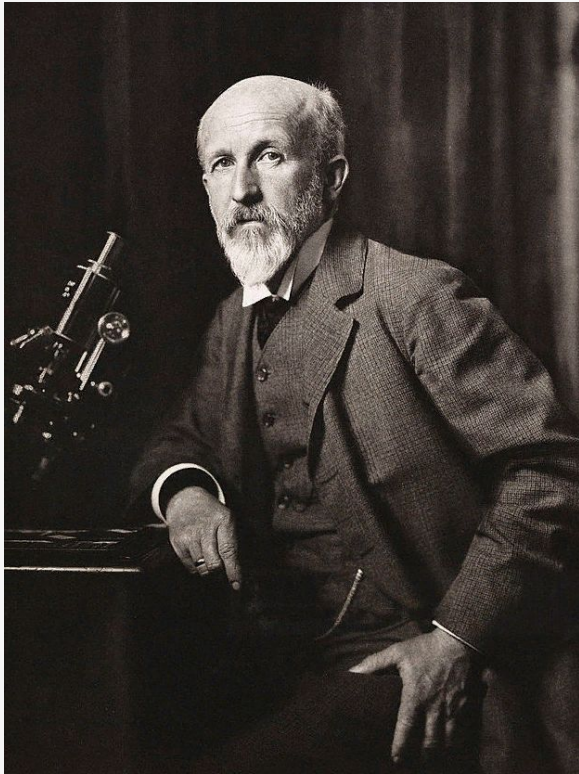


# **Хромосомная теория наследственности признаков**



**Оскар Гертвиг  
(1849–1922 гг.)**

**Немецкий зоолог.  
В 1875 г. заметил, что  
при оплодотворении  
яиц морского ежа,  
ядро сперматозоида  
сливается с ядром  
яйцеклетки.**



**Вальтер Флемминг  
(1843–1905 гг.)**

**Немецкий биолог,  
основатель  
цитогенетики.  
В 1882 г. подробно  
описал поведение  
хромосом во время  
митотического  
деления клеток.**



**Теодор  
Бовери**

(1862–1915 гг.)

**Немецкий биолог.  
В 1902 г. установил,  
что клеточное ядро  
играет решающую  
роль в регуляции  
развития признаков  
организма.**



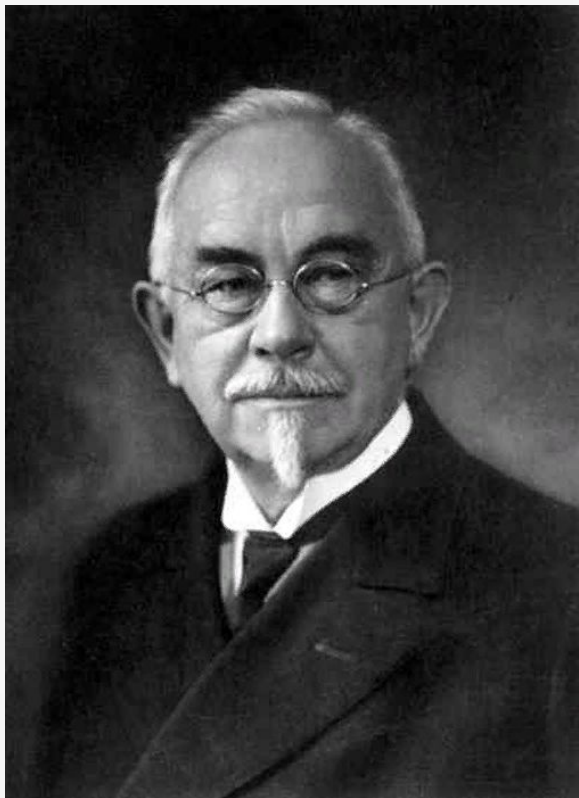
**Уильям  
Сеттон**

**(1877–1916 гг.)**

**Американский биолог.  
Провёл аналогию между  
поведением хромосом во  
время мейоза,  
оплодотворения и  
закономерностями  
передачи наследственных  
факторов, о которых  
говорил Мендель.**



**Сеттон и Бовери выдвинули гипотезу, что именно хромосомы являются материальными носителями менделевских «наследственных факторов», и сформулировали хромосомную теорию наследственности.**



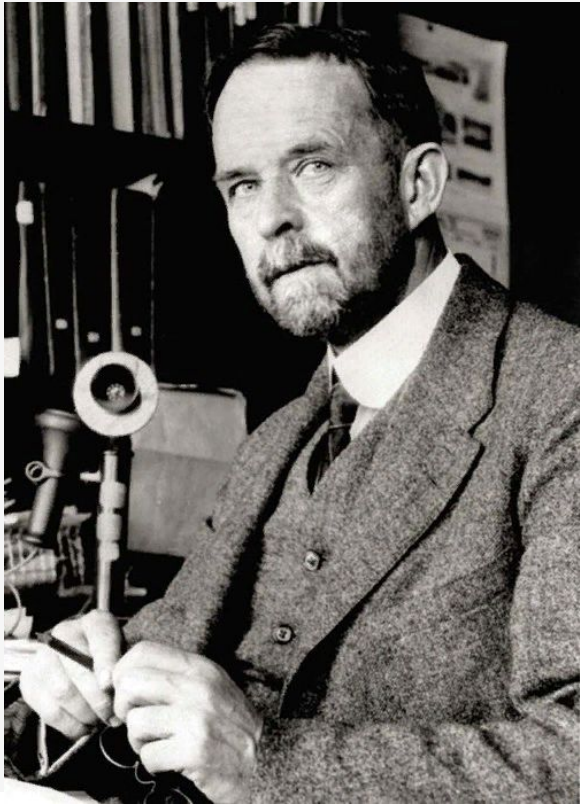
**Вильгельм  
Иогансен  
(1857-1927 гг.)**

**Датский биолог.  
В работе «Элементы  
точного учения  
наследственности»  
заменяет термин  
«наследственный  
фактор» термином  
«ген».**



**По подсчётам учёных, число генов, которые контролируют развитие различных признаков у человека, около 120 тысяч генов, а видов хромосом всего 23 пары.**



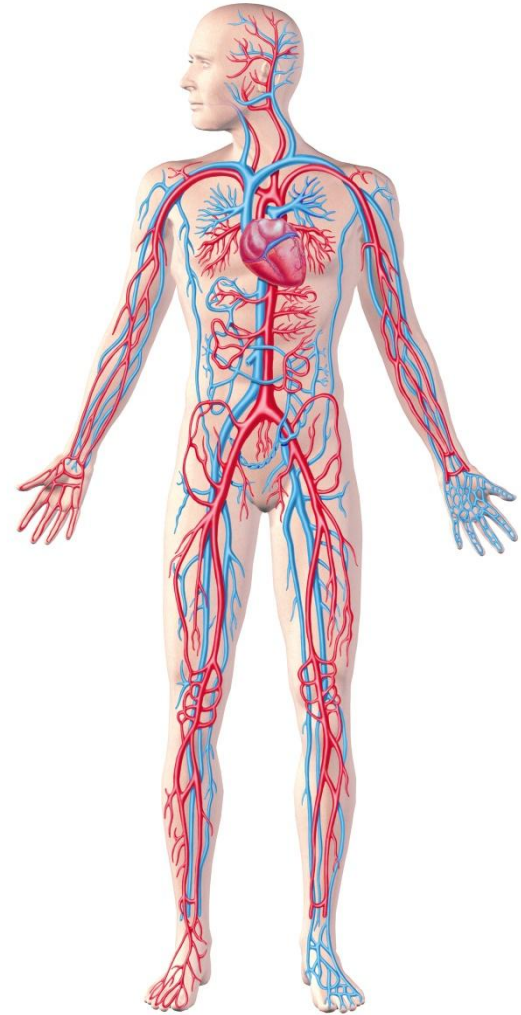


**Томас Хант Морган**  
(1866–1945 гг.)

**Американский биолог.  
В 1910–1915 гг. создал  
современную хромосомную  
теорию наследственности.**

**В 1933 г. Морган стал лауреатом  
Нобелевской премии по  
физиологии и медицине  
«За открытия, связанные с  
ролью хромосом в  
наследственности».**

**Число групп сцепления у организмов равно числу пар хромосом, или гаплоидному набору хромосом. Так, у человека 23 пары хромосом, следовательно, и 23 группы сцепления. У гороха 7 пар хромосом и 7 групп сцепления.**





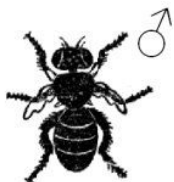
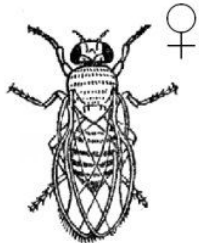
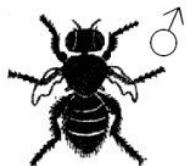
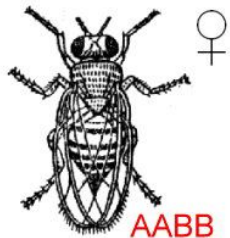
**Дрозофила**

# Дрозофила



- Очень плодовита (за год образует 25 поколений);
- каждые две недели при температуре 25°C даёт многочисленное потомство;
- быстро развивается (от яйца до взрослой особи 10 дней);
- мало хромосом (4 пары);
- имеет много признаков, которые могут наследоваться (цвет глаз, форма крыльев, окраска тела, форма тела и др.).

P



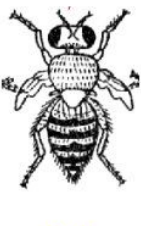
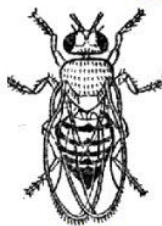
AB 25%

Ab 25%

aB 25%

ab 25%

ab



Скрещивая мушку дрозофилу с серым телом и нормальными крыльями с мушкой, имеющей темную окраску тела и зачаточные крылья, в первом поколении Морган получал гибридов, имеющих серое тело и нормальные крылья.

При проведении анализирующего скрещивания самки  $F_1$  с самцом, имевшим рецессивные признаки, теоретически ожидалось получить потомство с комбинациями этих признаков в соотношении 1:1:1:1.

P



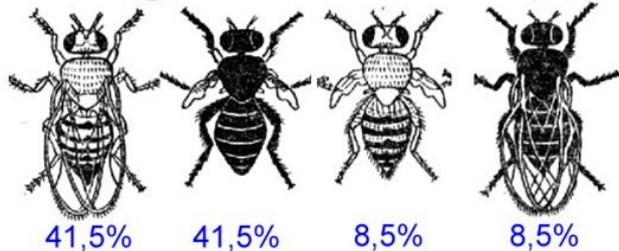
AB 41,5%

Ab 41,5%

aB 8,5%

ab 8,5%

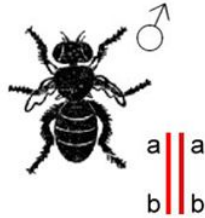
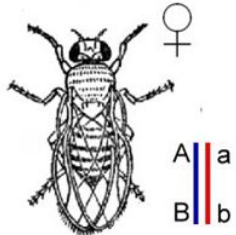
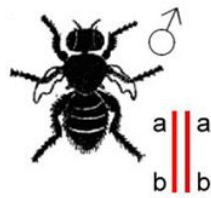
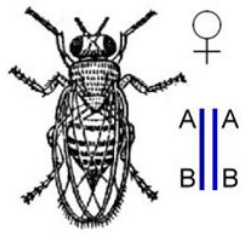
ab



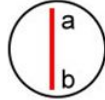
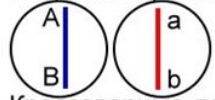
Однако в потомстве было 41,5% серых длиннокрылых и 41,5% черных с зачаточными крыльями и лишь незначительная часть мушек имела перекомбинированные признаки (8,5% черные длиннокрылые и 8,5% серые с зачаточными крыльями).

Морган пришел к выводу, что гены, обуславливающие развитие серой окраски тела и длинных крыльев, локализованы в одной хромосоме, а гены, обуславливающие развитие черной окраски тела и зачаточных крыльев, – в другой.

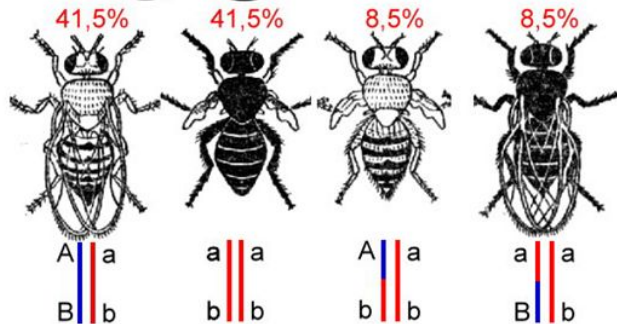
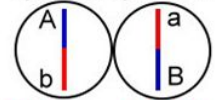
P



Некроссоверные по 41,5%



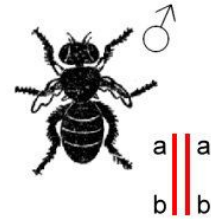
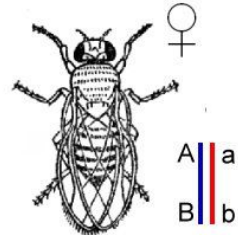
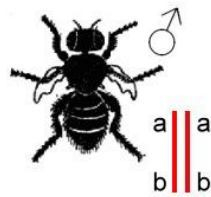
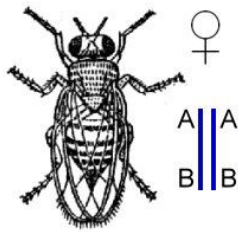
Кроссоверные по 8,5%



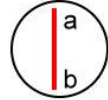
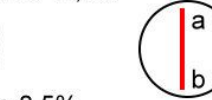
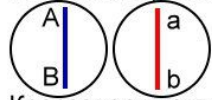
Явление совместного наследования признаков Морган назвал **сцеплением**. Материальной основой сцепления генов является хромосома. **Гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно и образуют одну группу сцепления.**

Поскольку гомологичные хромосомы имеют одинаковый набор генов, количество групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом. **Явление совместного наследования генов, локализованных в одной хромосоме, называют сцепленным наследованием. Сцепленное наследование генов, локализованных в одной хромосоме, называют законом Моргана.**

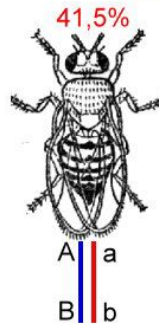
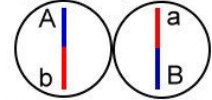
P



Некроссоверные по 41,5%



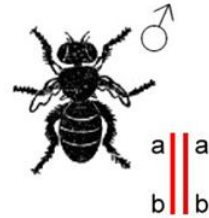
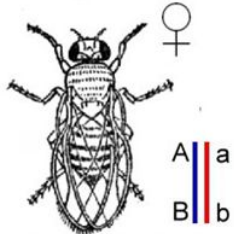
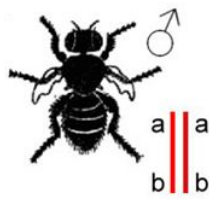
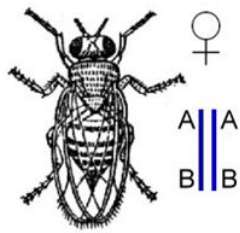
Кроссоверные по 8,5%



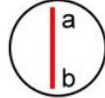
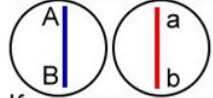
Появление особей с перекombинированными признаками Морган объяснил кроссинговером во время мейоза. В результате кроссинговера в некоторых клетках происходит обмен участками хромосом между генами **A** и **B**, появляются гаметы **Ab** и **aB**, и, как следствие, в потомстве образуются четыре группы фенотипов, как при свободном комбинировании генов. Но поскольку кроссинговер происходит не во всех гаметах, числовое соотношение фенотипов не соответствует соотношению 1:1:1:1.



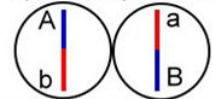
P



Некроссоверные по 41,5%



Кроссоверные по 8,5%



В зависимости от особенностей образования гамет, различают:

- **некроссоверные гаметы** – гаметы с хромосомами, образованными без кроссинговера;
- **кроссоверные гаметы** – гаметы с хромосомами, претерпевшими кроссинговер.

Дано:

Ген Признак

A - серое тело

a - черное тело

B - норм. крылья

b - зачат. крылья

$P \quad \text{♀} \frac{AB}{+AB} \times \text{♂} \frac{ab}{ab}$   
 Сер.Нор. Черн.Зач.

F<sub>1</sub> - ? F<sub>2</sub> - ?

Решение:

$P \quad \text{♀} \frac{AB}{+AB} \times \text{♂} \frac{ab}{ab}$   
 Сер.Нор. Черн.Зач.

Гам.

$\text{♀} \frac{AB}{+AB} \quad \text{♂} \frac{ab}{ab}$

F<sub>1</sub>

100%  $\frac{AB}{ab}$   
 Сер.Нор.

$\text{♀} \frac{AB}{ab} \times \text{♂} \frac{ab}{ab}$   
 Сер.Нор. Черн.Зач.

Некроссоверные гаметы

41,5%  $\frac{AB}{+AB} \quad \frac{ab}{ab}$

41,5%  $\frac{ab}{+ab}$

Кроссоверные гаметы

$\frac{A}{a} \frac{b}{B}$

8,5%  $\frac{Ab}{+Ab}$

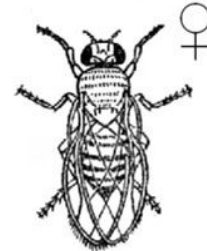
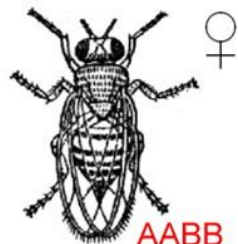
8,5%  $\frac{aB}{+aB}$

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

F<sub>2</sub>

	$\frac{AB}{+AB}$	$\frac{ab}{ab}$	$\frac{Ab}{+Ab}$	$\frac{aB}{+aB}$
$\frac{ab}{ab}$	$\frac{AB}{ab}$ С.Н.	$\frac{ab}{ab}$ Ч.З.	$\frac{Ab}{ab}$ С.З.	$\frac{aB}{ab}$ Ч.Н.

P



AaBb

aabb

$\frac{AB}{+AB}$  25%

$\frac{Ab}{+Ab}$  25%

$\frac{aB}{+aB}$  25%

$\frac{ab}{ab}$  25%

$\frac{ab}{ab}$



Гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно и образуют **одну группу сцепления**. В каждой паре гомологичных хромосом находятся одинаковые группы генов. У человека 23 группы сцепления, у дрозофилы – четыре. Было также показано, что у каждого гена в хромосоме есть строго определенное место – **локус**.

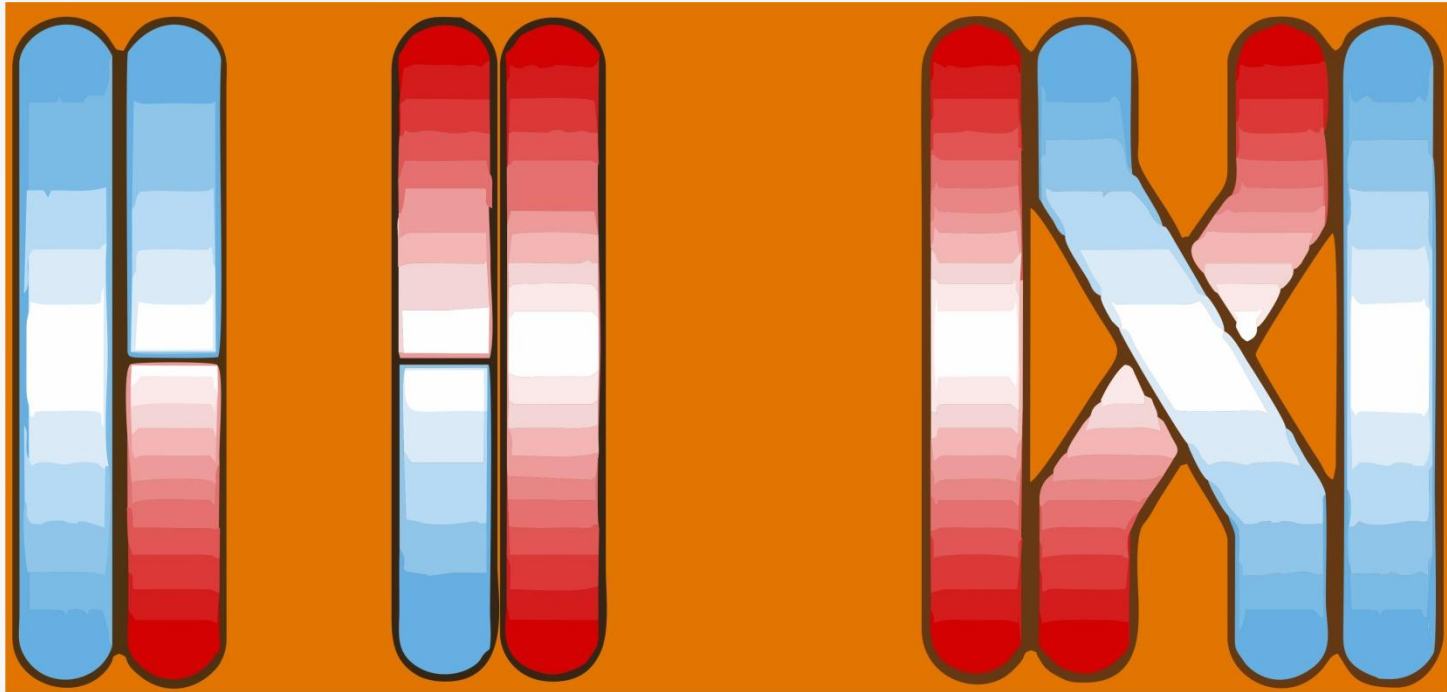
Вероятность возникновения перекрёста между генами зависит от их расположения в хромосоме: чем дальше друг от друга расположены гены, тем выше вероятность перекрёста между ними.



Гены, определяющие светлый цвет волос и глаз, находятся в одной хромосоме и наследуются сцепленно.

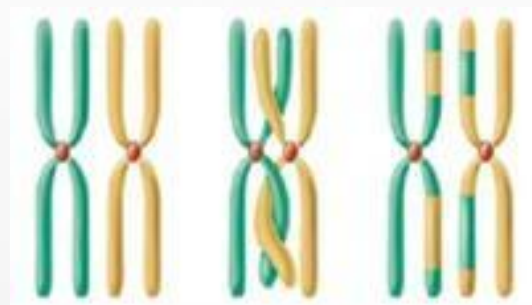


Сочетания признаков: темные волосы и серые глаза, светлые волосы и карие глаза - появляются благодаря кроссинговеру.



**Сцепление генов, расположенных в одной хромосоме не бывает абсолютным. Происходящий с разной частотой кроссинговер постоянно осуществляет рекомбинацию генов.**

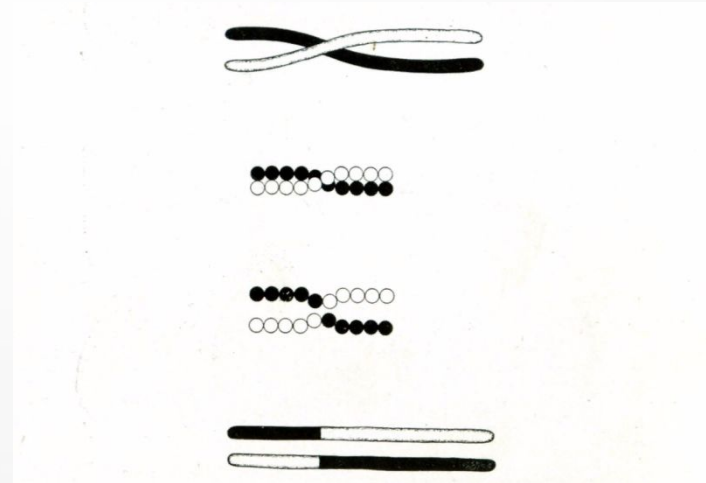
**Кроссинговер** (англ. crossing-over – перекрёст хромосом) – процесс обмена гомологичных хромосом участками во время их конъюгации в профазе I мейоза. Кроссинговер является одним из механизмов генетической рекомбинации (обмена генами). Частота его зависит от расстояния между генами: чем дальше расположены гены друг от друга, тем чаще между ними идет перекрест. 1% кроссинговера принят за единицу расстояния между генами. Она названа морганидой в честь Т. Моргана, разработавшего принципы генетического картирования. Цитологическим признаком кроссинговера служат *хиазмы* – х-образные фигуры бивалентов во время обмена участками. Кроссинговер обычно бывает мейотическим, но иногда происходит в митозе (соматический кроссинговер). Он может также осуществляться внутри гена.



В 1909 году Ф.А. Янссенс описал образование хиазм – характерных структур, которые формируют гомологичные хромосомы при кроссинговере – при мейозе у земноводных. Янссенс также высказал предположение, что хиазмы могут свидетельствовать об обмене хромосом генетическим материалом. Кроссинговер был описан в 1911 году американским генетиком Томасом Хантом Морганом и его студентом и сотрудником Альфредом Стёртевантом у плодовой мушки *Drosophila melanogaster*. В 1913 году Стёртевант начал составление генетических карт на основании частот кроссинговера.

### Кроссинговер.

Иллюстрация Т. Х. Моргана (1916)



## ***Типы кроссинговера***

***В зависимости от типа клеток, в которых происходит кроссинговер:***

- ***мейотический*** – происходит в профазу первого деления мейоза, при образовании половых клеток;
- ***митотический*** – при делении соматических клеток, главным образом эмбриональных. Приводит к мозаичности в проявлении признаков.

***В зависимости от молекулярной гомологии участков хромосом, вступающих в кроссинговер:***

- ***обычный (равный)*** – происходит обмен разными участками хромосом;
- ***неравный*** – наблюдается разрыв в нетождественных участках хромосом.

***В зависимости от количества образованных хиазм и разрывов хромосом с последующих перекомбинацией генов:***

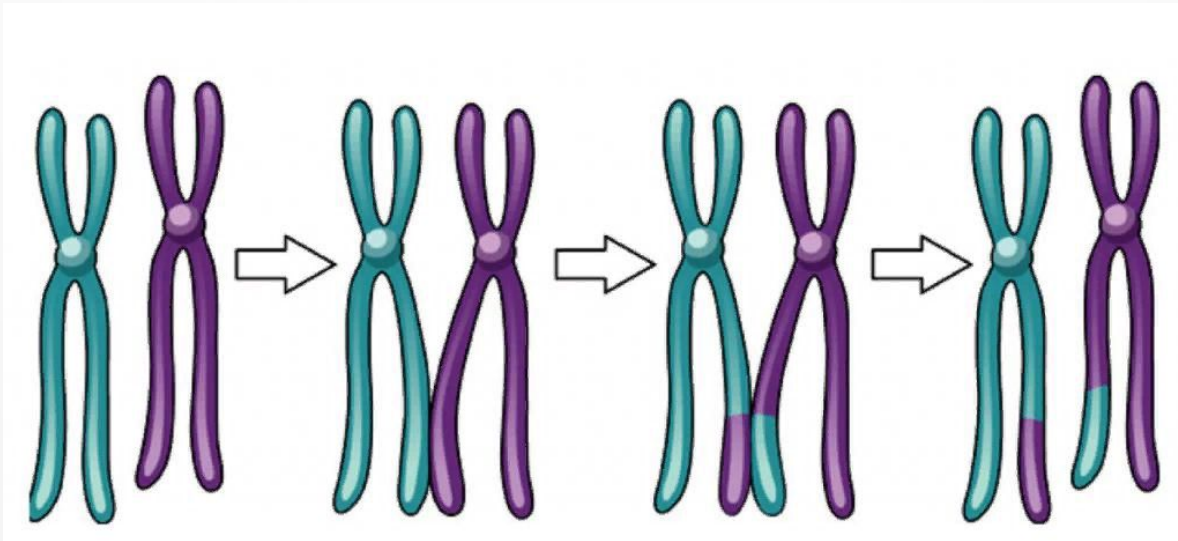
- ***одинарный;***
- ***двойной;***
- ***множественный.***



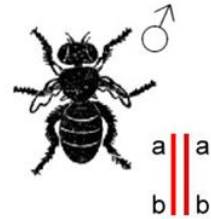
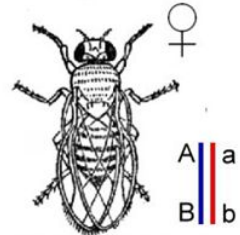
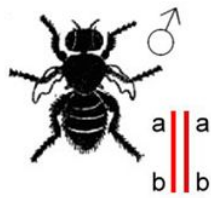
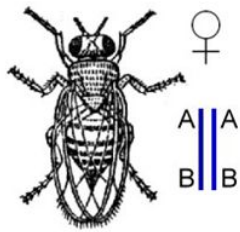
Биологическое значение кроссинговера чрезвычайно велико, поскольку генетическая рекомбинация позволяет создавать новые, ранее не существовавшие комбинации генов и тем самым повышать наследственную изменчивость, которая дает материал для естественного отбора.

*Значение кроссинговера:*

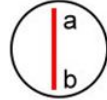
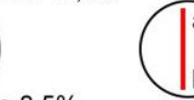
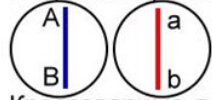
- приводит к увеличению комбинативной изменчивости;
- приводит к увеличению мутаций.



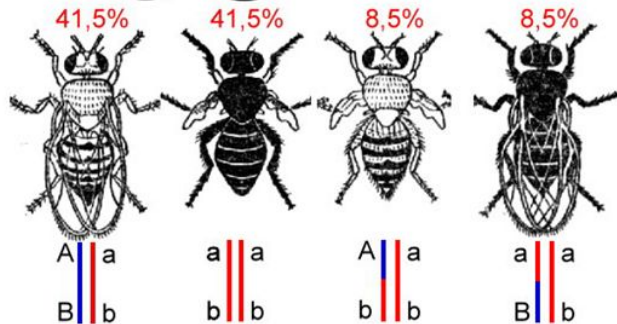
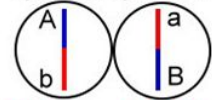
P



Некроссоверные по 41,5%



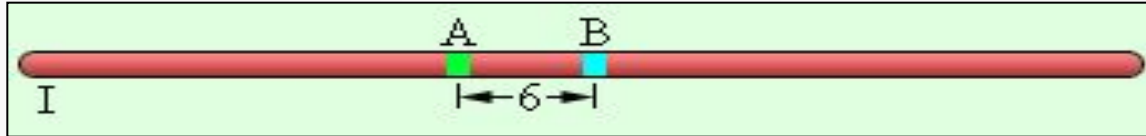
Кроссоверные по 8,5%



За единицу расстояния между генами, находящимися в одной хромосоме, принят 1% кроссинговера. Например, в рассмотренном выше анализирующем скрещивании получено 17% особей с перекомбинированными признаками. Следовательно, расстояние между генами серой окраски тела и длинных крыльев (а также черной окраски тела и зачаточных крыльев) равно 17%. В честь Т. Моргана единица расстояния между генами названа морганидой, расстояние между этими генами равно 17 морганидам. А сила сцепления высчитывается по формуле: сила сцепления = 100% - % кроссоверных гамет. Сила сцепления между генами окраски тела и формы крыльев равна 100% - 17% = 83%.

# Генетические карты

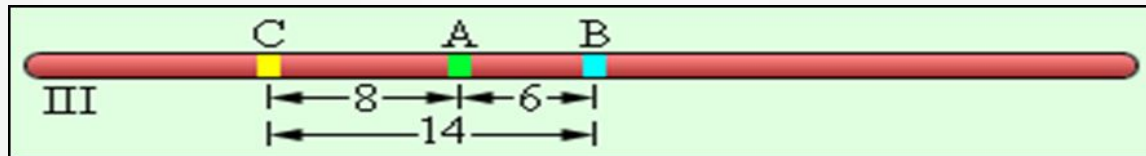
1. Расстояние между генами А и В 6 морганид. Сколько кроссоверных и некроссоверных гамет образуется у данной особи? Какова сила сцепления между генами?



**Некроссоверных по 47%; Кроссоверных по 3%.**

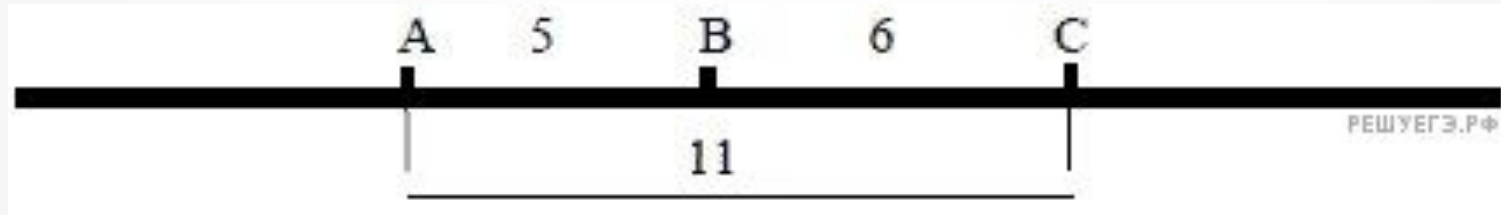
**Сила сцепления:  $100\% - 6\% = 94\%$**

2. Расстояние между генами С и А – 8 морганид, между А и В – 6 морганид, между В и С – 14 морганид. Где располагается ген С?



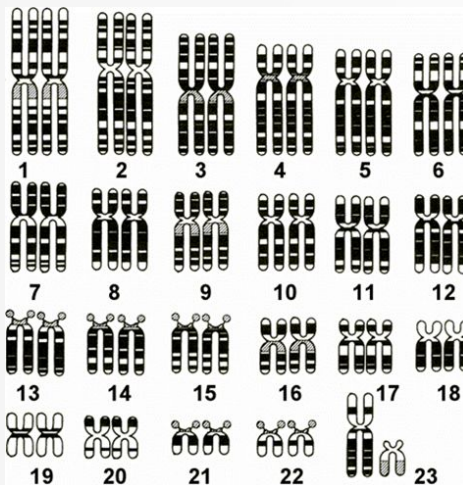
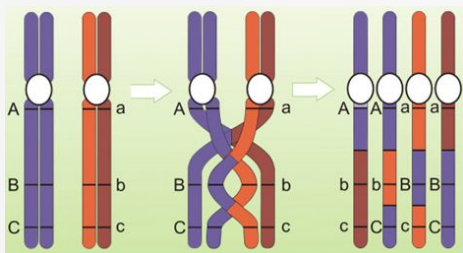
Результаты многочисленных скрещиваний мух дрозофил показали, что частота нарушения сцепления между генами А и В составляет 5%, между генами А и С – 11%, между генами С и В – 6%. Перерисуйте предложенную схему фрагмента хромосомы на лист ответа, отметьте на ней взаимное расположение генов А, В, С и укажите расстояние между ними. Какая величина принята за единицу расстояния между генами? Как она называется?

1)



2) за единицу расстояния между генами принят 1% кроссинговера, эта величина названа морганидой.

# Положения современной хромосомной теории наследственности (Т. Морган, А. Стёртевант, Г. Мёллер)



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 идентичных локусах гомологичных хромосом находятся аллельные гены.
3. Гены расположены в хромосомах в определенной линейной последовательности.
4. Гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно, образуя 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 хромосом.
6. Частота кроссинговера является функцией расстояния между генами: чем больше расстояние, тем больше величина кроссинговера (прямая зависимость).

# Подведём итоги

## Закон Моргана

*Гены, находящиеся в одной хромосоме наследуются преимущественно сцепленно.*

## Группа сцепления

*Гены, находящиеся в одной хромосоме образуют группу сцепления.*

## Количество групп сцепления

*Количество групп сцепления равно числу пар гомологичных хромосом, гаплоидному набору хромосом. У человека 23 группы сцепления, у дрозофилы – четыре.*

## Кроссоверные гаметы

*Гаметы с хромосомами, образованные в результате кроссинговера.*

## Морганида

*В честь Т. Моргана единица расстояния между генами названа морганидой, 1 морганида = 1% кроссоверных гамет.*

## Как определяется сила сцепления между генами?

*Сила сцепления высчитывается по формуле: сила сцепления = 100% - % кроссоверных гамет.*

# Подведём итоги

В каких случаях выполняется закон Моргана?

*Если гены находятся в одной хромосоме, то они наследуются сцепленно и входят в одну группу сцепления.*

Сколько пар гомологичных хромосом контролируют окраску тела и форму крыльев дрозофилы?

*Одна пара гомологичных хромосом.*

Сколько кроссоверных гамет (в %) образуется у дигетерозиготной самки дрозофилы с серым телом и нормальными крыльями?

*17%.*

Какое расстояние между генами, контролирующими цвет тела и форму крыльев у дрозофилы?

*17 морганид.*

Какова сила сцепления между генами, определяющими цвет тела и форму крыльев у дрозофилы?

*83%.*

Сколько кроссоверных гамет образуется у дигетерозиготного самца дрозофилы с серым телом и нормальными крыльями?

*У самца дрозофилы сила сцепления равна 100%, у него нет кроссинговера.*

# Подведём итоги

Сколько групп сцепления у дрозофилы? У человека?

*У дрозофилы – 4 группы сцепления, у человека – 23.*

Какое явление вызывает нарушение закона Моргана?

*Кроссинговер.*

От чего зависит частота кроссинговера между генами, находящимися в одной хромосоме?

*От расстояния между генами, чем больше расстояние, тем больше вероятность кроссинговера.*

Генотип особи  $Ac//aC$ . Какие гаметы будут образовываться, если расстояние между генами  $Ac$  – 10 морганид.

*Некроссоверные гаметы: 45% Ac и 45% aC, по 5% кроссоверных гамет AC и ac.*