii	ccli	ccii

В **F<sub>2</sub>** получили  
**13** белых кур и  
**3** черных.

# Расщепление по фенотипу в F2 13 :3 ИЛИ 12 : 3 : 1.



## Примеры эпистаза у человека:

- ферментопатии – наличие или отсутствие продуктов реализации какого-либо гена препятствует образованию жизненно важных ферментов, кодируемых другим геном.
- подавление выделения антигенов по системе АВО в слюне и других секретах при наличии в гомозиготном состоянии рецессивного гена по другой системе крови – системе Люис.
- формирование групповой принадлежности крови по системе АВО /»бомбейский феномен»/.

$P \quad \text{♀} \quad I^{O/B} I^O X X \times \text{♂} \quad I^A I^O X X$

$F1 \quad I^A I^B X x$

**«Бомбейский феномен»** - редкий рецессивный аллель **«х»** в гомозиготном состоянии (**хх**) препятствует формированию антигенов на поверхности эритроцитов и подавляет активность доминантного аллеля гена **I** по системе **ABO / I<sup>A</sup>** или **I<sup>B</sup>** /; фенотипически эти аллели не проявляются и формируется **I-я группа крови.**

### **3. ПОЛИМЕРИЯ.**

Доминантные гены из разных аллельных пар усиливающие проявление одного и того же признака называются **полимерными.**

Взаимодействие таких генов в процессе формирования признака называется **ПОЛИМЕРИЕЙ.**

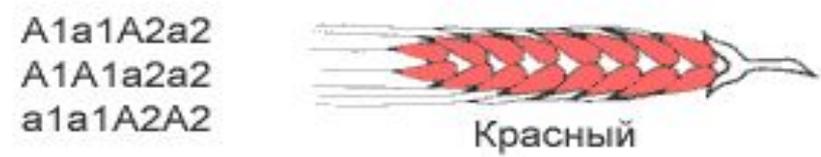
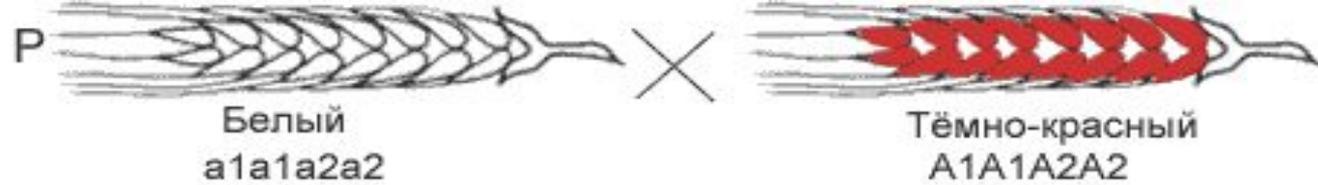
С помощью полимерных генов наследуются количественные или **полигенные признаки**.

Полимерные гены обозначают одной буквой латинского алфавита с цифровым индексом -

- **A<sub>1</sub>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>A<sub>2</sub>A<sub>3</sub>A<sub>3</sub>**.

Полимерия была открыта и изучена шведским генетиком **Нильсоном-Эле** в **1908 г.** при изучении наследования окраски зерна у пшеницы.

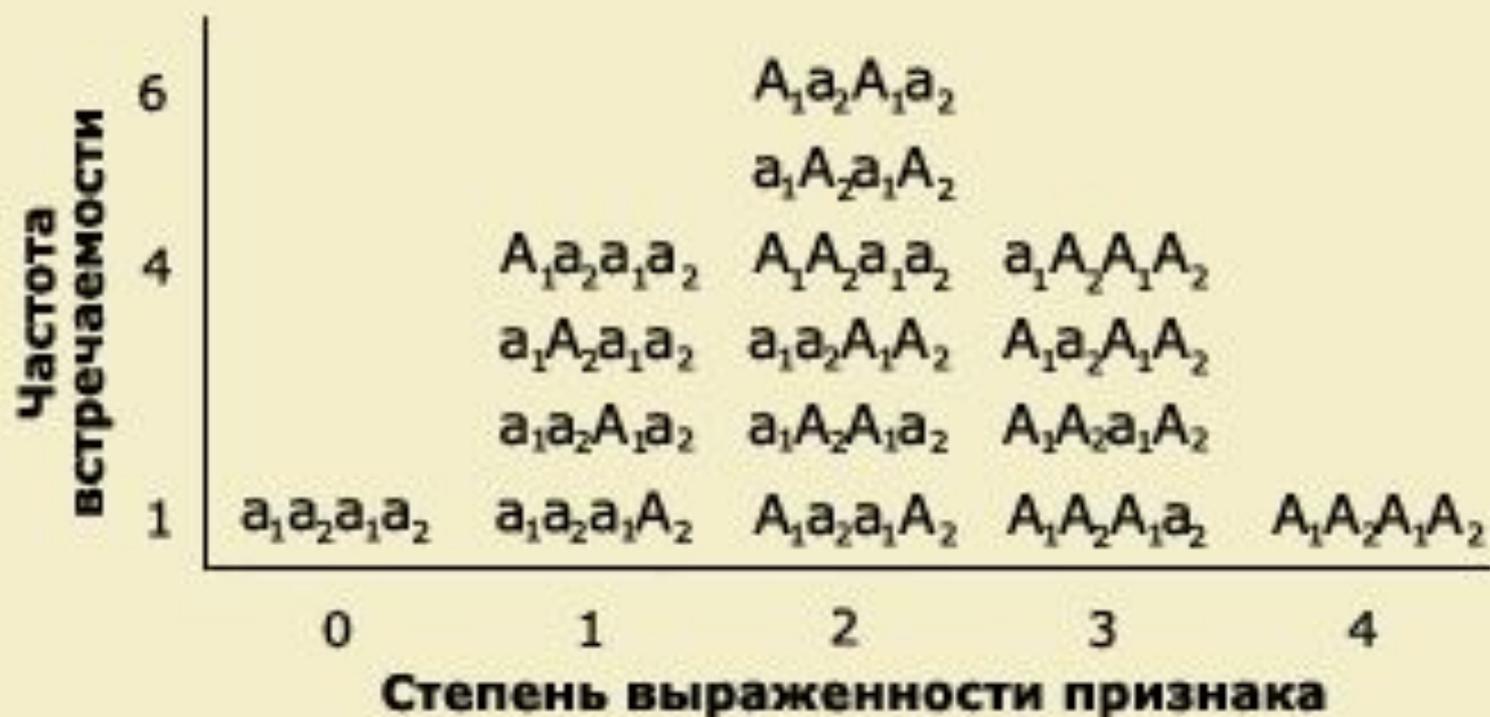
Важная особенность полимерии – суммирование действия неаллельных генов на развитие **количественных признаков**.



**Таблица 4.1**

Решетка Пеннета для дигибридного скрещивания в случае полимерного действия генов

		Мужские гаметы			
		$A_1A_2$	$A_1a_2$	$a_1A_2$	$a_1a_2$
Женские гаметы	$A_1A_2$	$A_1A_2$ $A_1A_2$ <b>4</b>	$a_1A_2$ $A_1A_2$ <b>3</b>	$a_1A_2$ $A_1A_2$ <b>3</b>	$a_1a_2$ $A_1A_2$ <b>2</b>
	$A_1a_2$	$A_1A_2$ $A_1a_2$ <b>3</b>	$A_1a_2$ $A_1a_2$ <b>2</b>	$a_1A_2$ $A_1a_2$ <b>2</b>	$a_1a_2$ $A_1a_2$ <b>1</b>
	$a_1A_2$	$A_1A_2$ $a_1A_2$ <b>3</b>	$A_1a_2$ $a_1A_2$ <b>2</b>	$A_1a_2$ $a_1A_2$ <b>2</b>	$a_1a_2$ $a_1A_2$ <b>1</b>
	$a_1a_2$	$A_1A_2$ $a_1a_2$ <b>2</b>	$A_1a_2$ $a_1a_2$ <b>1</b>	$a_1A_2$ $a_1a_2$ <b>1</b>	$a_1a_2$ $a_1a_2$ <b>0</b>



**Рис. 4.4**

*Возникновение количественной изменчивости при дигибридном скрещивании*

Расщепление по фенотипу в F<sub>2</sub> 15 :1.

## Биологическое значение полимерии:

полигенные признаки более **стабильны**, чем моногенные. Организм без полимерных генов был бы **крайне неустойчив**: любая мутация приводила бы к **резкой изменчивости**.

У человека многие морфологические, физиологические и патологические особенности определяются **полимерными генами**:

рост, вес, величина артериального давления, осн.обм. пигментация кожи, телосложение, продолжит.жизни, развитие умственных способностей, склонность к гастритам, ожирению, сахарному диабету, шизофрении, невосприимчивость к инфекцион.заболеваниям.

Развитие **полигенных** признаков у человека подчиняется общим законам полигенного наследования и зависит от **условий внешней среды**.

Например: предрасположенность к гипертонической болезни, ожирению.

Эти признаки при благоприятных условиях среды могут и не проявиться или проявиться в незначительной степени. Этим **полигенно-наследственные** признаки отличаются от **моногенных**.

Изменяя условия среды можно в значительной мере обеспечить профилактику ряда полигенных или **мультифакториальных** заболеваний.

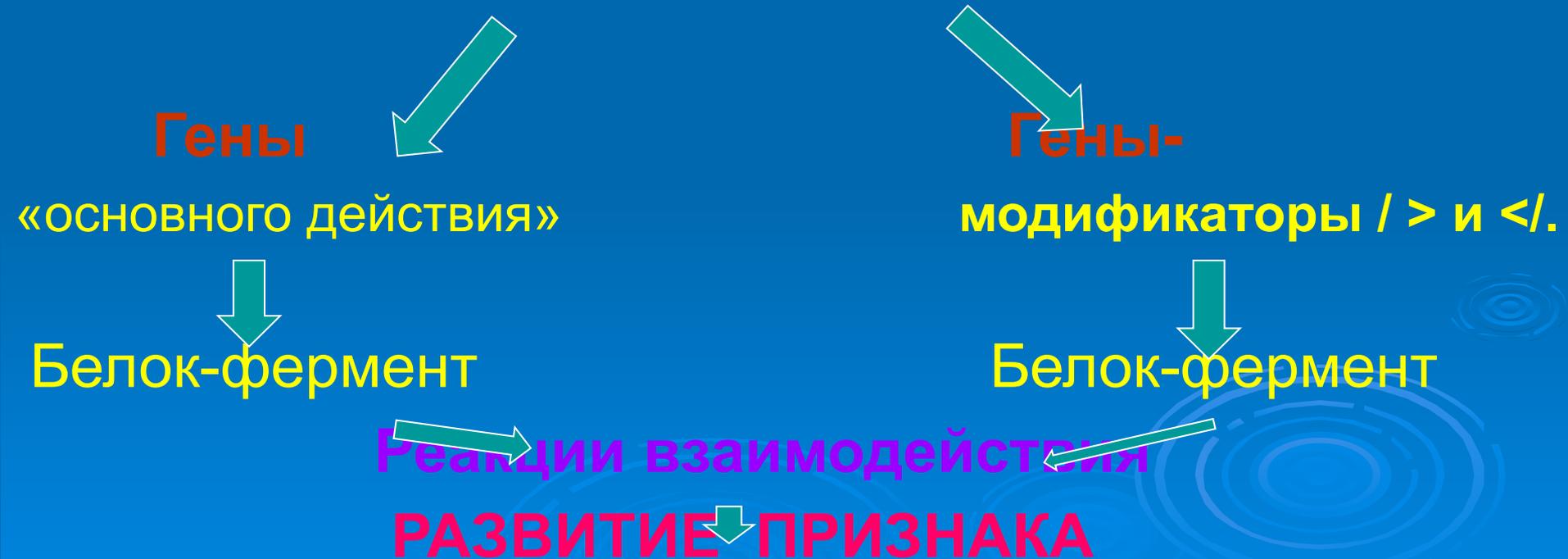
**4.»ЭФФЕКТ ПОЛОЖЕНИЯ»** - взаимное влияние генов разных аллелей, занимающих близлежащие локусы одной хромосомы. Оно проявляется в изменении их функциональной активности.

**Rh- принадлежность** человека определяется 3-я тесно сцепленными генами, расположенными в одной хромосоме.

Организмы с набором генов **CDE/cDe** и **CDe/cDE** генетически идентичны (общий баланс генов одинаковый). Но у лиц с 1-й комбинацией генов образуется **много антигена E** и **мало антигена C**, а у лиц со 2-м генотипом - **< антигена E и > - C**.

**Любой признак или свойство** в организме развивается в результате сложных, последовательно связанных между собой биохимических реакций и морфо-физиологических процессов, контролируемых **многими генами**.

## МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ.



**Любые гены** в организме в одно и то же время могут быть генами «основного действия» по одним признакам и **генами-модификаторами** по другим.

## **ПЛЕЙОТРОПИЯ:**

- один ген отвечает за проявление нескольких признаков /множественное действие гена/.



**Примерами** плеiotропного действия генов у человека служат синдромы Марфана /паучьи пальцы/, «голубых склер», болезнь Хартнепа, серповидно-клеточная анемия.

# СИНДРОМ МАРФАНА /арахнодактилия/.

нарушение развития соединительной ткани

Аномалии  
скелета

Пороки сердечно-  
сосудистой системы

Аномалии  
глаза

Удлинение фаланг  
пальцев рук и ног

Аневризма  
аорты

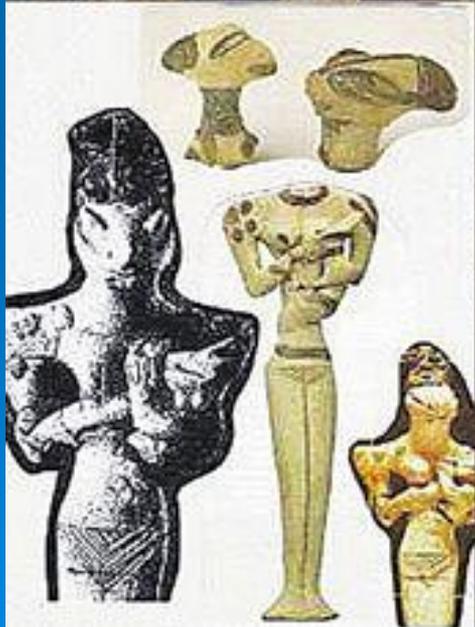
Близорукость

Высокий свод стопы

Деформированная  
грудная клетка

Подвывих

хрусталика







[www.spina.net.ua](http://www.spina.net.ua)





# ПЛЕЙОТРОПИЯ

## ПЕРВИЧНАЯ

Белок-фермент

Последовательность  
химических реакций

Признак В

Признак А

Признак С

Болезнь Хартнепа

## ВТОРИЧНАЯ

Белок-фермент

Последовательность  
химических реакций

Признак А

Признак В

Признак С

Серповидно-  
клеточная анемия

Показателями, характеризующими фенотипическое проявление гена в популяции является

## **ЭКСПРЕССИВНОСТЬ и ПЕНЕТРАНТНОСТЬ.**

Термины были предложены русским ученым

**Н.В.Тимофеевым-Ресовским в 1925 г.**

**ЭКСПРЕССИВНОСТЬ** /от лат.*expressio*-выражение/

- степень выраженности признака у разных особей – носителей соответствующего гена.

**ПЕНЕТРАНТНОСТЬ**/ от лат.*penetrans*-проникнове-

ние/ - частота фенотипического проявления гена в популяции особей, являющихся его носителями /100%- полная, <100%неполная/.

Э.и П.-опред. взаимодействием гена с генотипической и внешней средой.

# □ ХРОМОСОМНАЯ ТЕРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ



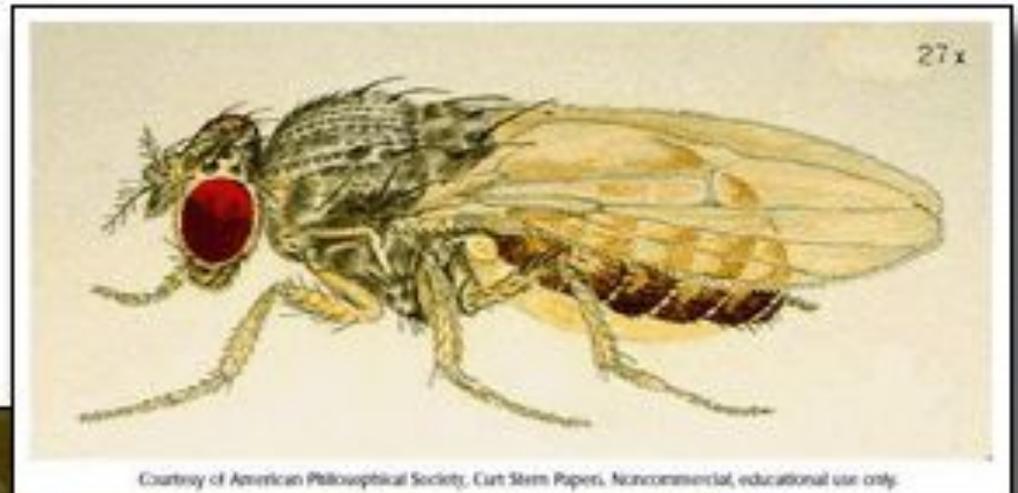
**ХРОМОСОМНАЯ ТЕРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ-**  
была сформулирована **Т.Морганом** и его учениками **К.Бриджесом, А.Стертевантом, Г.Меллером** в 1925г.,  
что явилось итогом изучения основных закономерностей наследственности **на уровне клетки.**

**В 1902 г. В.Саттон и Т.Бовери** независимо друг от друга пришли к выводу, что именно **в хромосомах** и **находятся гены.**

Целый ряд свойств и признаков у многих организмов наследуется всегда в определенном сочетании друг с другом /**явление сцепления генов** было открыто **в 1906 г. В.Бэтсоном и Р.Пеннетом/.**

Объяснение этому явлению дали америк.генетик **Т.МОРГАН** и его сотрудники, работая с плодовой мушкой дрозофилой – **Drosophila melanogaster.**

Early Fly drawing



Portrait of Morgan at Work

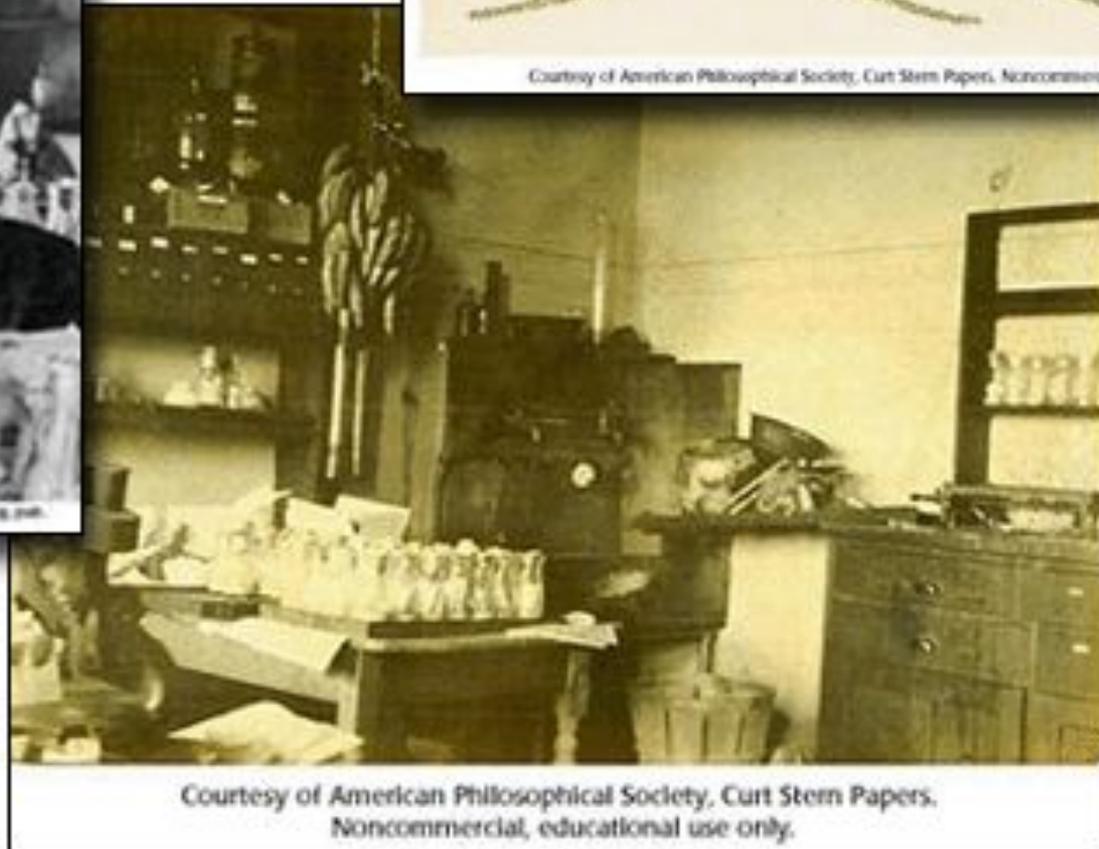


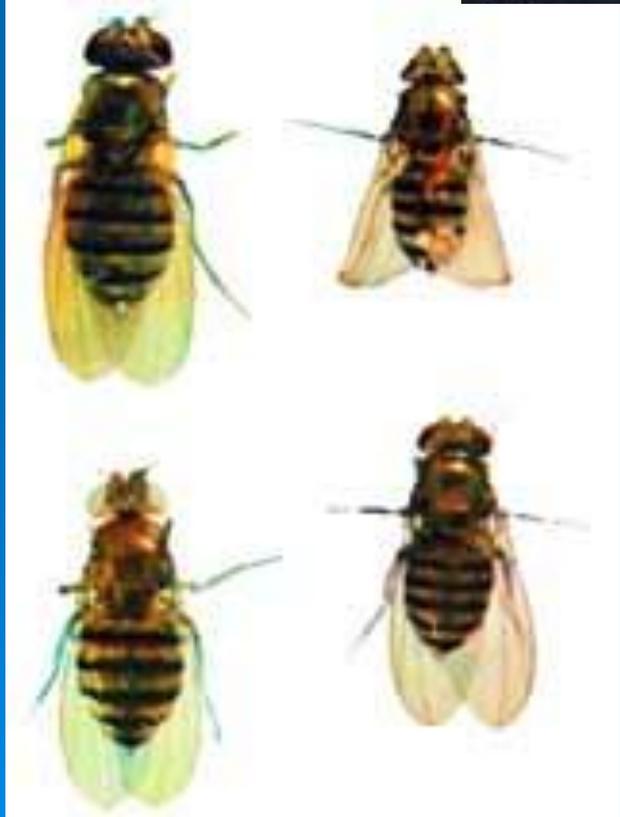
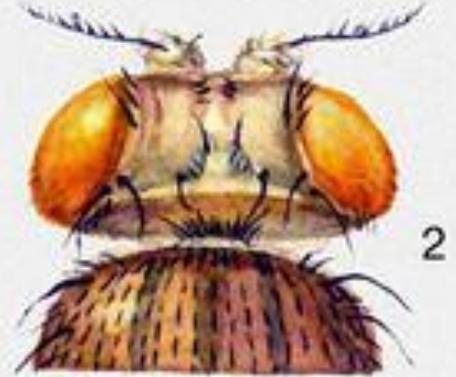
Photo of Morgan's fly room at Columbia University

К началу XX в. были сделаны следующие **научные открытия**, сыгравшие важную роль в развитии данного этапа генетики:

1. Г. де Фриз, К. Корренс и Э. Чермак переоткрыли законы Г. Менделя.
2. А. Вейсманом была сформулирована гипотеза о том, что наследственный материал должен находиться в хромосомах.
3. Подробно изучены процессы митоза и мейоза.
4. Ф. Янсен описал образование хиазм в процессе мейоза при формировании гамет у насекомых.
5. Установлены отличия в хромосомных наборах клеток мужских и женских организмов.

Успех способствовал Т.Моргану, благодаря  
удачному выбору объекта исследований:

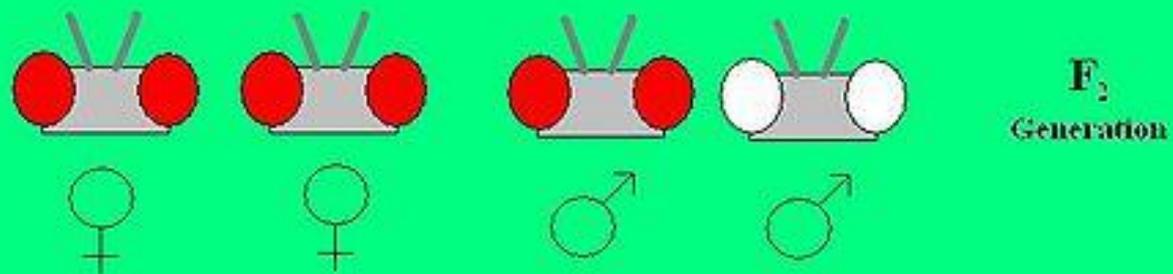
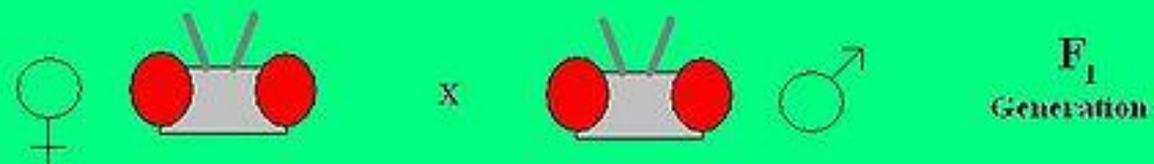
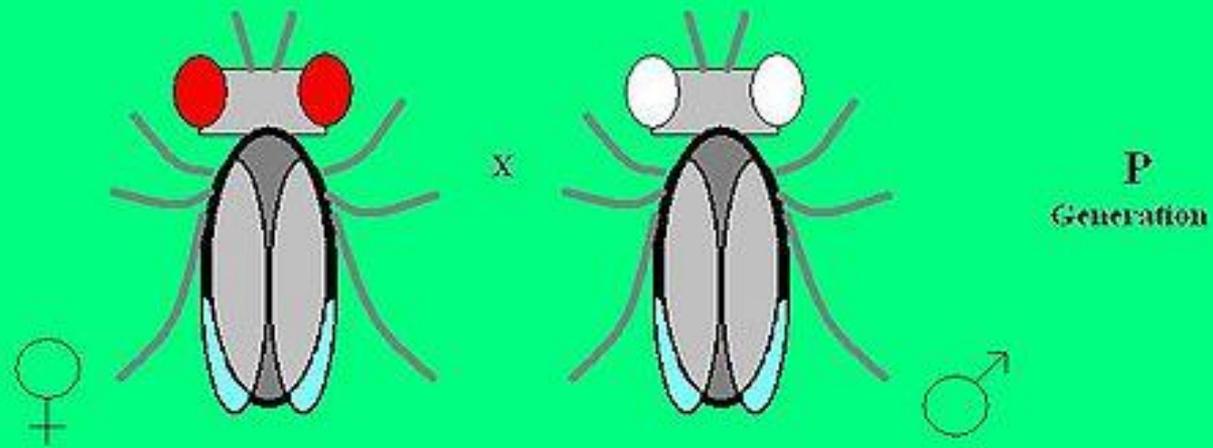
1. Мушка неприхотлива, ее легко содержать в лабораторных условиях.
2. Легко и быстро /жизненный цикл 2 недели/ разводится, дает достаточное количество особей в следующем поколении и за год воспроизводит **до 20 генераций**.
3. Обладает множеством мутаций, полученных в лабораторных условиях, что позволяет проводить гибридологический анализ.
4. Имеет всего **4 пары хромосом**, что дало возможность выявить группы сцепления для многих генов.

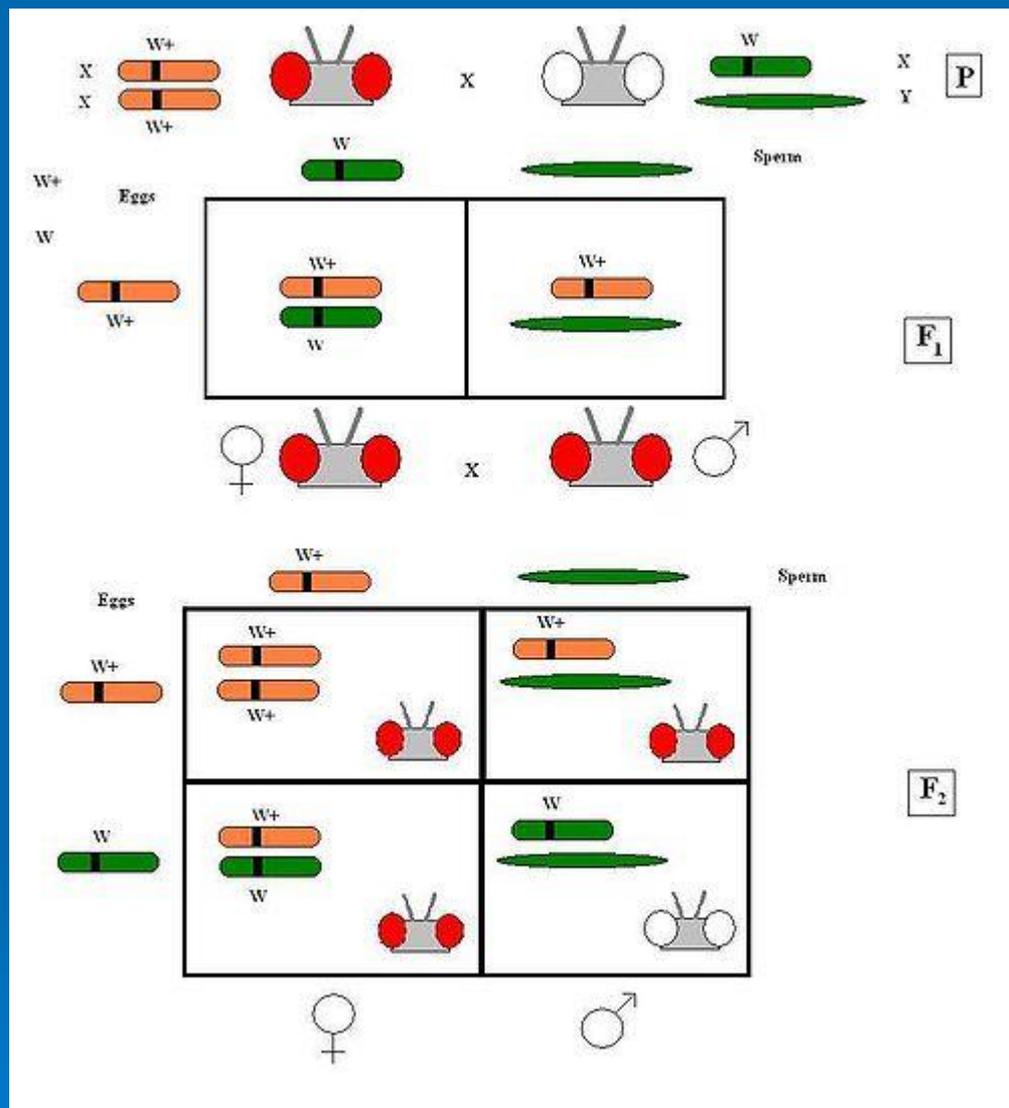
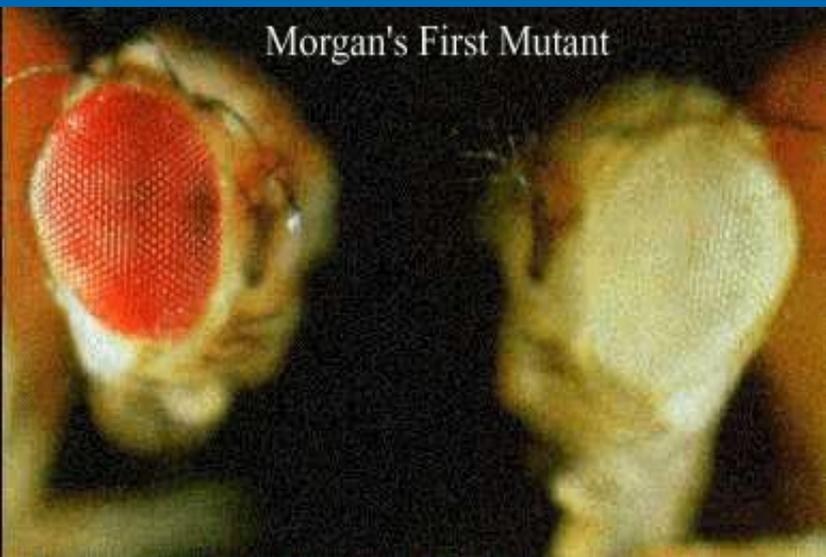


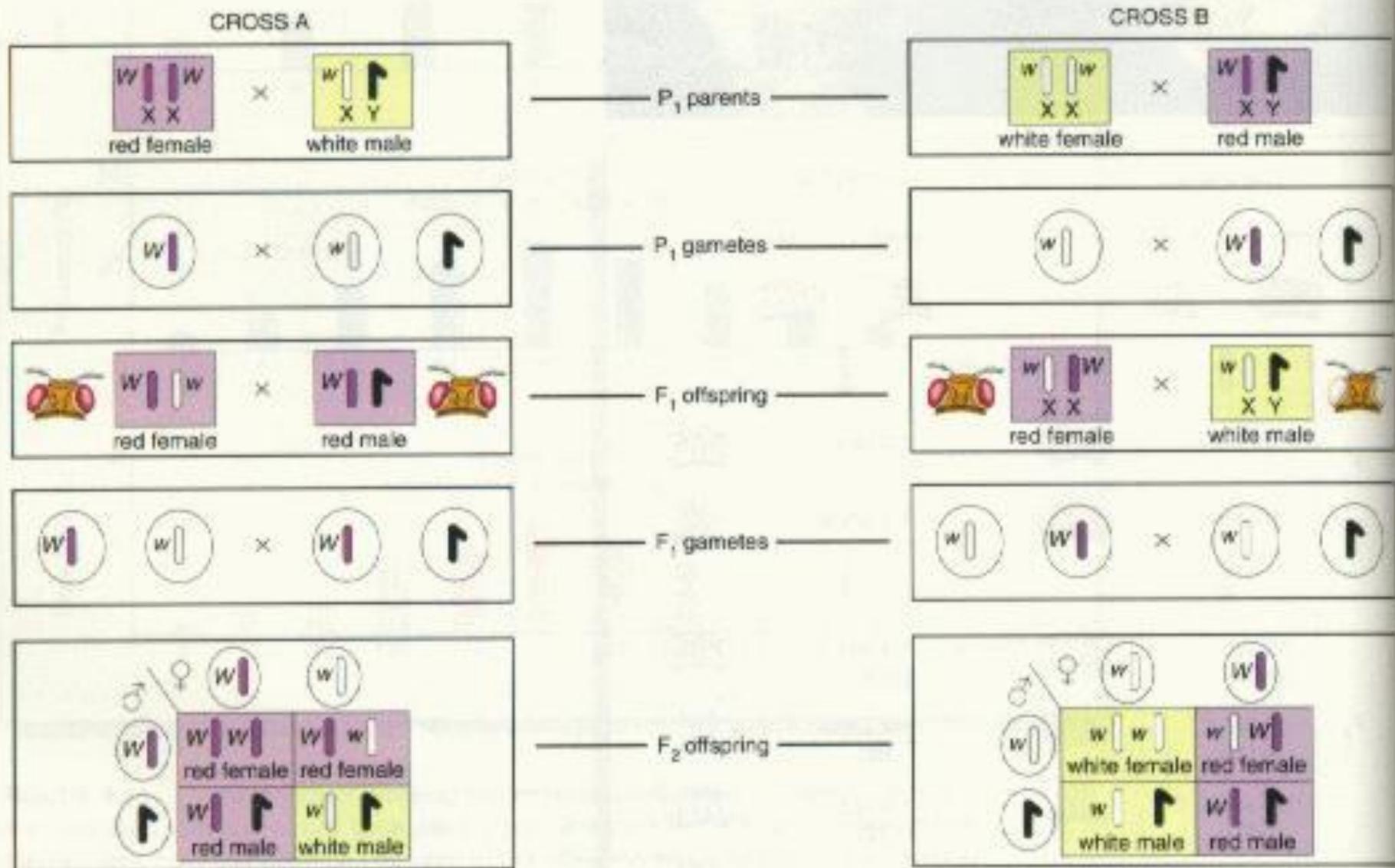
Т.Морган в опытах с дрозофилой создает **ХРОМОСОМНУЮ ТЕОРИЮ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ** – крупнейшее открытие, занимающее, по выражению Н.К.Кольцова, « то же место в биологии , как молекулярная теория в химии и теория атомных структур в физике».

Первая серия опытов была посвящена **моногибридному скрещиванию.**

Скрещивая мух ,отличающихся по цвету глаз, и проводя затем **реципрокные** скрещивания, он обнаружил, что наследование этих признаков по **разному** проявляется у самцов и самок.







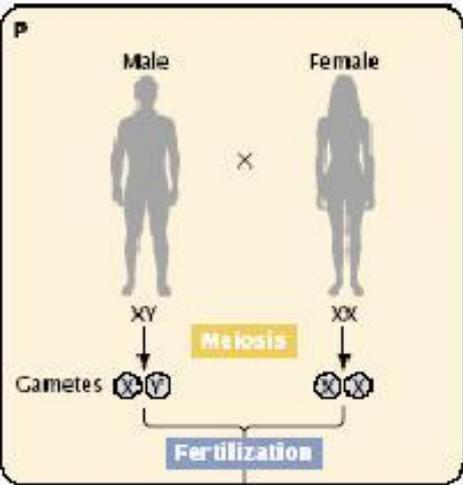
**FIGURE 4.17** The chromosomal explanation of the results of the sex-linked crosses shown in Figure 4.16.

Анализируя результаты этих опытов, Т.Морган пришел к выводу о том, что наследование цвета глаз у мухи дрозофилы связано с **полом**, что гены, кодирующие цвет глаз локализируются в **X-хромосоме**.

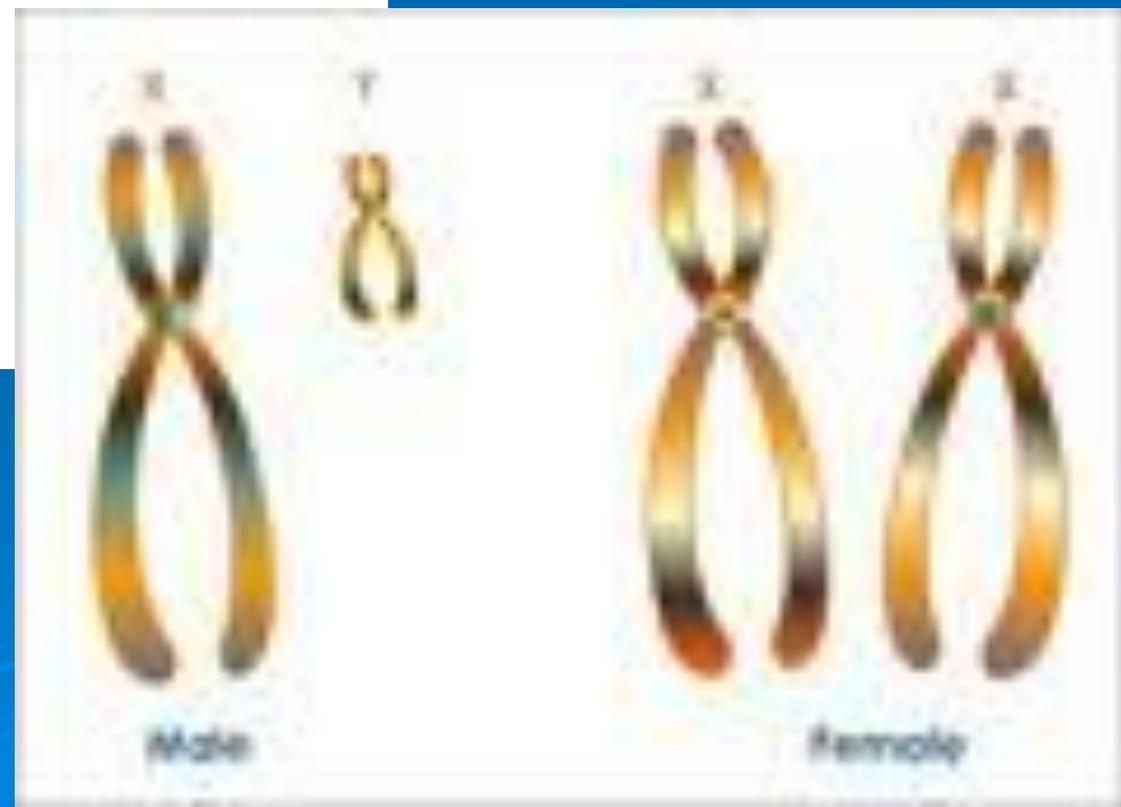
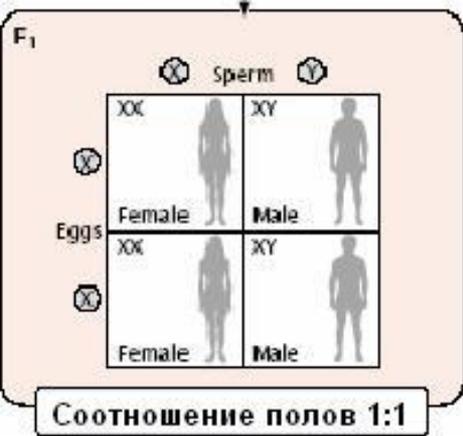
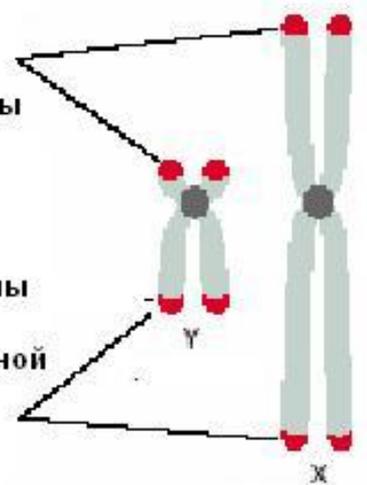
Признаки, наследуемые через половые хромосомы, получили название **СЦЕПЛЕННЫХ С ПОЛОМ**.

У человека признаки, наследуемые через **Y-хромосому**, могут быть только у лиц мужского пола, а наследуемые через **X-хромосому** – у лиц как одного, так и другого пола.

У лиц мужского пола все гены, локализованные в одной **X-хромосоме** /даже рецессивные/, сразу же проявляются в фенотипе – такой организм называют **ГЕМИЗИГОТНЫМ**.

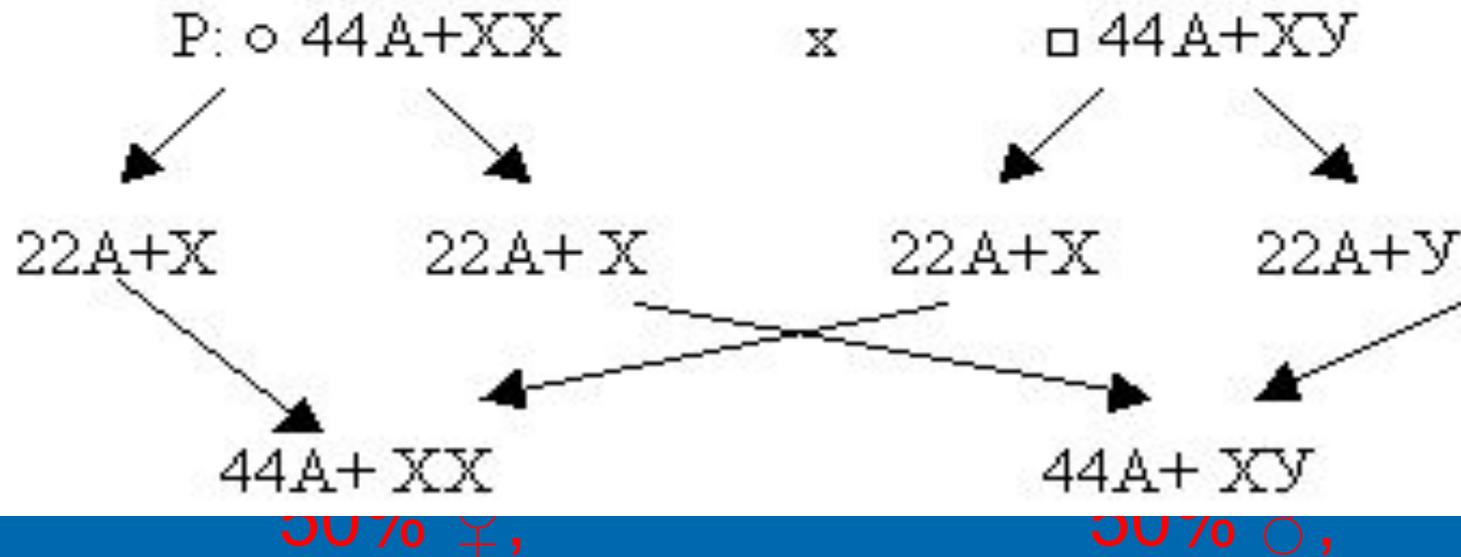


X и Y хромосомы отличаются по размеру и содержанию генов. Они гомологичны только в псевдоаутосомной области



# ГЕНЕТИКА ПОЛА.

## Схема формирования пола у человека



У человека, млекопитающих, дрозофилы, высших ракообразных, большинства амфибий определение пола происходит в момент оплодотворения и зависит от вида сперматозоона.

# Типы регуляции пола половыми хромосомами:

1. XY – тип / ♀ - XX, ♂ - XY /.

2. ZO – тип / ♀ - ZO (XO), ♂ - ZZ (XX) /.

Встречается только у одного вида ящериц и моли.

3. XO – тип / ♀ - XX, ♂ - XO /.

Встречается у некоторых насекомых ( клопы, прямокрылые, пауки), круглые черви.

4. ZW – тип / ♀ - ZW (XY), ♂ - ZZ (XX) /.

Встречается у некоторых рыб, бабочек, птиц, пресмыкающихся.

5. Количеством наборов аутосом. У пчел, ос муравьев, нет половых хромосом. Все самки диплоидны (развиваются из оплодотворенных яиц), а самцы – гаплоидны (из неоплод. яиц).

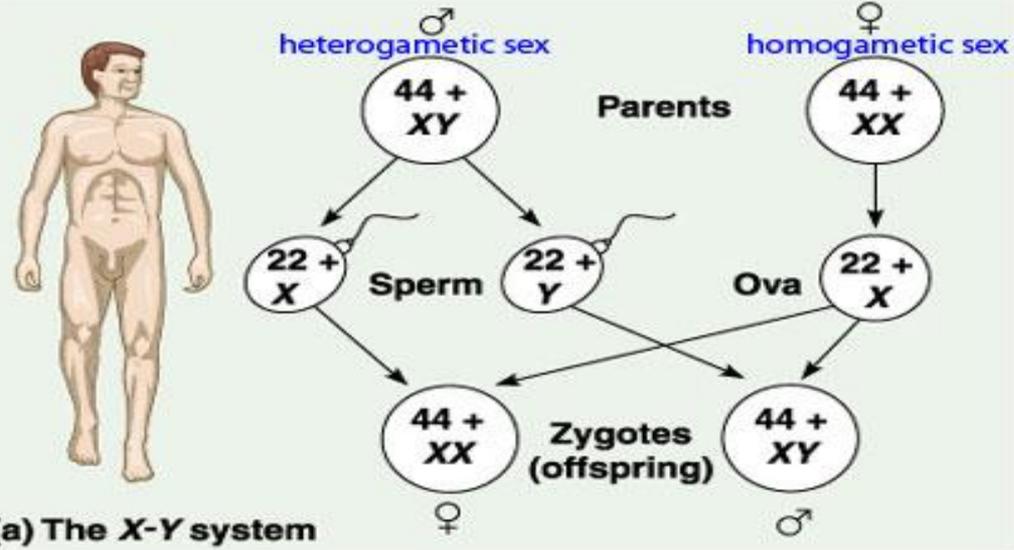
У некоторых животных определение пола зависит  
от **внешних условий**:

1. Морской червь **бонелия** /Тип Кольчатые черви/:

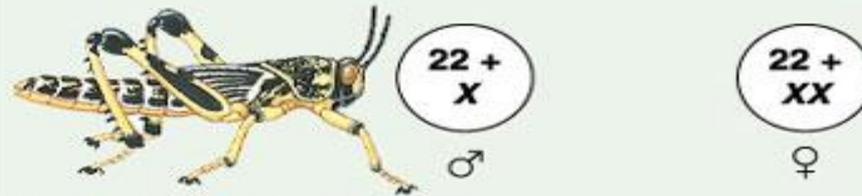
Свободноплавающие личинки становятся самками, а оседающие на хоботок взрослой особи под влиянием ее гормона – самцами.

2. У некоторых **рыб** возникает вторичное переопределение пола / гуппи, меченосцы, коралловые рыбы – лабroidы/.

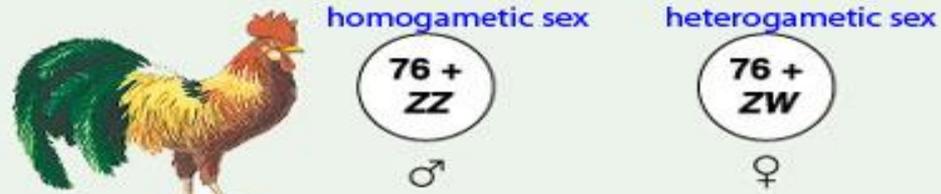
3. У **крокодилов**: из отложенных яиц в зависимости от температуры окружающей среды могут вылупляться или самцы или самки.



(a) The X-Y system



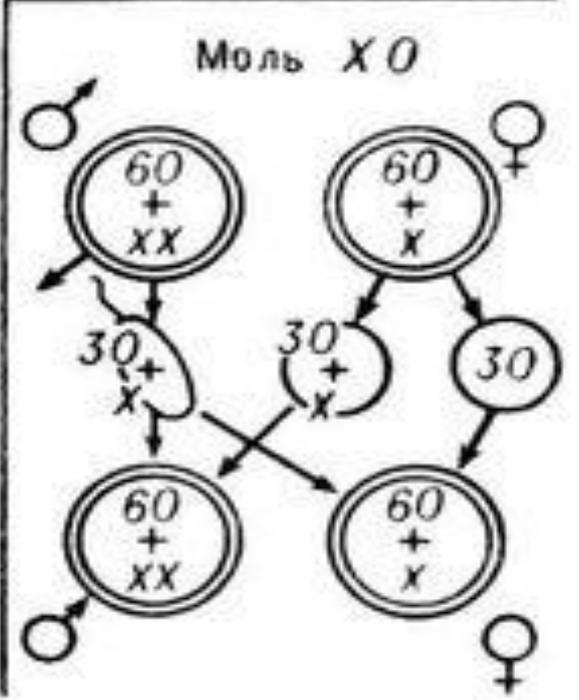
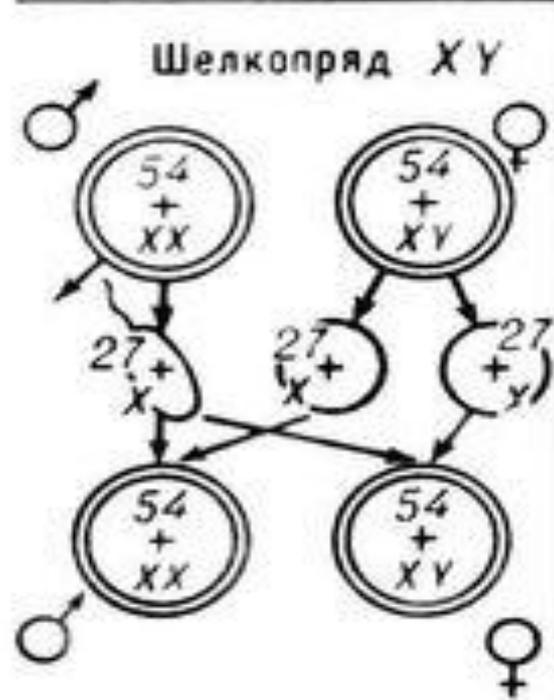
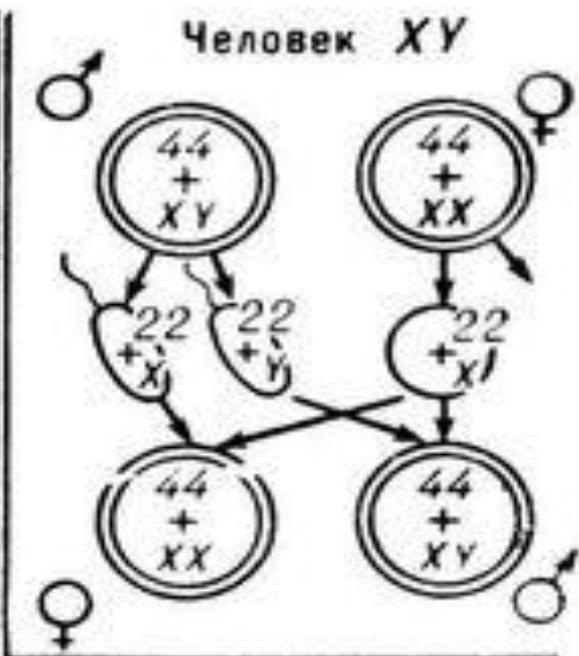
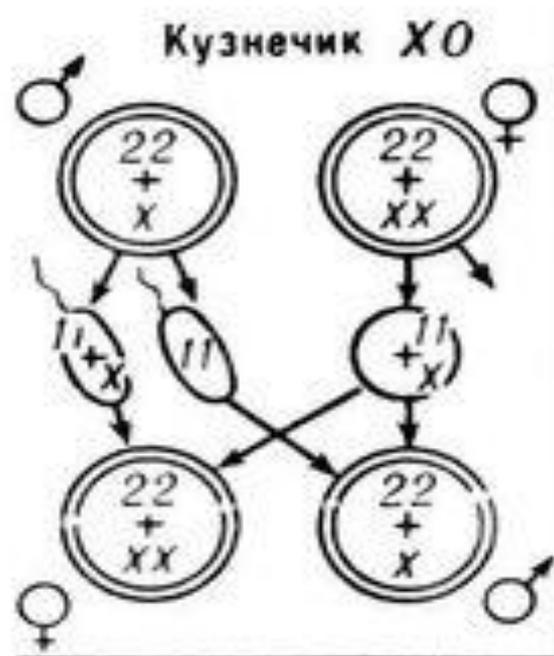
(b) The X-0 system



(c) The Z-W system



(d) The haplo-diploid system



# Признаки организма, связанные с полом.

## 1. Признаки, контролируемые полом:

Развитие этих признаков обусловлено генами, расположенными в аутосомах обоих полов, но степень проявления их (экспрессивность) разная у мужчин и женщин.

Изменение доминирования гена обусловлено половыми гормонами.



## 2. Признаки, ограниченные полом:

Развитие этих признаков обусловлено генами, расположенными в аутосомах обоих полов, но проявляются они только у одного пола – **Лактация у женщин.**

## 3. Признаки, сцепленные с половыми хромосомами:

- Гены парного сегмента X- и Y- хромосом;
- Гены негомологичного участка X-хромосомы / X-сцепленные признаки/;
- Гены негомологичного участка Y-хромосомы.

- В парном сегменте (гомологичном для X- и Y-хромосом) локализованы гены, детерминирующие:

- 1.Пигментную ксеродерму;
- 2.Эпидермолиз буллезный;
- 3.Спастическую параплегию;
- 4.Болезнь ОГУЧИ.

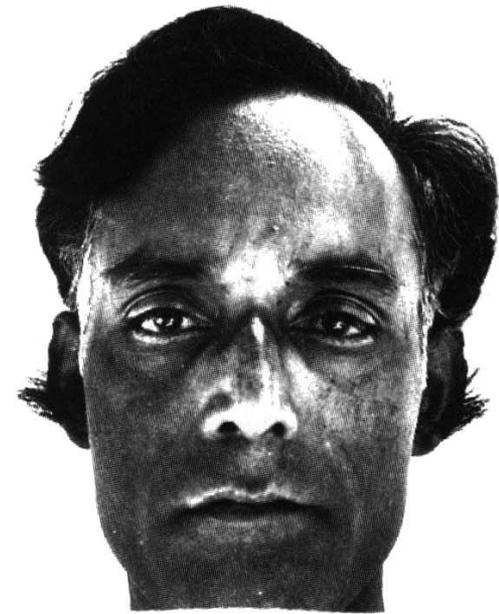
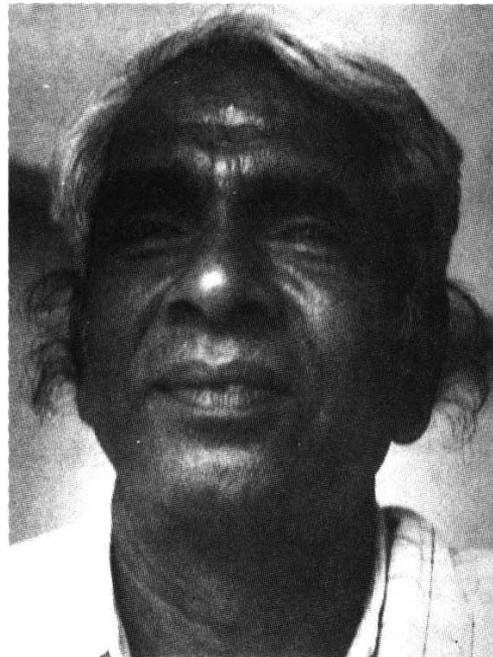
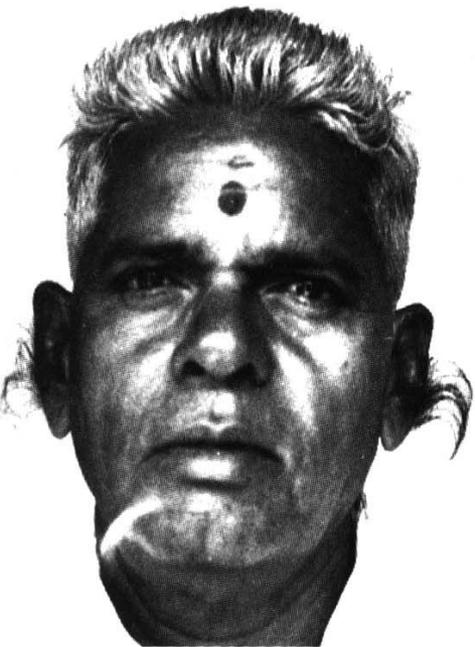
Эти признаки могут передаваться как с X-, так и с Y-хромосомой /частично сцеплены с полом/.

-В непарном участке Y-хромосомы находятся:

- 1.Гены, детерминирующие пол.
- 2.Гены, обуславливающие голандрические признаки / встречаются только у мужчин и передаются от отца всем сыновьям/.

# Голандрические признаки:

## 1. Волосатость ушей;





## - - Гены негомологичного участка X-хромосомы / X – сцепленные признаки/:

### -Рецессивные гены:

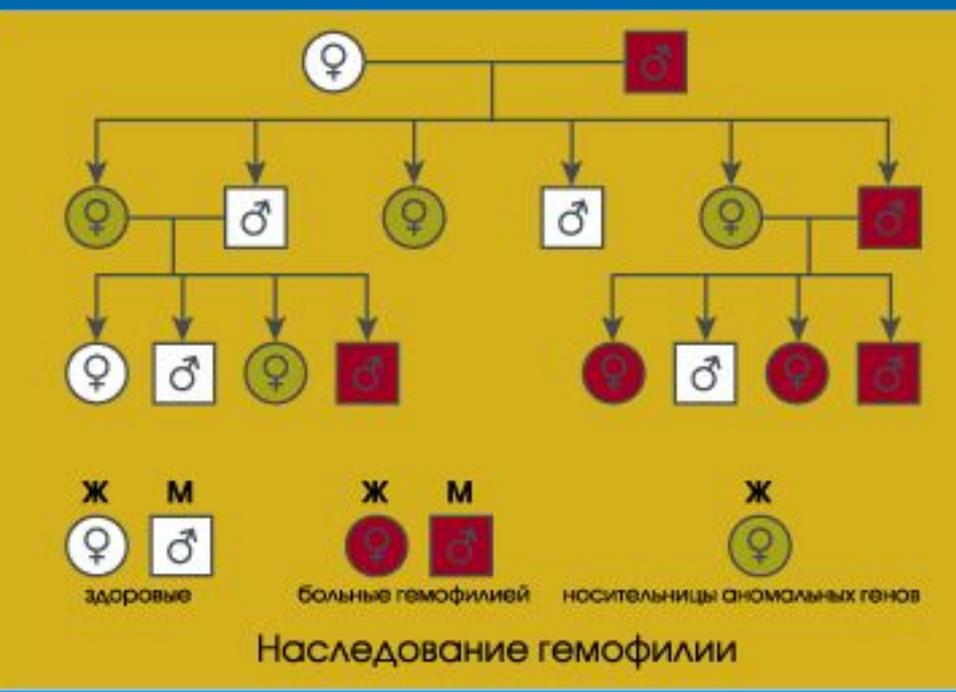
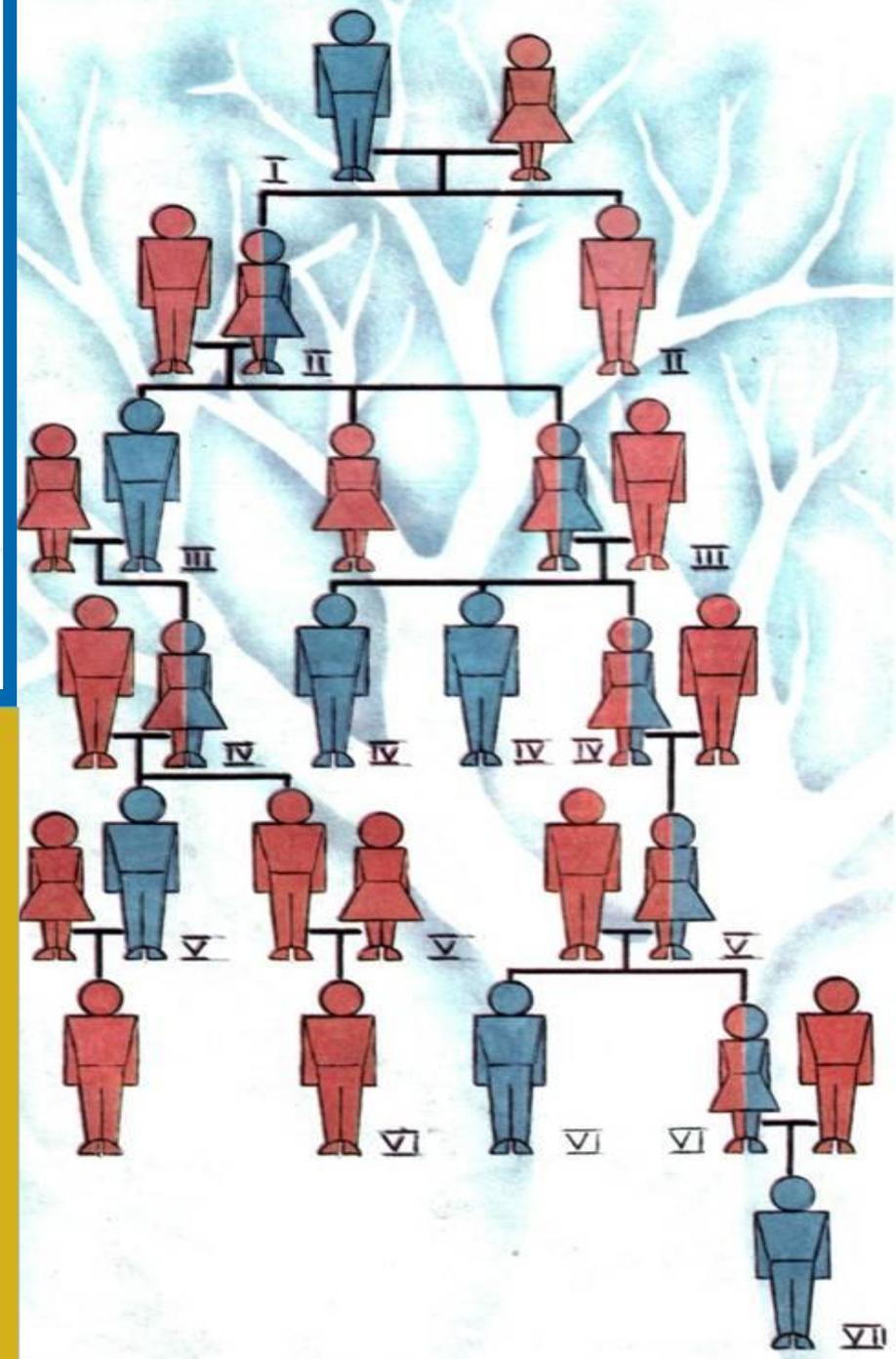
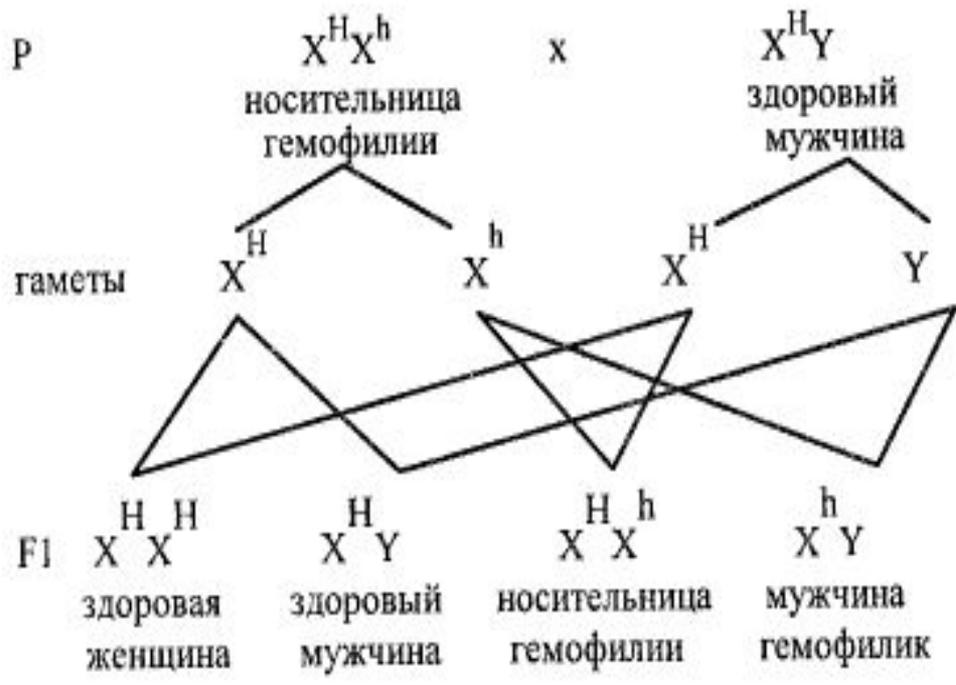
гемофилия,  
дальтонизм,  
атрофия потовых желез,  
мышечная дистрофия,  
атрофия зрительного нерва.

Проявляются в гомозиготном состоянии у женщин, в гемизиготном состоянии у мужчин.

### - Доминантные гены:

рахит, резистентный к витамину С,  
темная эмаль зубов,  
фолликулярный кератоз,  
первичная легочная гипертония.

Проявляются у обоих полов.





**Рис. 64. Схема наследования гемофилии**









$X^B$  – черная окраска,  
 $X^b$  - рыжая,  
 $X^B X^b$  – черепаховая



Дальнейшие опыты Т.Моргана по дигибридному скрещиванию 2-х дигомозиготных особей дали результаты не совпадающие с законами Менделя.

$B$  – серое тело,  $V$  – длинные крылья,  
 $b$  – черное тело,  $v$  – короткие крылья.

$P$  ♀  $BBVV$  × ♂  $bbvv$

$G$   $BV$   $bv$

$F_1$   $BbVv$  – 100%

(I)  $F_1$  ♀  $bbvv$  × ♂  $BbVv$

$G$   $bv$   $BV, bv$

$F_2$   $BbVv, bbvv$

50% : 50%

полное сцепление

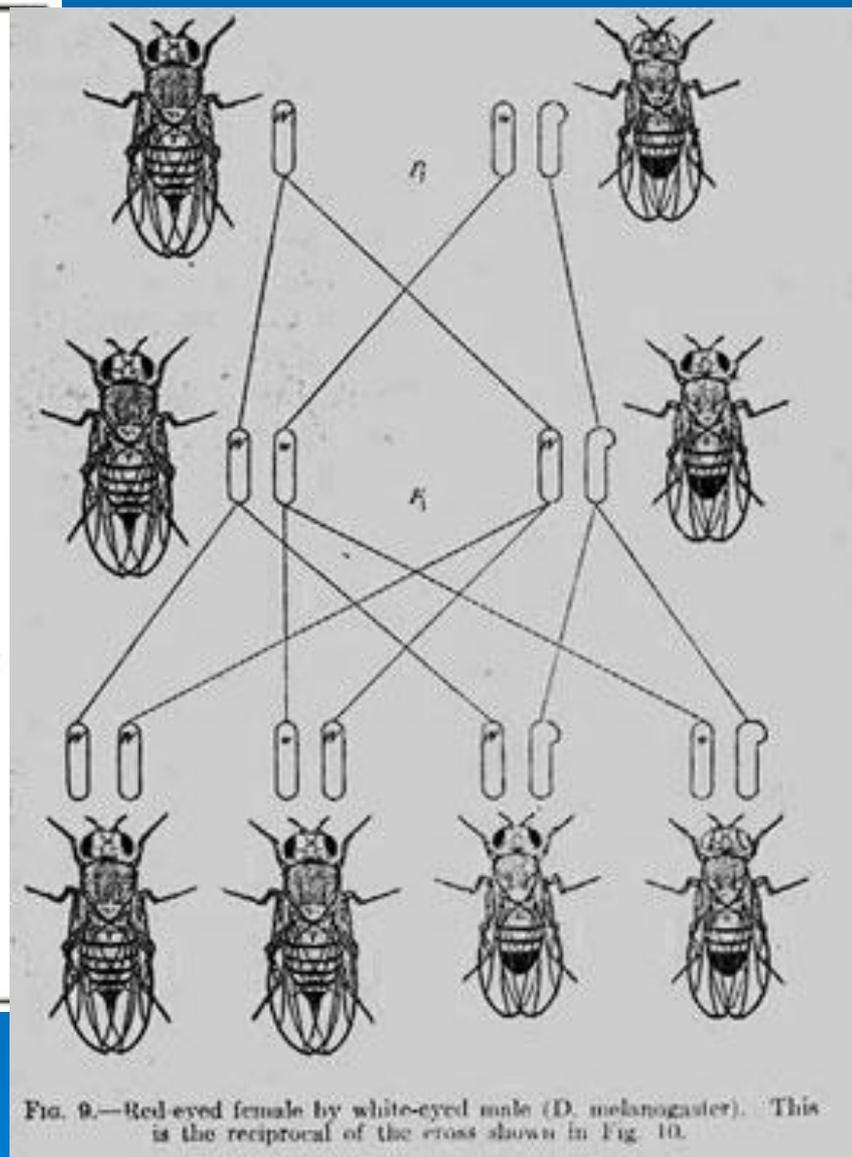
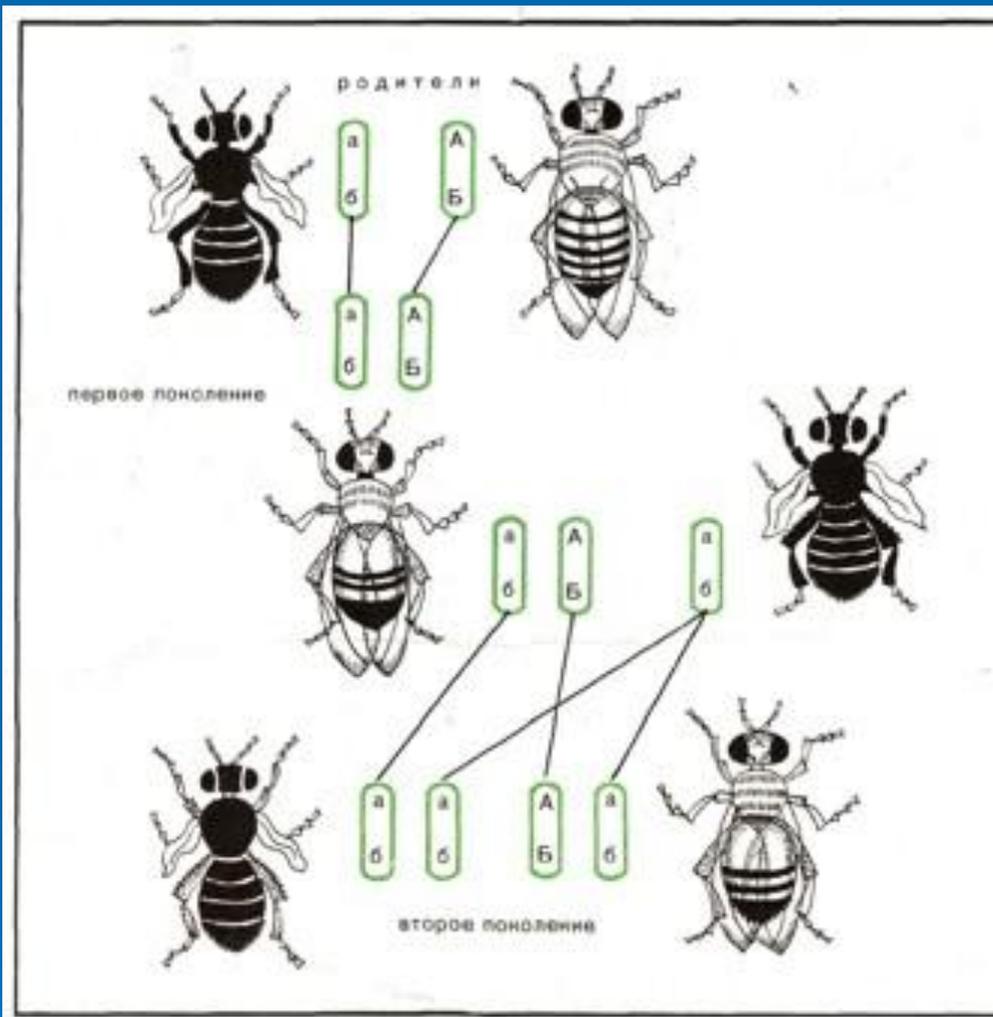
(II)  $F_1$  ♀  $BbVv$  × ♂  $bbvv$

$G$   $BV, Bv, bV, bv$   $bv$

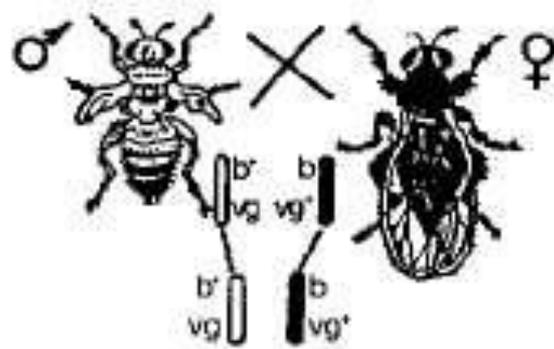
$F_2$   $BbVv, Bbvv, bbVv, bbvv$

41,5% : 8,5% : 8,5% : 41,5%

неполное сцепление

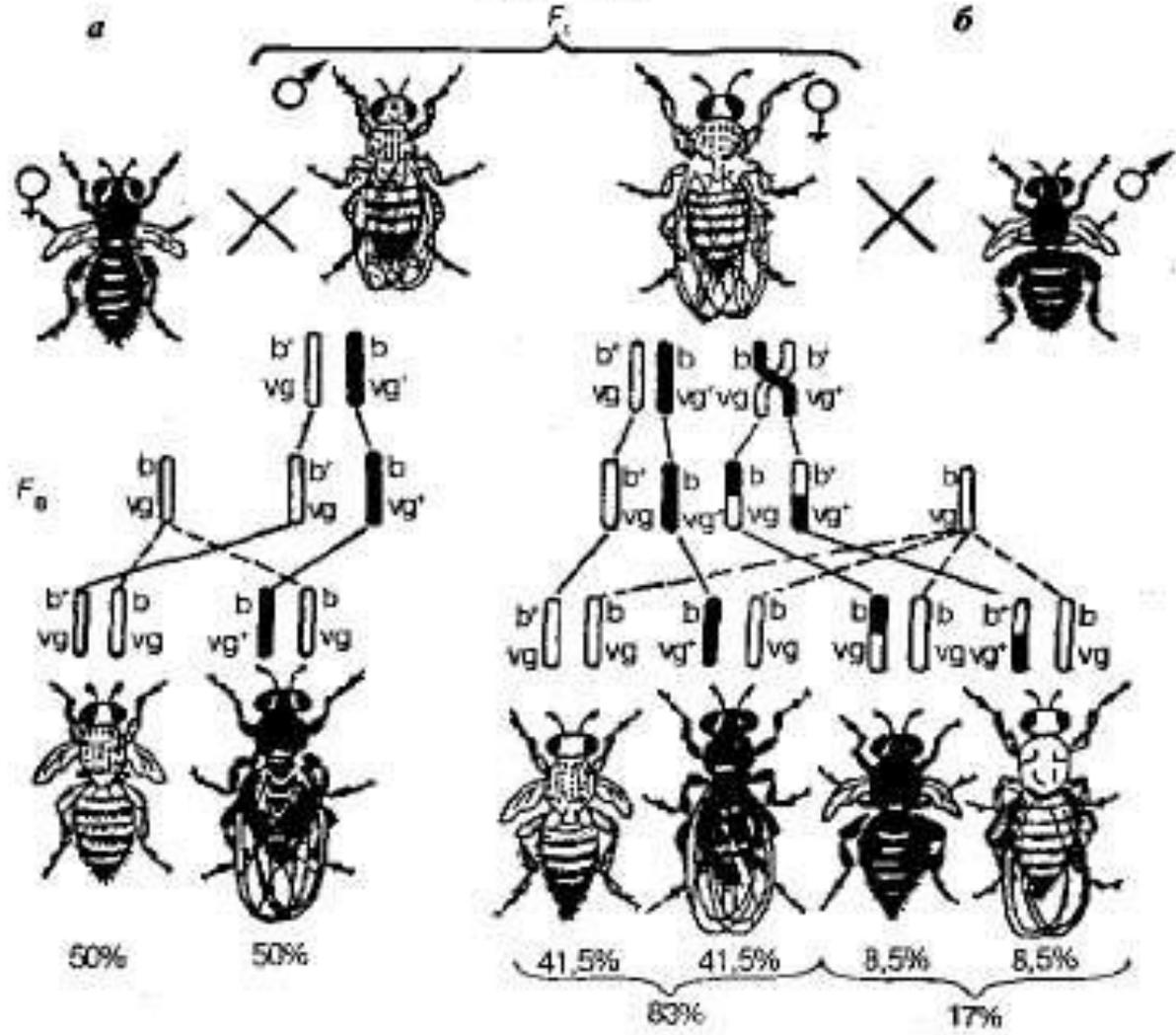


P



a

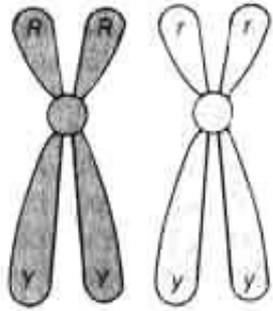
b



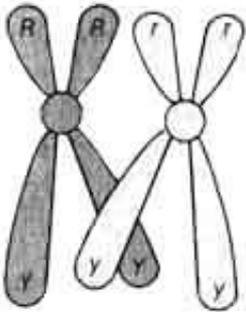
На основании полученных данных Т.Морган допустил, что гены, определяющие окраску тела и форму крыльев, **расположены в одной хромосоме**, но в процессе мейоза (профаза 1) во время образования гамет гомологичные хромосомы могут обмениваться участками – происходит **перекрест хромосом** или **КРОССИНГОВЕР** (англ. *crossing-over* – перекрест) .

Сила сцепления зависит от расстояния между генами, которое измеряется в **% кроссинговера** или **МОРГАНИДАХ**.

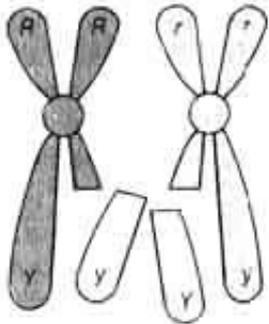
% кроссинговера для разных пар генов колеблется от **долей единицы до пятидесяти**. Уже при расстоянии в **50 морганид** признаки наследуются практически **независимо**.



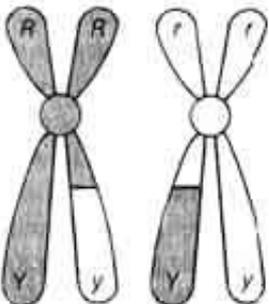
\* Two homologous chromosomes pair up during meiosis



\* Crossing over of chromatid arms



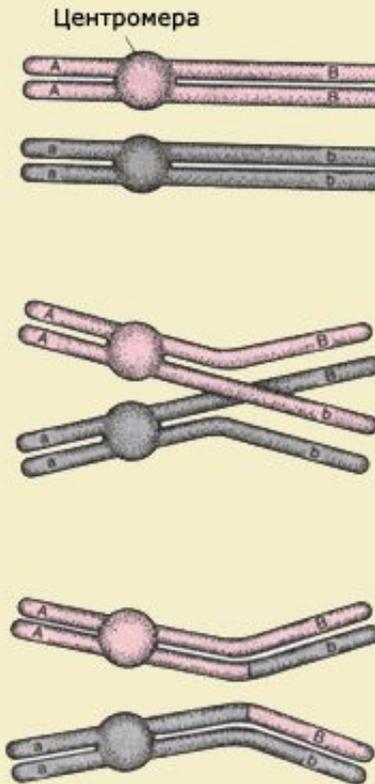
\* Random breakages occur at region of chromatid overlap



\* Reunion of "wrong partner" causes exchange of y and Y genes



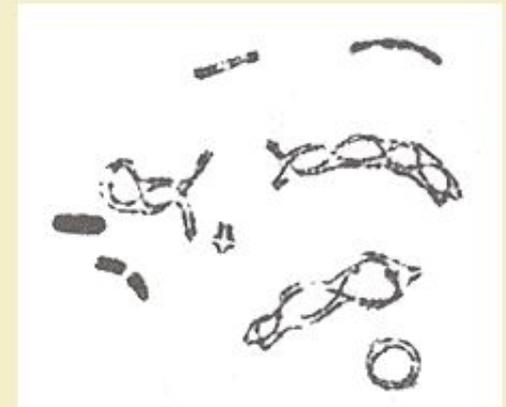
Fig. 48. Scheme to illustrate a method of crossing over of the chromosomes.



**A**

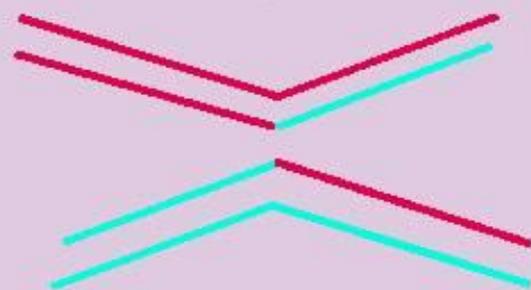
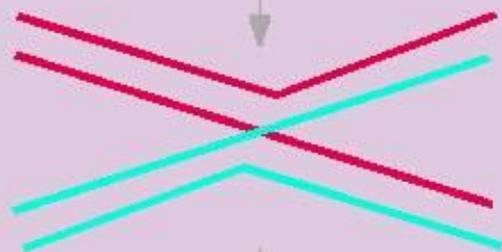
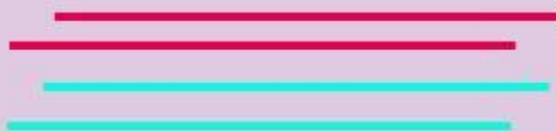
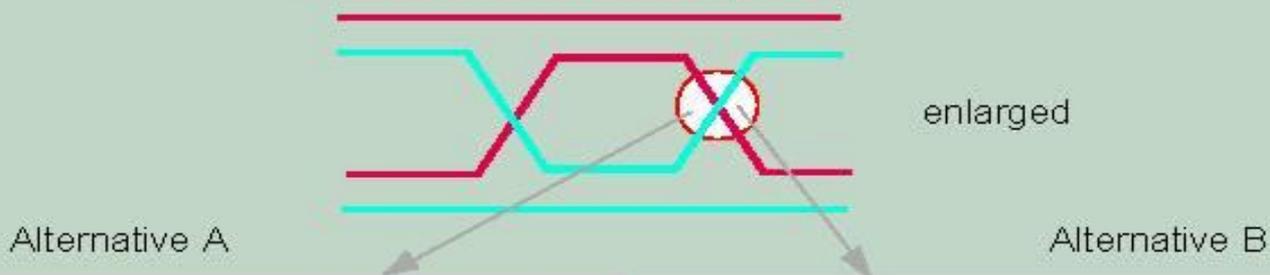
**Рис. 3.12**

Кроссинговер хромосом, происходящий при мейозе. **А.** Схематическое представление процесса. А и а, В и в пары аллелей. **Б.** Фотография хромосом кобылки (*Chorthippus parallelus*) в диплотенной стадии мейоза (профаза I). Видны гомологичные пары уже дуплицированных хромосом (см. схему). На некоторых парах видно несколько точек перекреста (хиазмы). Отдельные пары уже уплотнились в преддверии метафазы I. (С любезного разрешения В. John.)

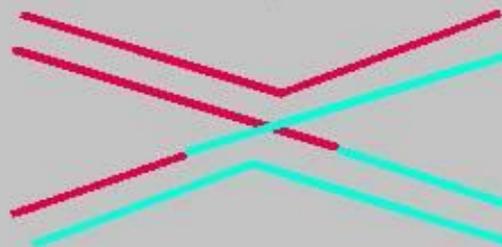
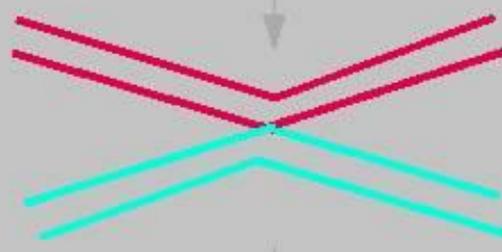


**Б**

# Chromatid - Tetrad in Metaphase I



Chiasma Cause  
Crossover Consequence



Crossover Cause  
Chiasma Consequence

Кроссинговер проявляется только тогда, когда гены находятся в **гетерозиготном** состоянии. Если гены в гомозиготном состоянии, то обмен идентичными участками **не дает** новых комбинаций генов в гаметах и в поколении.

Т.Морган предложил расстояние между генами измерять **кроссинговером в процентах** по формуле:  
 **$c = \frac{k + m}{n} \times 100\%$** , где

**k, m** – количество рекомбинантов, **n** – общее количество потомков.

В результате скрещивания гибридов F1 было получено:

**965** мушек с сер.т. и дл.кр., **944** - с черн.т. и кор.кр.  
**185** – с сер.т. и кор.кр., **206** – с черн.т. и дл.кр.

**ЧАСТОТА РЕКОМБИНАЦИЙ** равна:  
 **$\frac{k + m}{965 + 944 + 186 + 206} \times 100\% = 17\%$** .

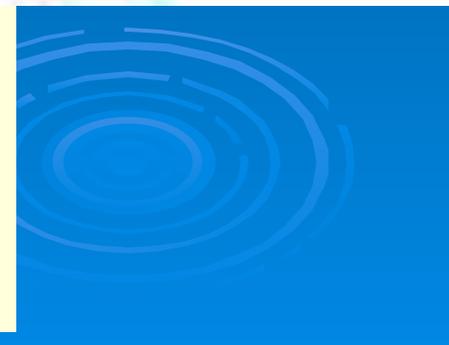
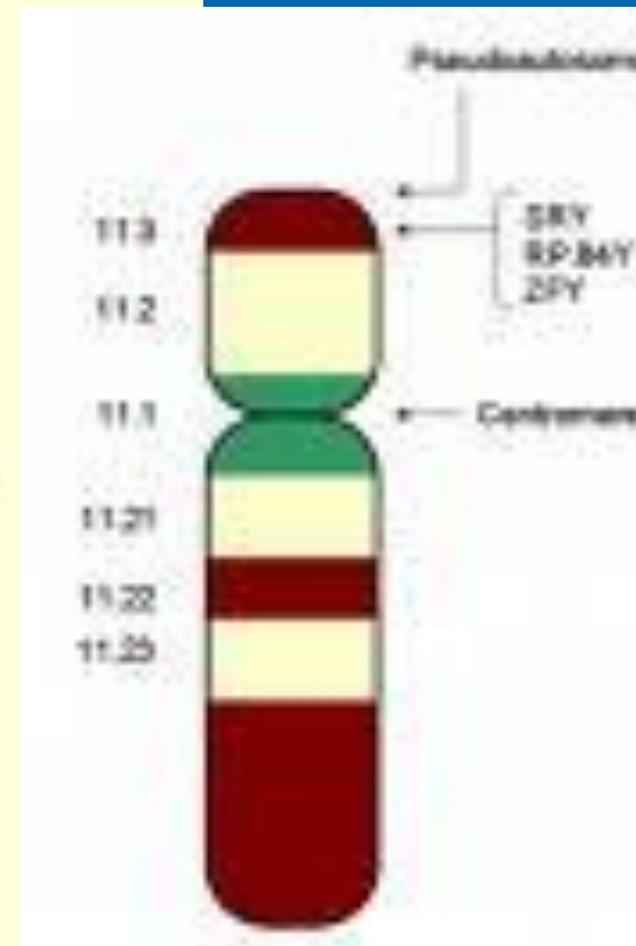
## Основные положения хромосомной теории.

1. Гены располагаются в хромосомах, различные хромосомы содержат неодинаковое число генов, набор генов каждой из негомологичных хромосом уникален.
2. Гены в хромосоме расположены линейно, каждый ген занимает в хромосоме определенный локус.
3. Гены, расположенные в одной хромосоме, образуют группу сцепления и вместе (сцеплено) передаются потомкам, число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом данного вида.
4. Между гомологичными хромосомами возможен обмен аллельными генами /кроссинговер/.
5. Процент кроссинговера пропорционален расстоянию между генами.

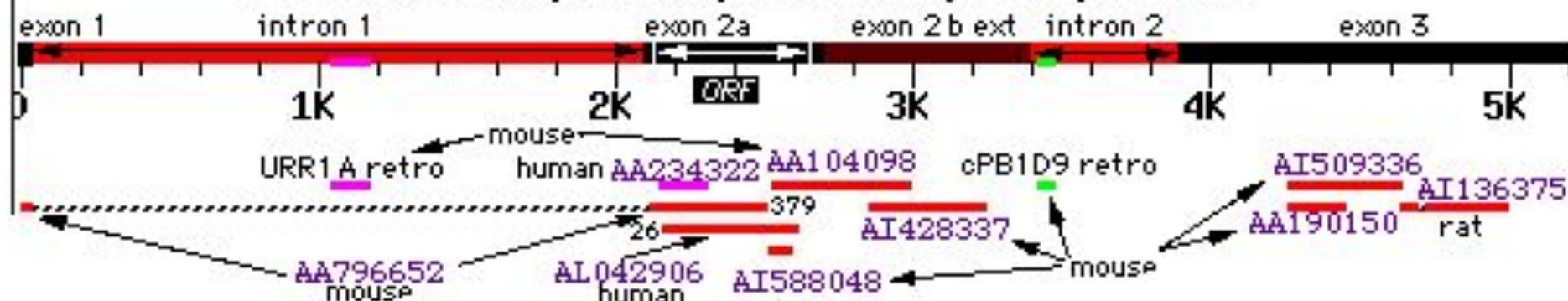
Существование кроссинговера позволило школе Т.Моргана разработать в 1911-1914 гг. принцип построения **генетических карт хромосом.**

В основу построения карт положен тот факт, что гены расположены по длине хромосомы **в линейном порядке.**

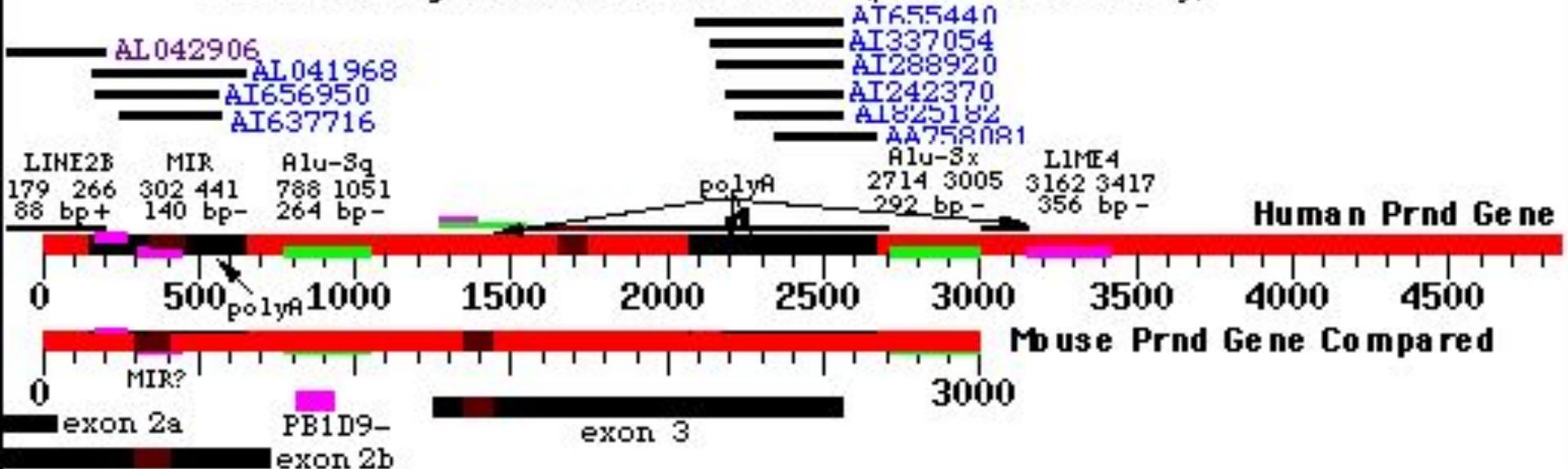
**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КАРТА** хромосомы – это отрезок прямой, на которой схематично обозначен порядок расположения генов и указано расстояние между ними в морганидах. **Она строится на основе** результатов анализирующего скрещивания, анализа родословных, гибридизации соматических клеток, методов анализа хромосомных перестроек, гибридизации ДНК и др.



### Prnd Gene: exons, introns, retrotransposons, and ESTs



### Human Contig 00023 Probe at dbEST (post-ORF numbering)



# ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ГЕНЕТИКИ

1. Изучение наследственности и изменчивости на **ОРГАНИЗМЕННОМ УРОВНЕ.**

Г.Мендель – закономерности наследования.

2. Изучение наследственности на **КЛЕТОЧНОМ УРОВНЕ.**

Т.Морган – хромосомная теория наследственности.

3. Период с 1920 г. по 1940 г.- открытие индуцированного мутагенеза – **МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВЕНЬ.**

Развитие биохимической генетики, иммуногенетики, популяционной генетики.

## 4. Овладение основами **МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ**

Изучение тонкой структуры гена, механизмов передачи и реализации наследственной информации - Д. Уотсон и Ф. Крик.

## 5. Становление **МОБИЛЬНОЙ** /современной/ генетики.

1972 г. – получена 1-ая рекомбинантная ДНК.

Развитие генной инженерии, расшифровка генома человека и других организмов, развитие методов генной терапии ( направленного изменения генотипов).



Заходи,  
поговорим!

