

Августовская школа олимпиадной подготовки.
Новосибирск. 20-30 августа 2018

Генетика. 10 кл.

Лекция 3

Кроссинговер

Волошина Марина Александровна
СУНЦ НГУ

Кроссинговер – это обмен участками
двух молекул ДНК

У эукариот идет **в мейозе**

Очень древний процесс, он есть
уже у бактерий

Другое название кроссинговера –
гомологичная рекомбинация

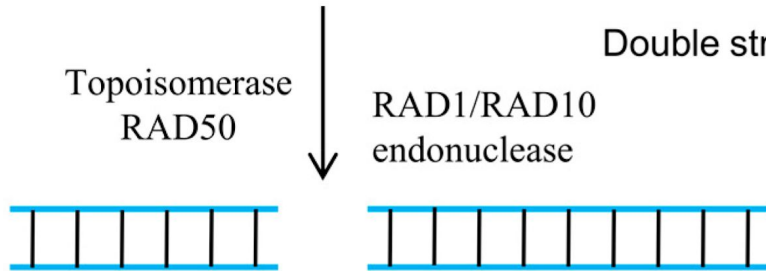
Гомологичная – потому что участки двух молекул ДНК, между которыми идет обмен, должны быть **одинаковы или почти одинаковы** по последовательности нуклеотидов (иначе они не узнают друг друга)



Chromosome



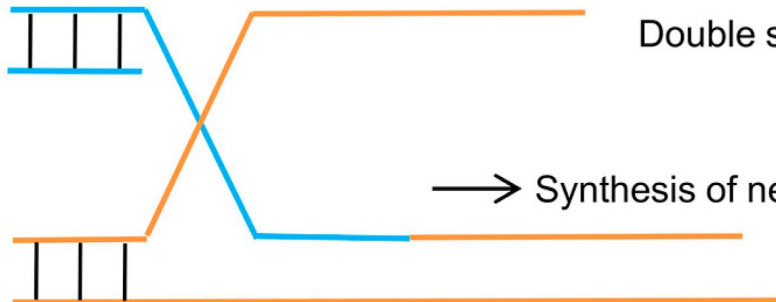
Homologous chromosome



Double stranded break in the DNA triggered by various cellular processes

DSB

Homologous recombination machinery



Double stranded break can be repaired by HR

→ Synthesis of new DNA strand

Представьте себе хромосомы в
клетке

Есть среди них такие, которые
содержат одинаковые участки?

Кроссинговер –

обмен участками

ГОМОЛОГИЧНЫХ хромосом

Томас
Хант
Морган
1866–1945



Thomas Hunt Morgan,
the first native-born American to win the Nobel Prize (1933)



Drosophila melanogaster – дикий тип



Лаборатория Моргана в Колумбийском университете. 1919

Школа Моргана получила **прямые доказательства** того, что гены – участки хромосом:

1. Наследование признаков, сцепленных **с полом**.
2. Сцепленное наследование генов, находящихся **в одной хромосоме**

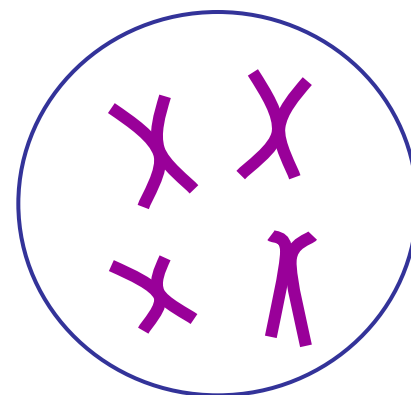
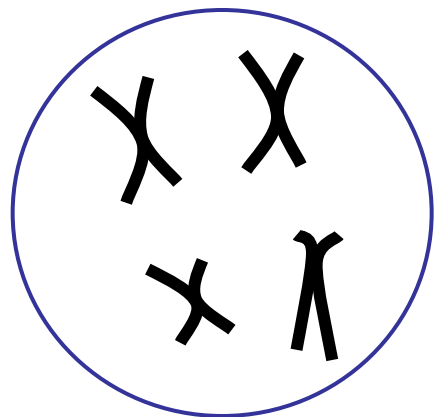
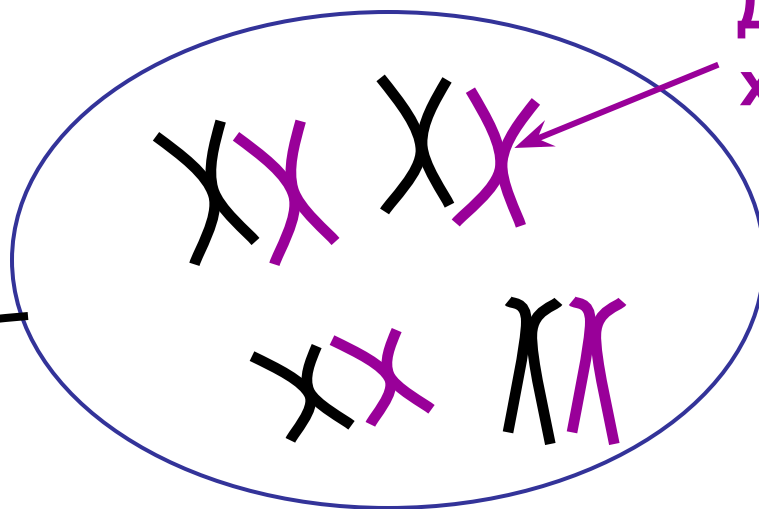
Сцепление и кроссинговер

Задача из Всесиб. олимпиады

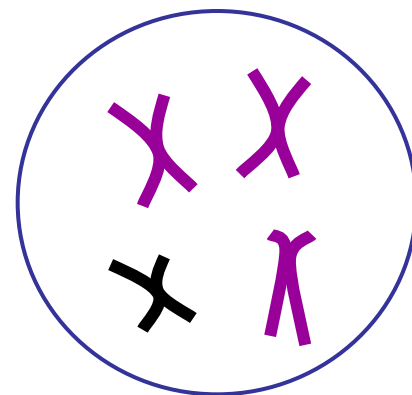
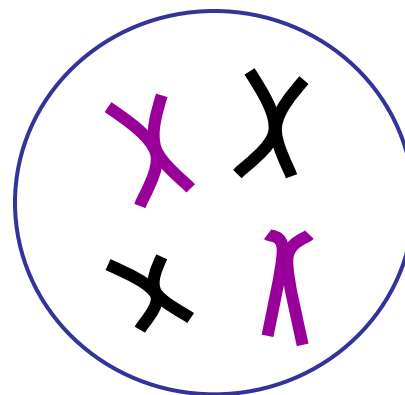
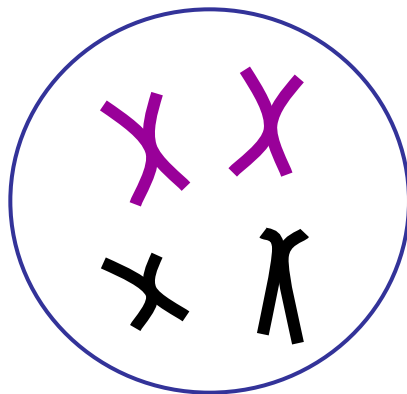
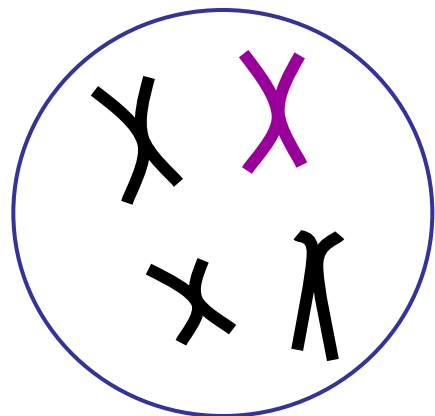
Какую долю своих генов внук
может получить от дедушки?

Родитель

Дедушкины
хромосомы



Возможные
гаметы для внука



Кроссинговер не оставляет
«чисто дедушкиных»
или «чисто бабушкиных»
хромосом

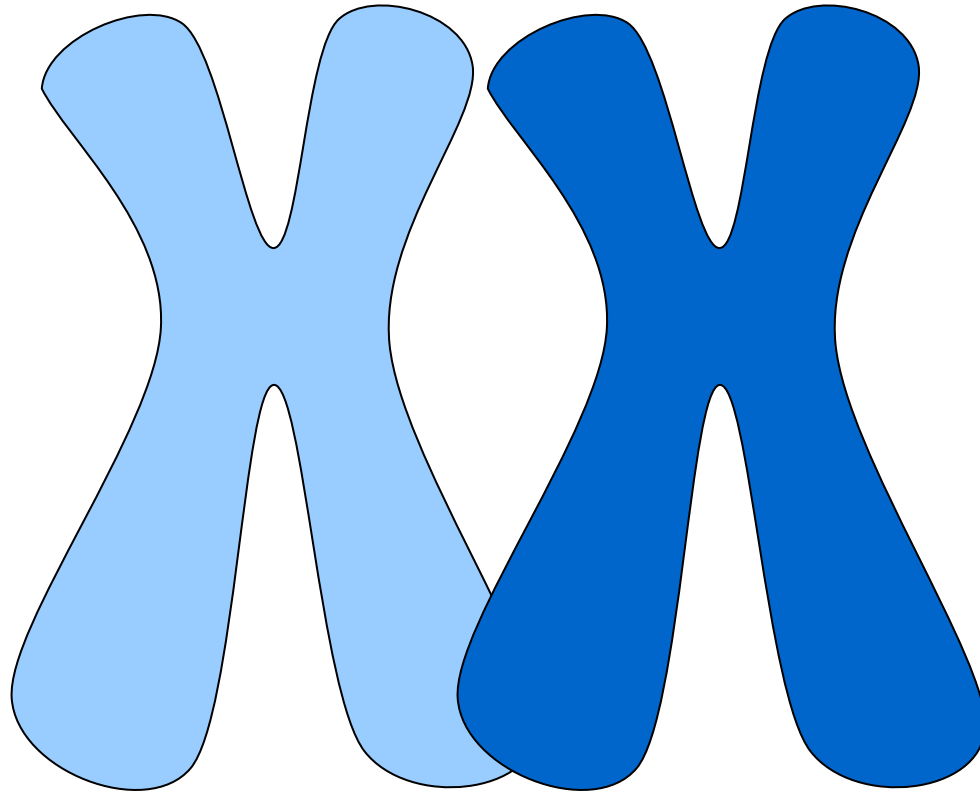
Все перемешивается

Когда и где идет кроссинговер?

В самом начале **мейоза** –
в очень длинной профазе

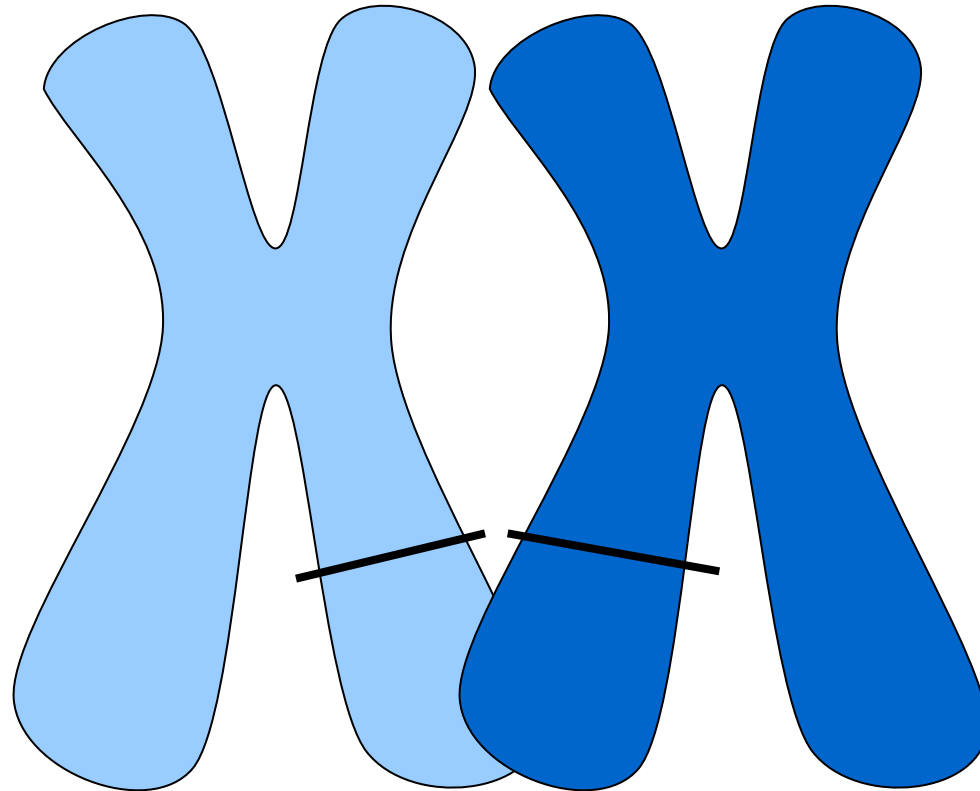
(Бывает и в митозе, но очень редко –
соматический кроссинговер)

Гомологичные хромосомы
объединяются вместе – бивалент

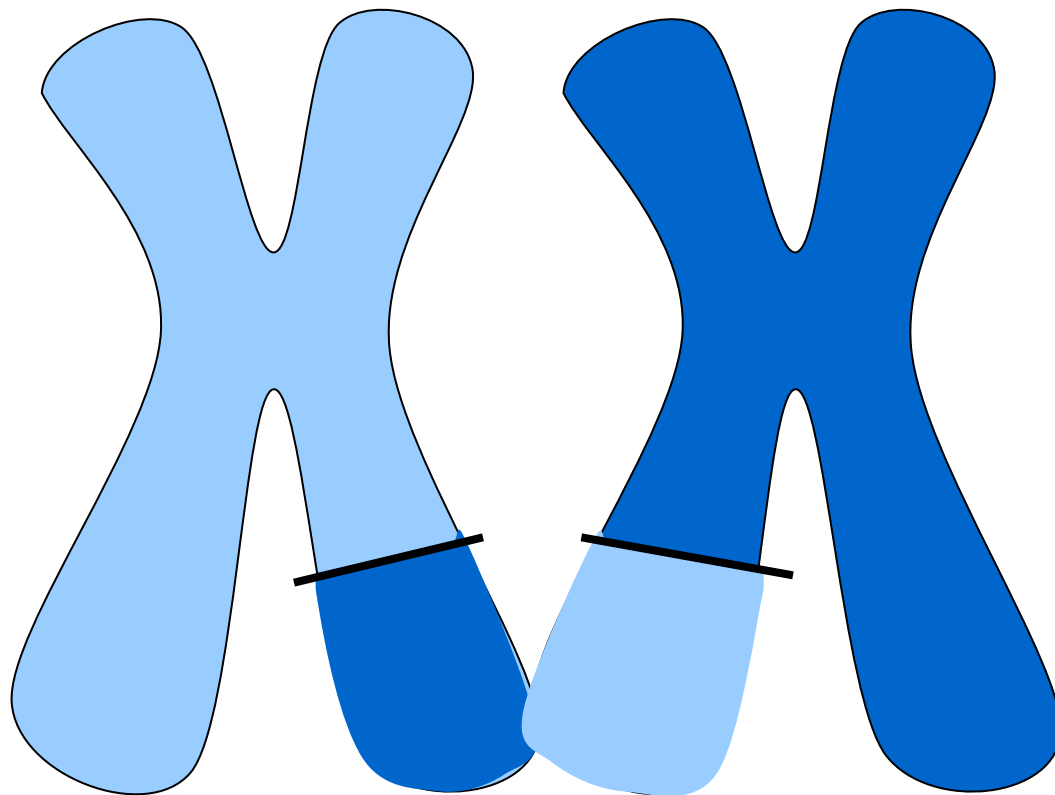


Обратите внимание, что хромосомы к началу профазы **всегда из 2 хроматид**

Обмен участками – кроссинговер

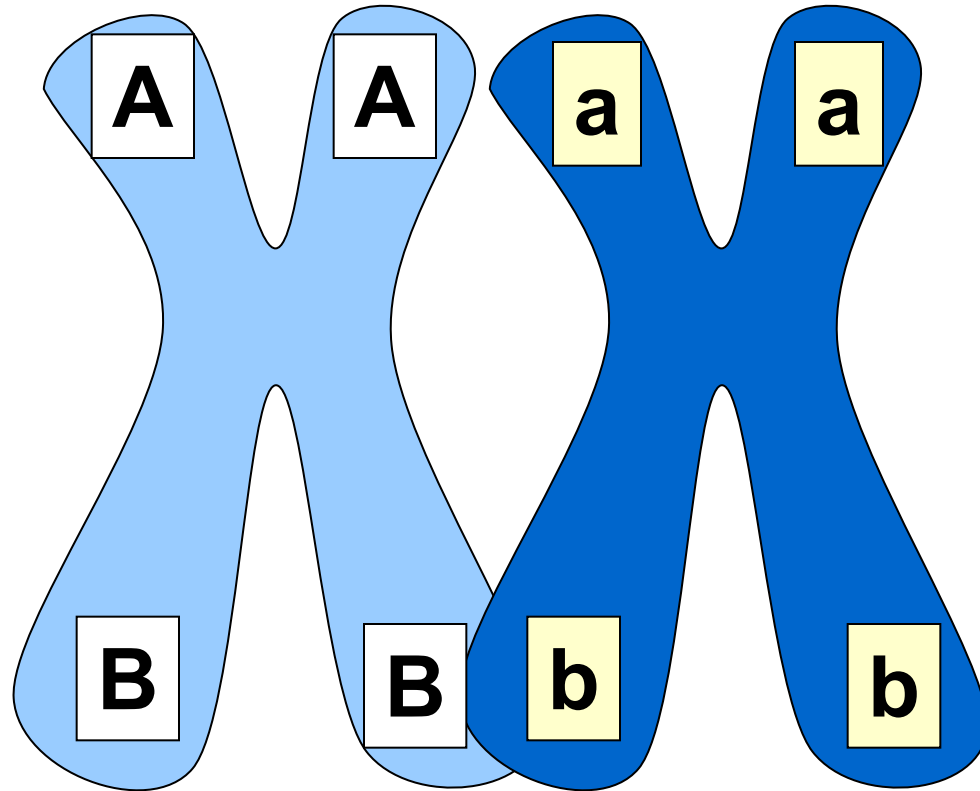


Обмен участками – кроссинговер

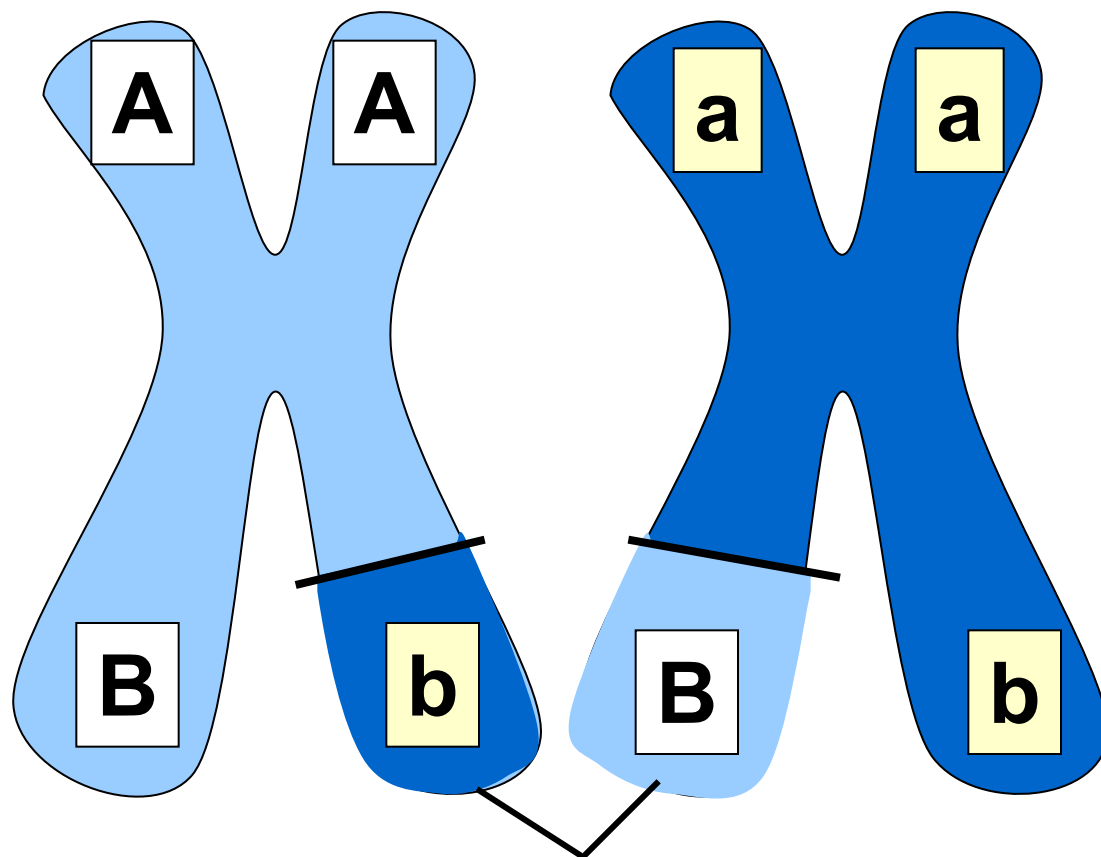


Чтобы хромосомы правильно
разошлись, в каждом
биваленте должен произойти
хотя бы один кроссинговер

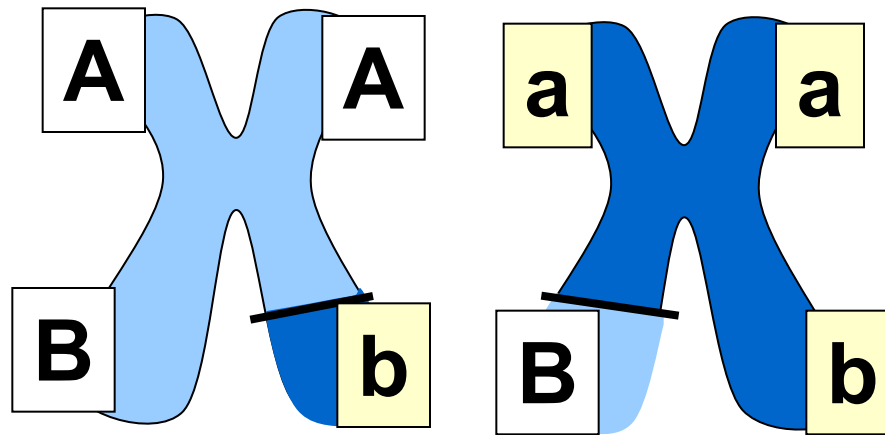
То же самое с генами



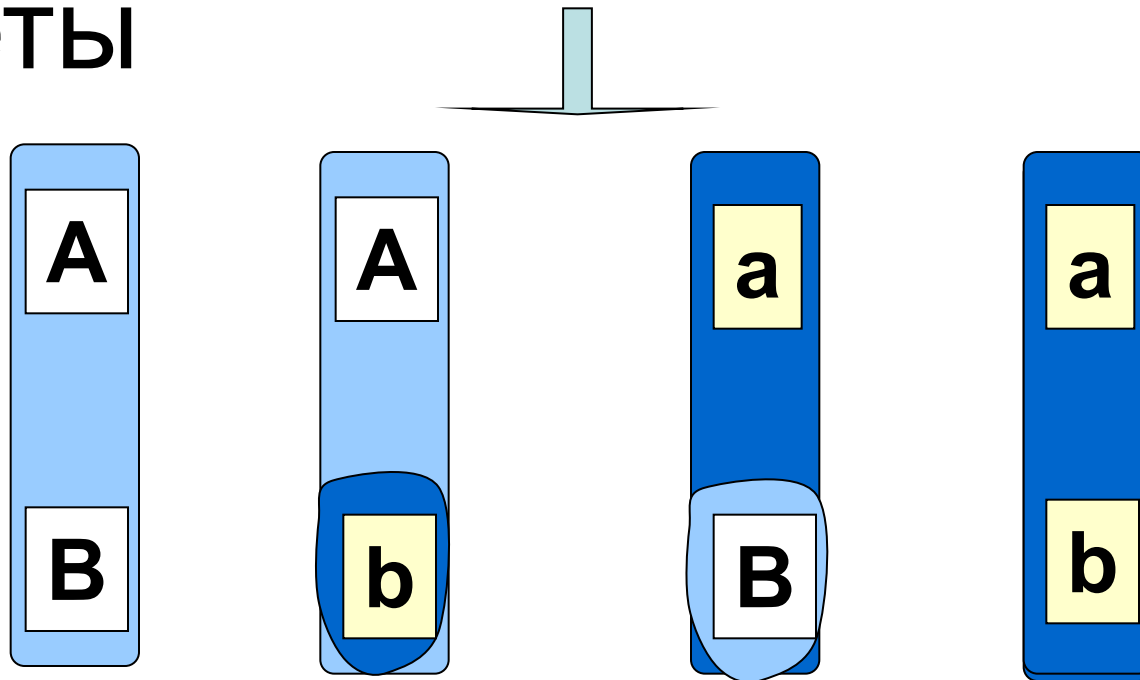
С генами



Кроссоверные
хроматиды



Гаметы



Среди всех гамет организма кроссоверных будет меньше,
т.к. кроссинговер пройдет **не в каждой клетке**

Частота кроссинговера –
доля кроссоверных гамет
среди всех гамет

Зависит от **расстояния** между
генами в хромосоме

Что получим в скрещивании?

Частоту кроссинговера удобно
измерять в **анализирующем**
скрещивании

$Aa Bb \times aa bb$



Чтобы увидеть кроссинговер, нужно
чтобы по крайней мере **два гена** были
гетерозиготны

Рассмотрим результаты анализирующего скрещивания для трех случаев

1. А и В в разных хромосомах

Независимое
наследование

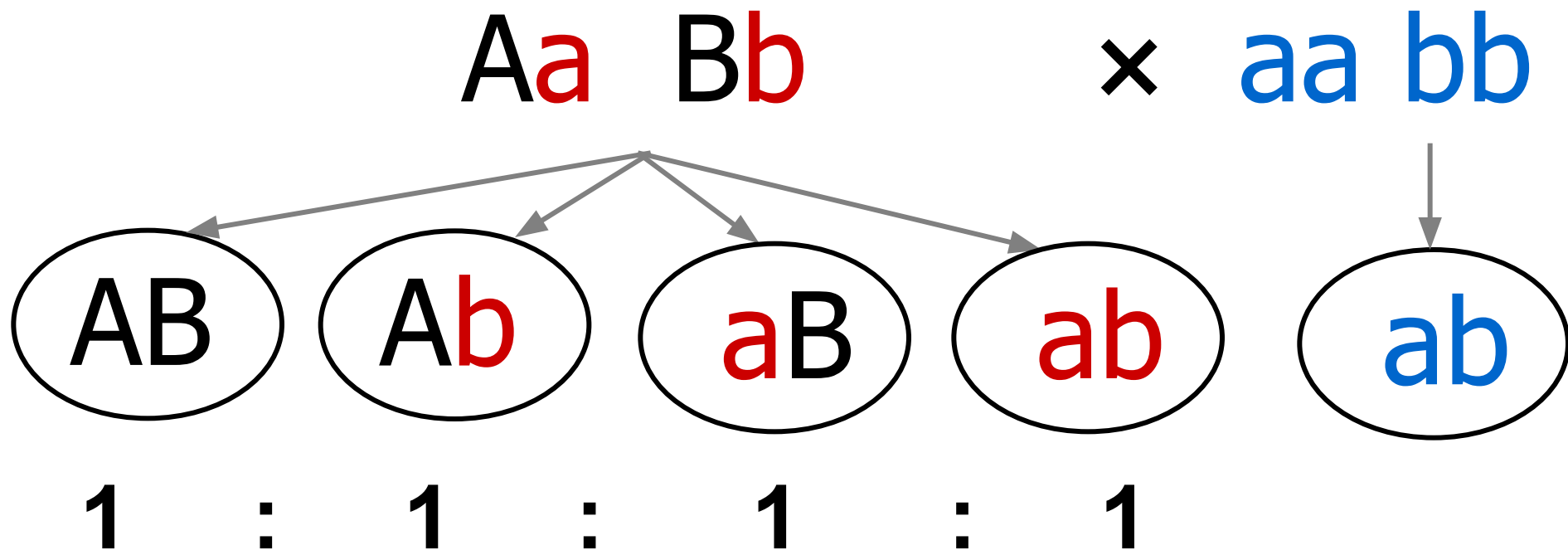
2. А и В в одной хромосоме так близко, что кроссинговера нет

Полное
сцепление

3. А и В в одной хромосоме, возможен кроссинговер

Сцепление и
кроссинговер

1. Гены А и В в разных хромосомах.
Независимое наследование



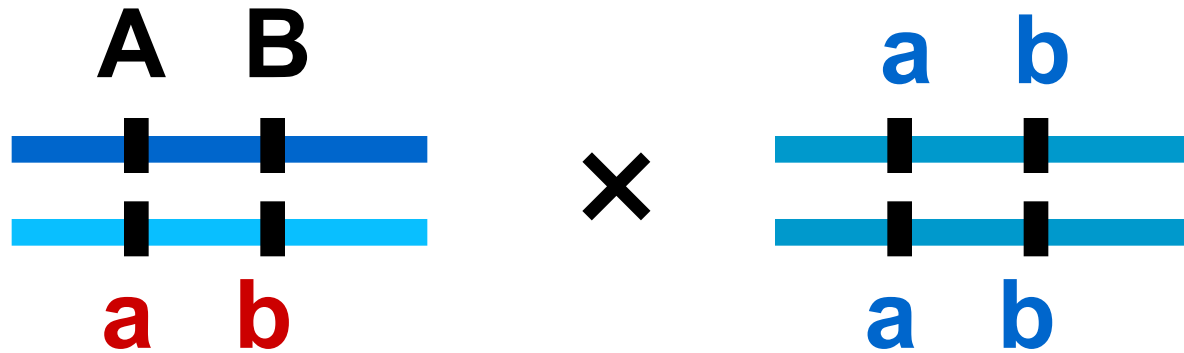
4 класса потомков в равных количествах

2. Гены А и В в в одной хромосоме
так **близко, что кроссинговера нет**

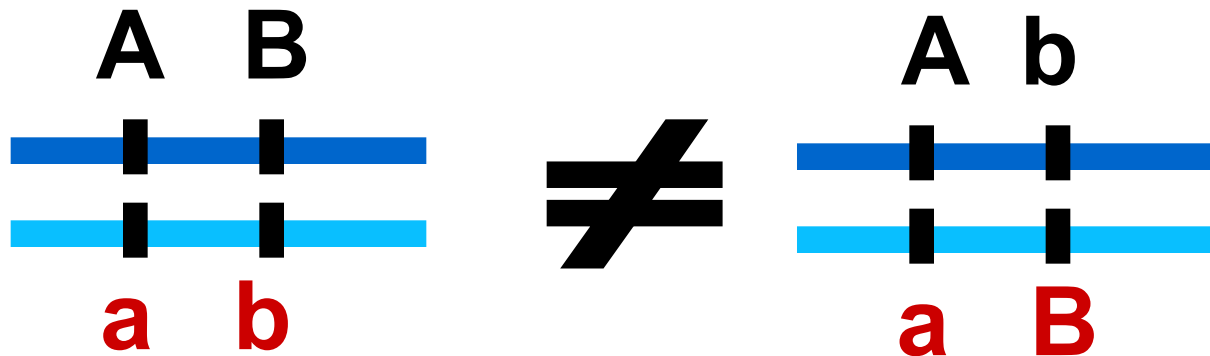


Полное сцепление

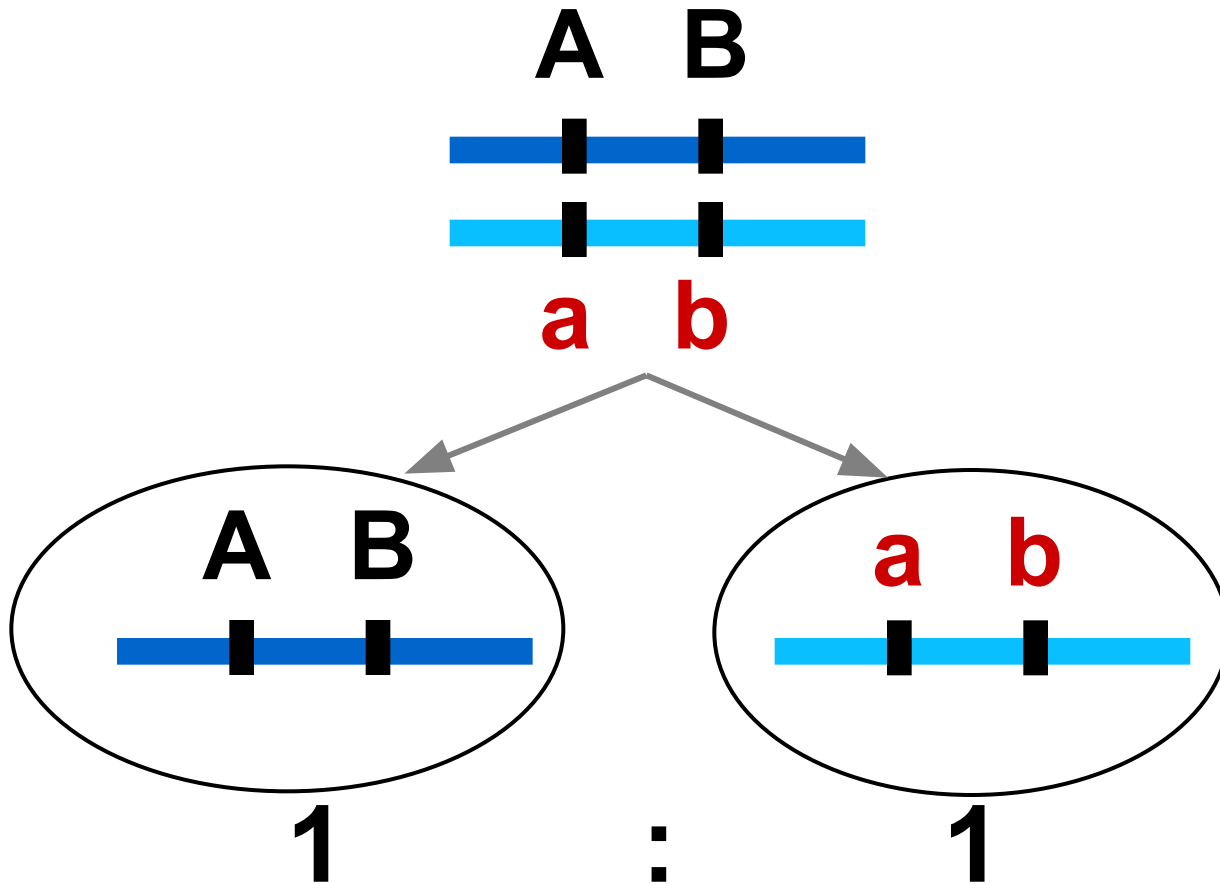
2. Полное сцепление



Обратите внимание на форму записи генотипов. Ее используют всегда, если гены в одной хромосоме.

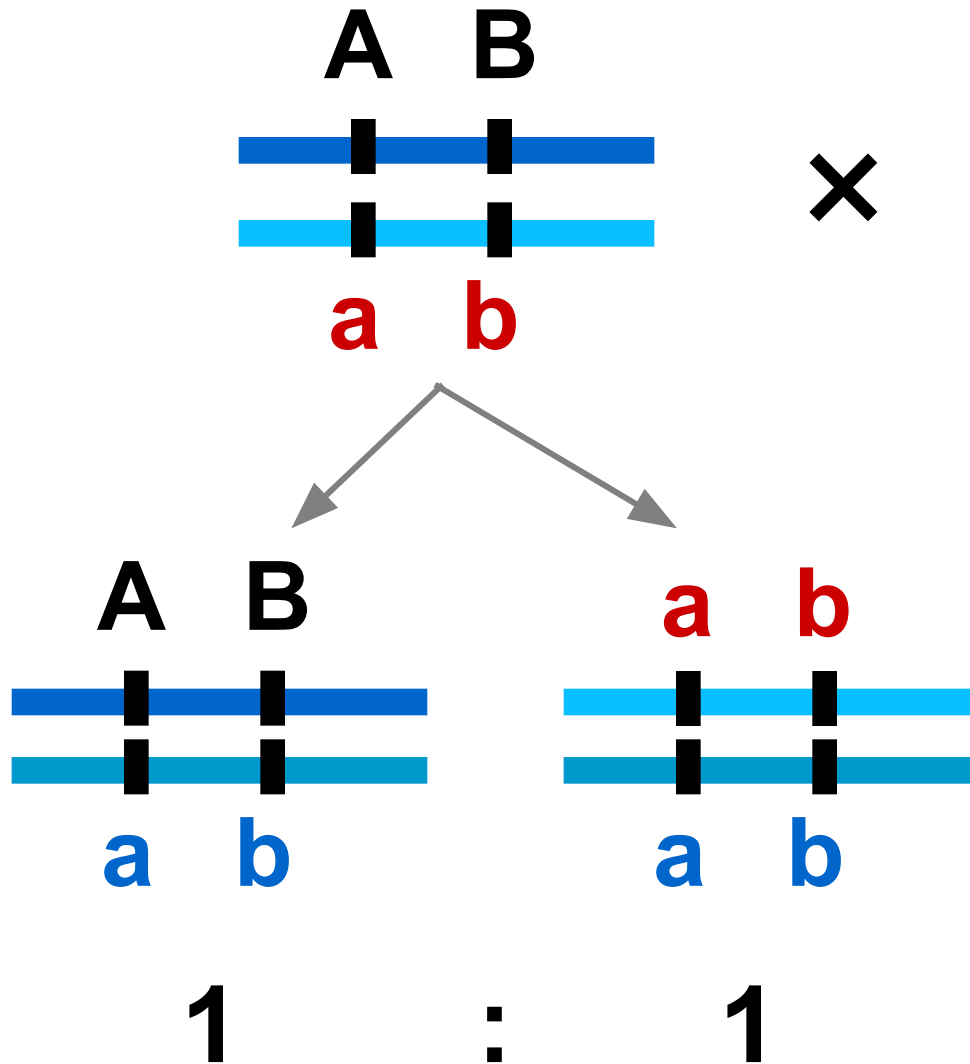


2. Полное сцепление. Гаметы



Фактически полностью сцепленные гены наследуются как **один суперген (гаплотип)**

2. Полное сцепление. Потомки

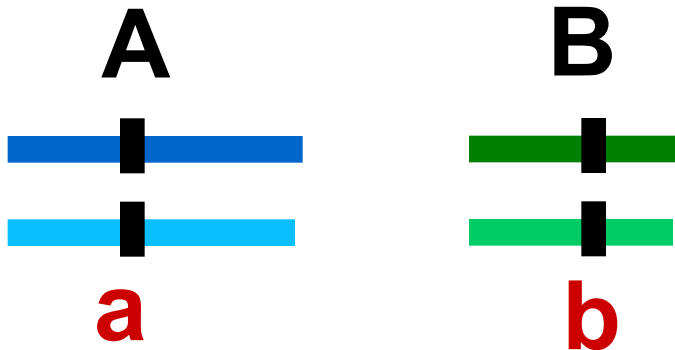


Только 2 класса
ПОТОМКОВ.

Аллели только в
родительском
сочетании.

Итоги

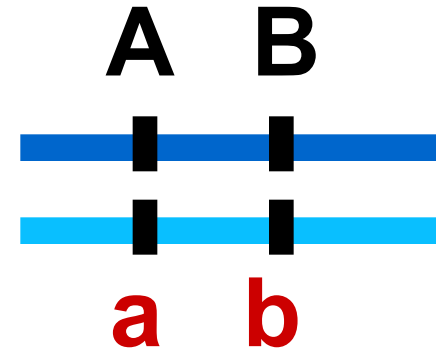
1. Независимое насл.



4 класса

по $\frac{1}{4}$

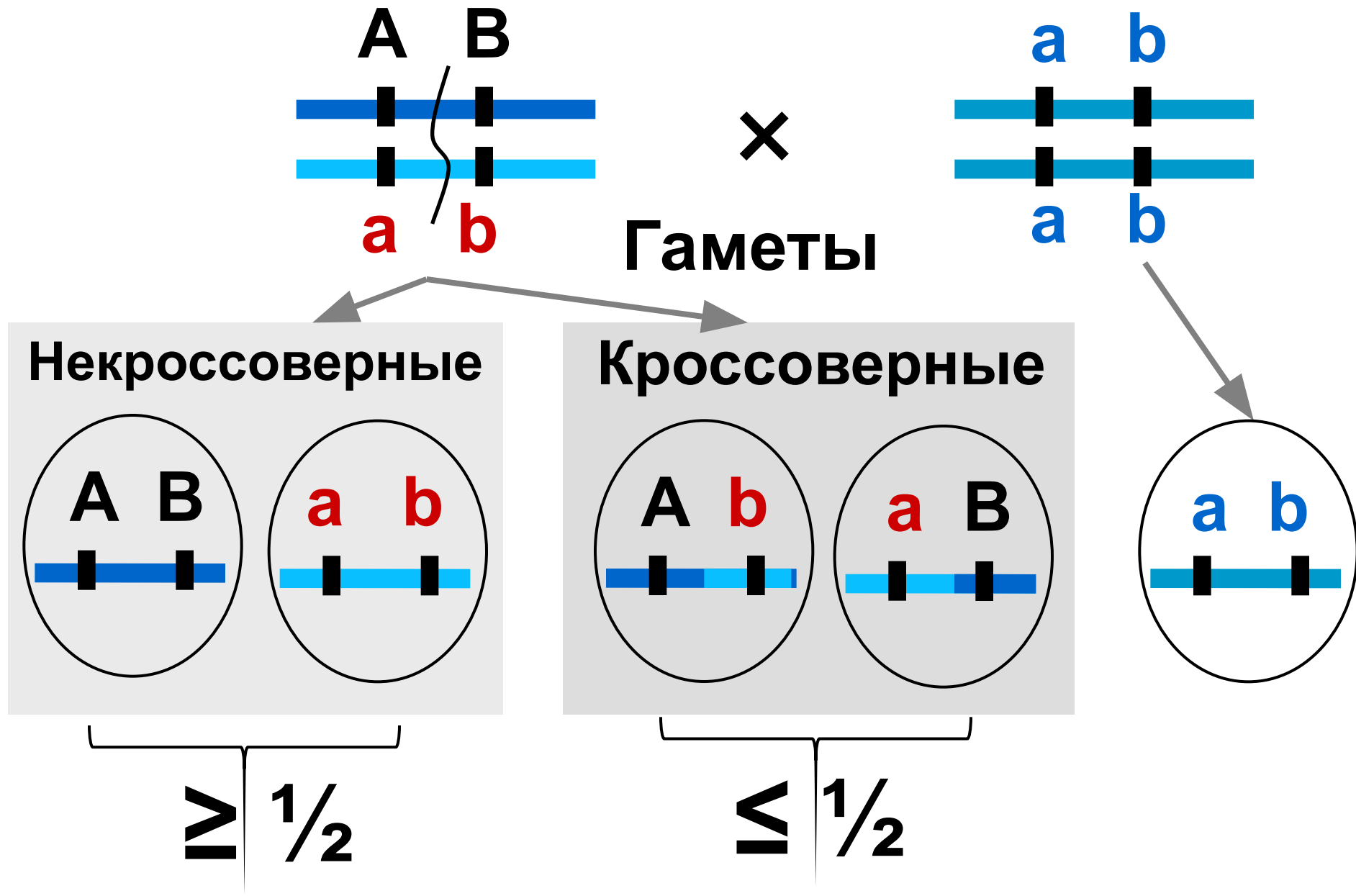
2. Полное сцепление



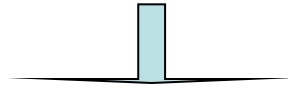
2 класса

по $\frac{1}{2}$

3. Сцепление и кроссинговер



Частота кроссинговера – доля
кроссоверных **гамет** среди всех **гамет**



В анализирующем скрещивании

Частота кроссинговера – доля
кроссоверных **потомков** среди всех

$$RF = \frac{\text{Число кроссоверных потомков}}{\text{Число ВСЕХ потомков}}$$

Частота кроссинговера обычно
приводится в процентах:

1% кроссинговера = 1 морганида
(или сантиМорган, сМ)

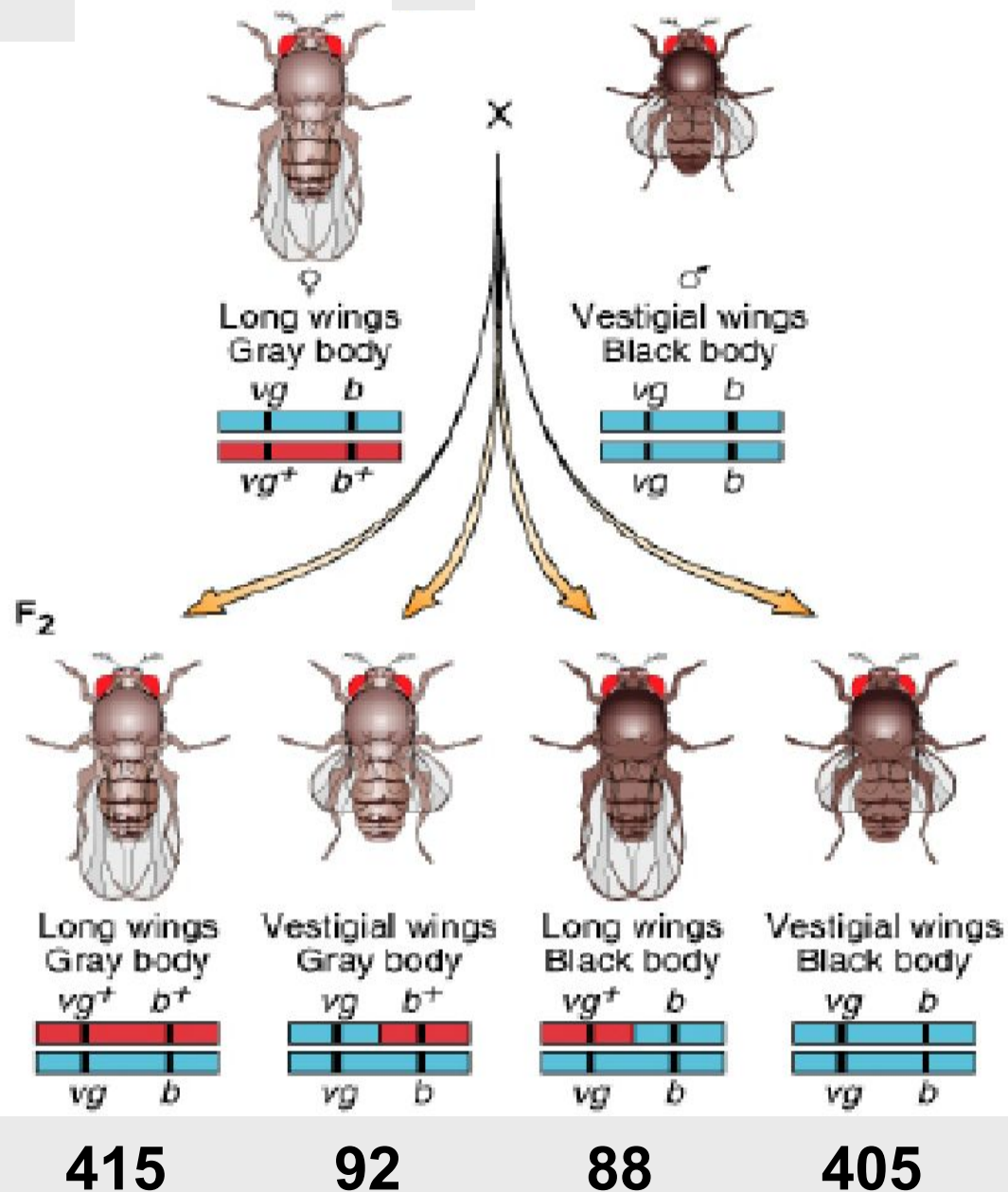
Задача

vestigial – vg зачаточные крылья

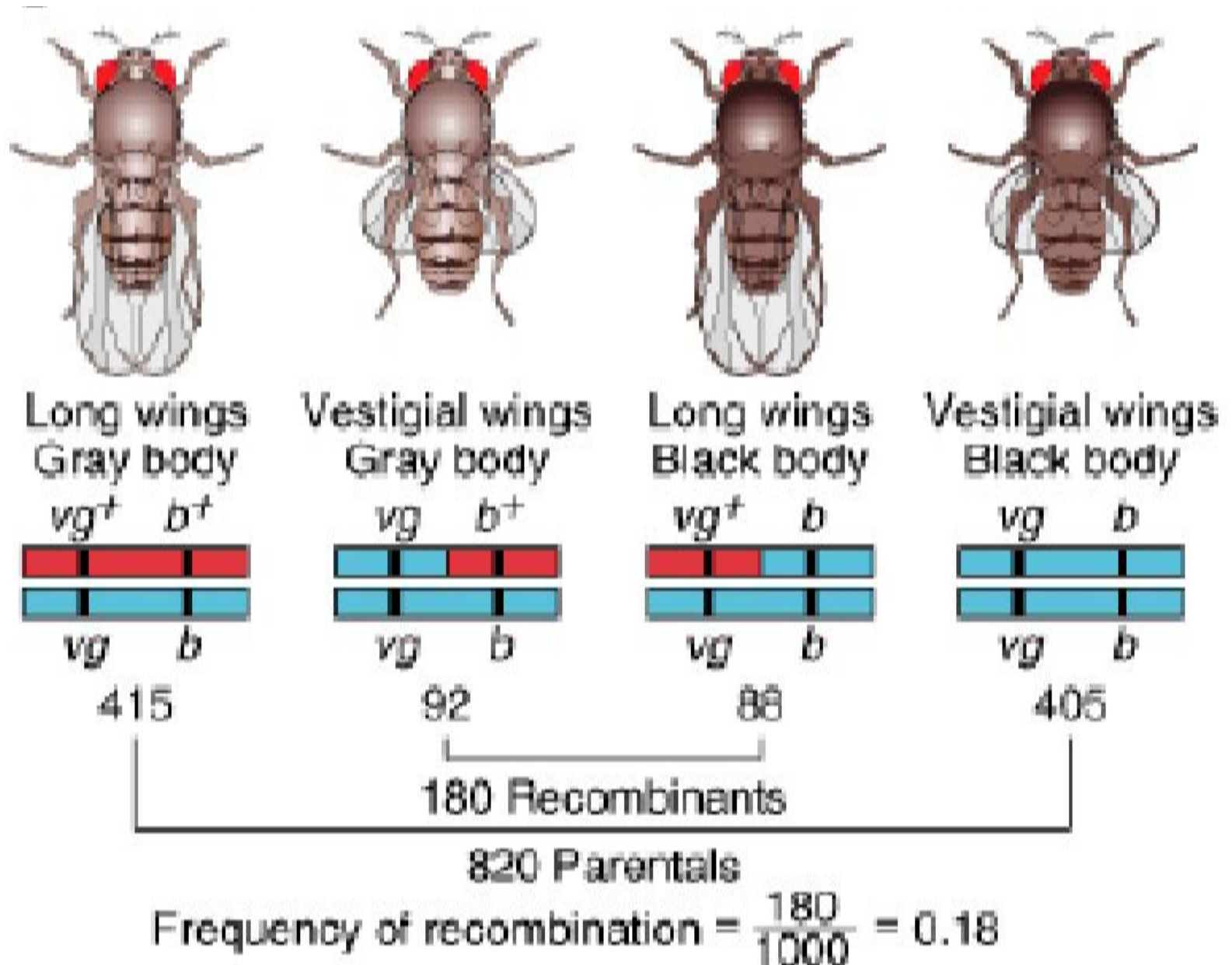
black – b черное тело

Оба гена рецессивны и находятся в хромосоме 3

По результатам скрещивания определите частоту кроссинговера



Решение задачи



Формулы, полезные для решения задач

Пусть r – частота кроссинговера

Кроссоверные
классы

$$\frac{r}{2}$$

НЕкроссоверные
классы

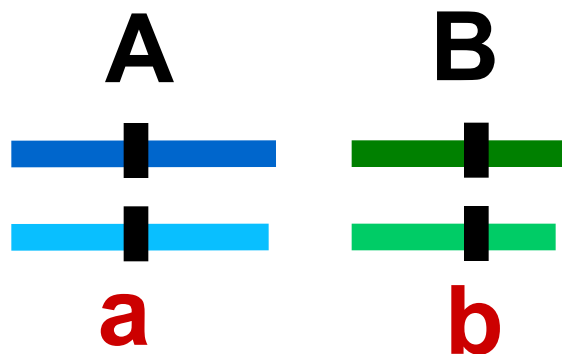
$$\frac{1 - r}{2}$$

Кроссинговер может произойти
даже внутри гена

Но чтобы «поймать» это событие
надо получить несколько тысяч
ПОТОМКОВ

1

Независимое
наследование

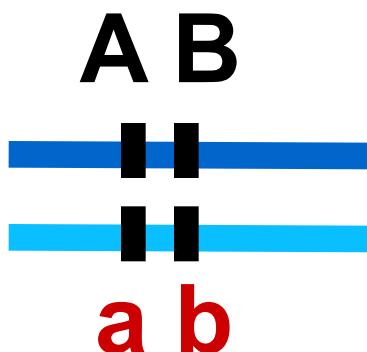


4 класса 1:1:1:1

AB
ab
Ab
aB

2

Полное
сцепление

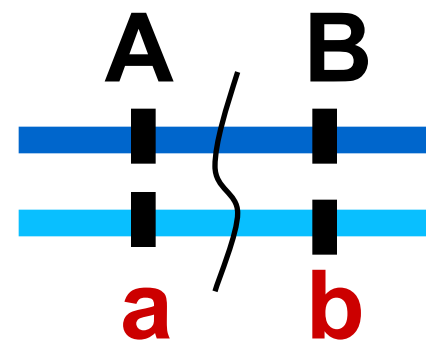


2 класса 1:1

AB
ab

3

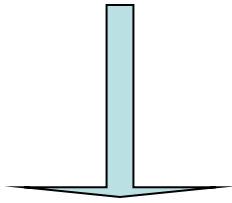
Сцепление и
кроссинговер



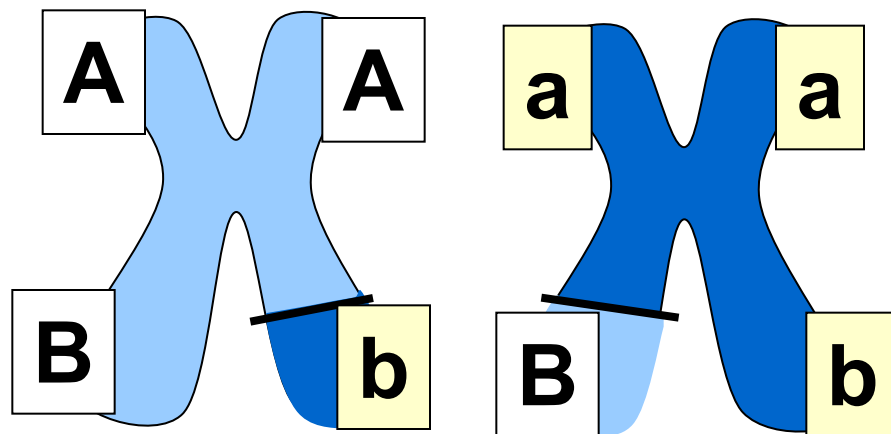
4 класса

AB
ab } $\geq 1/2$
Ab
aB } $\leq 1/2$

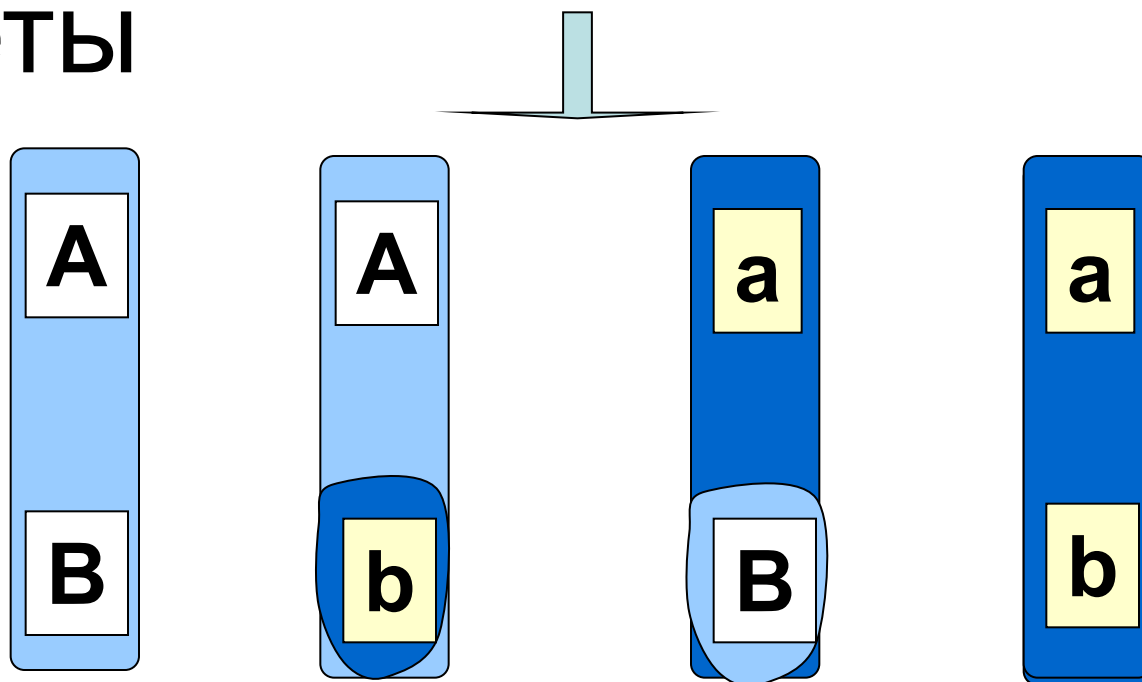
В каждом событии кроссинговера
участвует 2 хроматиды из 4-х



Частота кроссинговера между
двумя генами **не может быть**
больше 50%

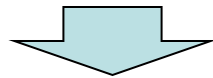


Гаметы



Кроссоверных МЕНЬШЕ,
т.к. кроссинговер не в каждой клетке

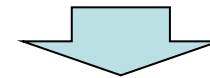
По частотам гамет определите генотип родителя



A B
a b

} $\geq \frac{1}{2}$

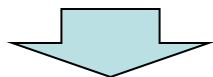
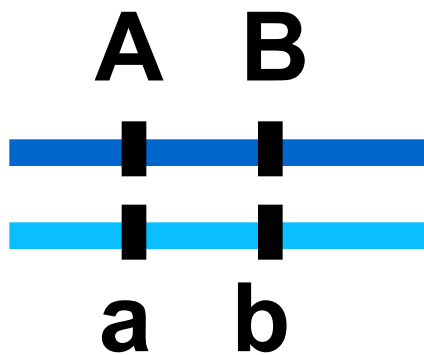
A b
a B



A B
a b

A b
a B

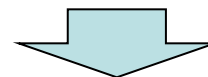
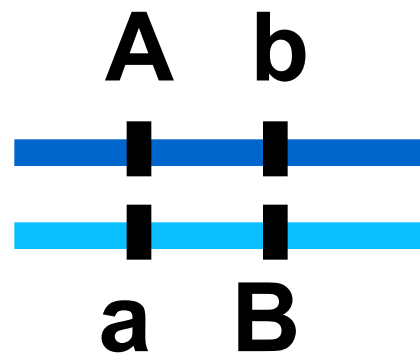
} $\geq \frac{1}{2}$



A B
a b

} $\geq \frac{1}{2}$

A b
a B



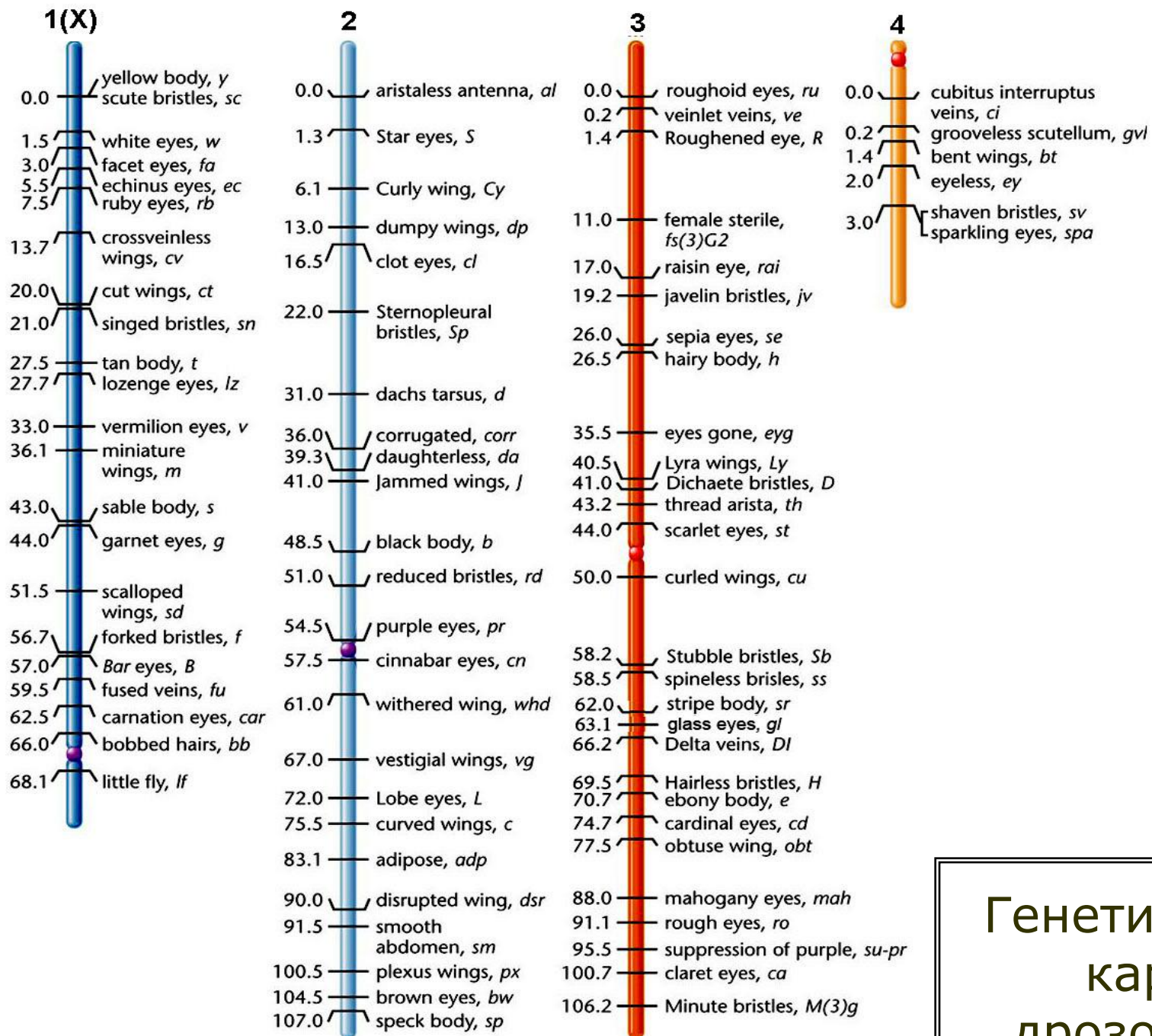
A B
a b

A b
a B

} $\geq \frac{1}{2}$

Генетическая карта хромосом

Строится на основе **частоты кроссинговера** между генами.

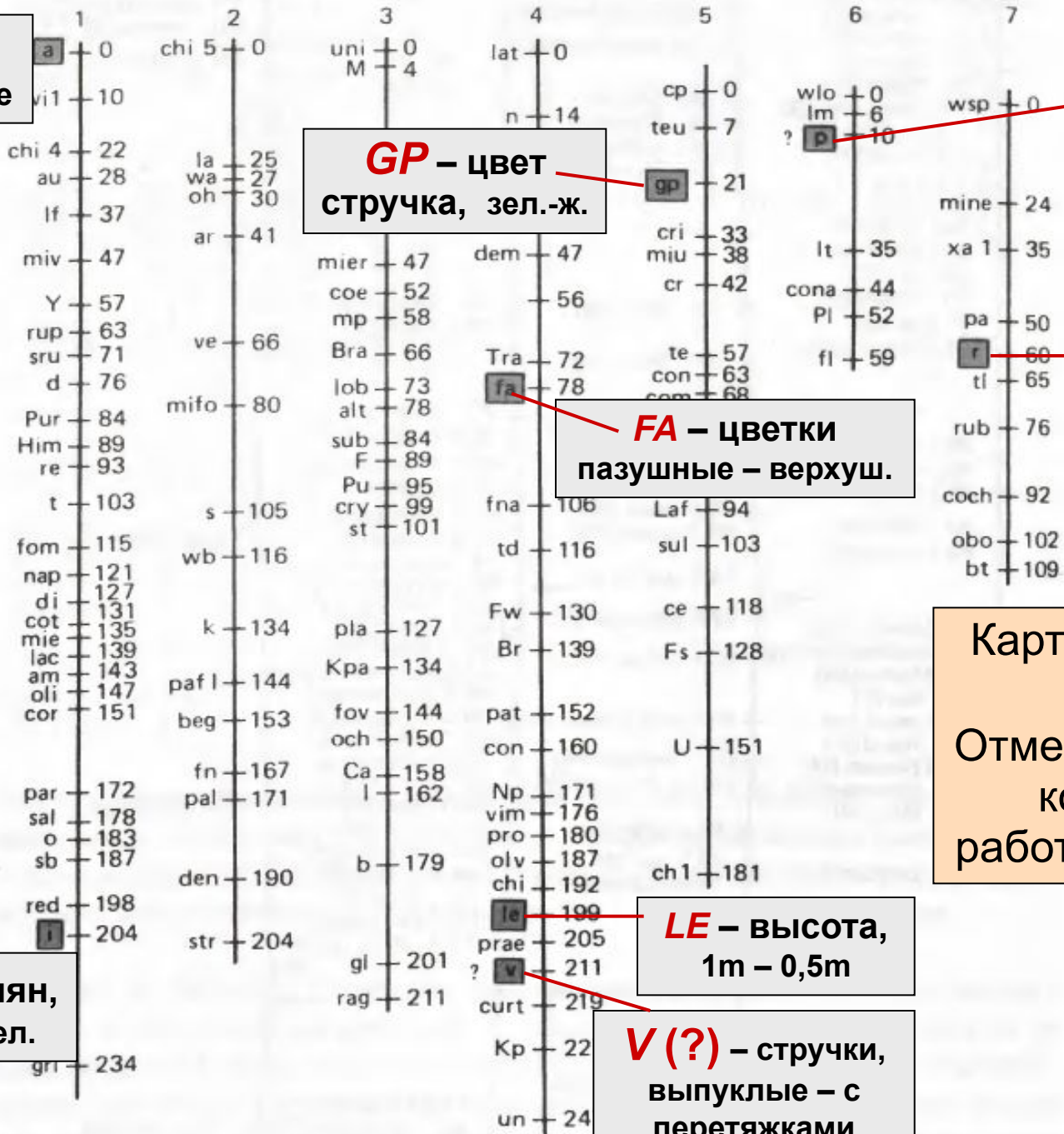


Генетическая
карта
дрозофилы

Генетическая карта хромосом

- В эксперименте частота кроссинговера между 2 генами **НЕ БОЛЬШЕ 50%**
- Но длина хромосом дрозофилы – более 100 сМ
- Это значит, что между генами, расположенными в разных концах обычно проходит один-два обмена.

A – цветки,
окраш.- белые



GP – цвет
стручка, зел.-ж.

FA – цветки
пазушные – верхуш.

P (?) – стручки,
выпуклые – с
перетяжками

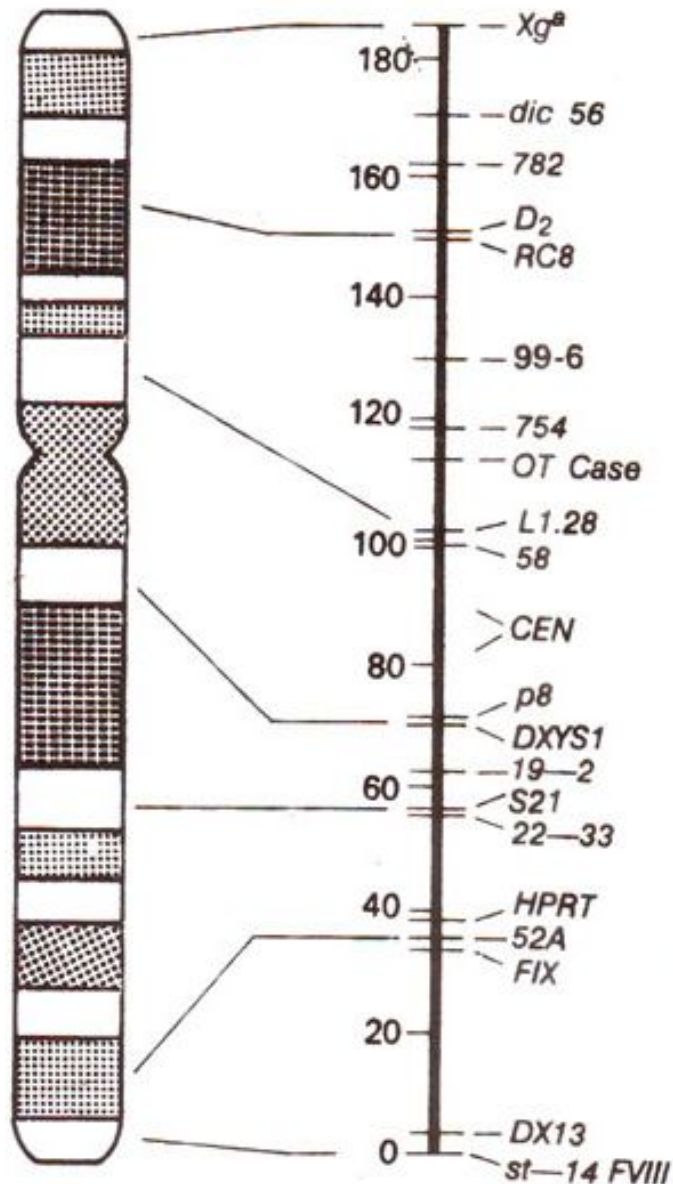
R – семена,
гл. – морщ.

LE – высота,
1m – 0,5m

V (?) – стручки,
выпуклые – с
перетяжками

Карта хромосом
гороха.
Отмечены гены, с
которыми
работал Мендель

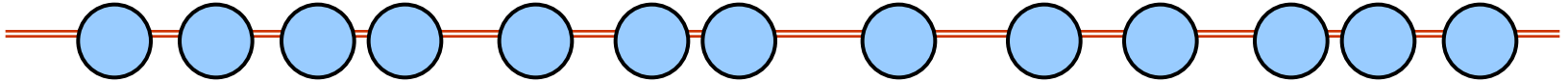
I – цвет семян,
желтый – зел.



Генетическая карта X хромосомы человека

(строилась с
использованием
ДНК маркеров)

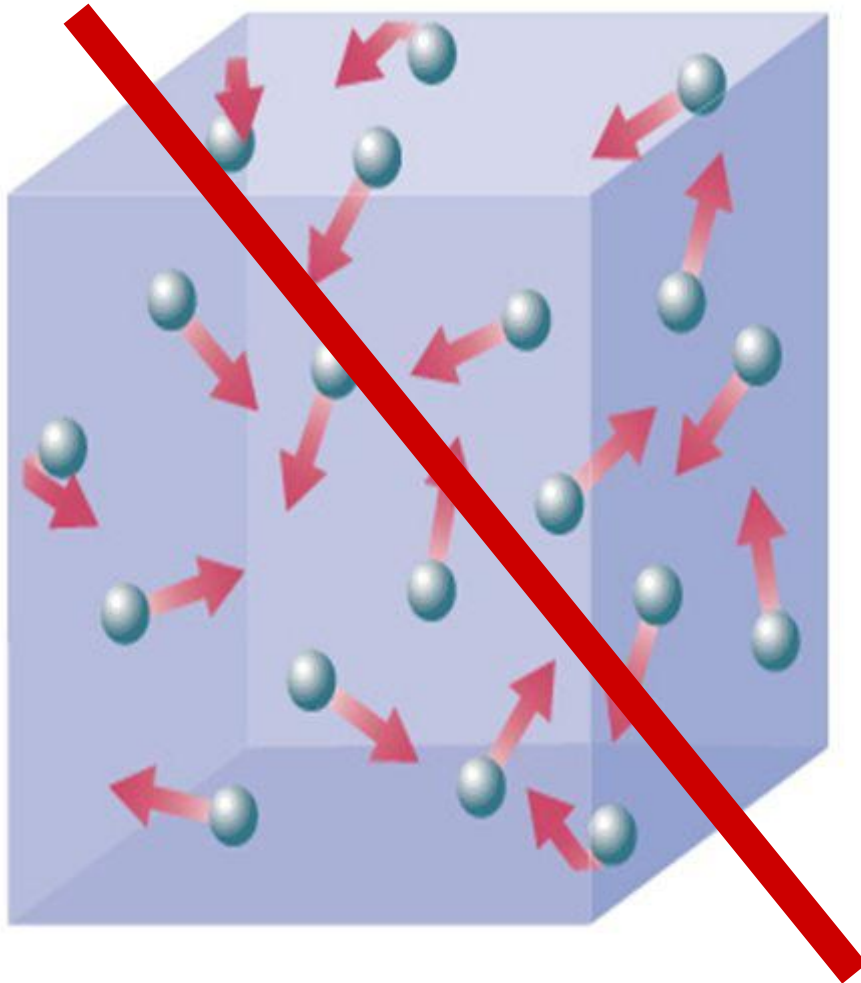
Хромосомная теория наследственности Моргана



Гены в хромосоме
по представлениям школы Моргана

- 1. У каждого гена – точное и постоянное место на хромосоме**
- 2. Порядок генов линейный – расстояния суммируются**

У генов – постоянное место

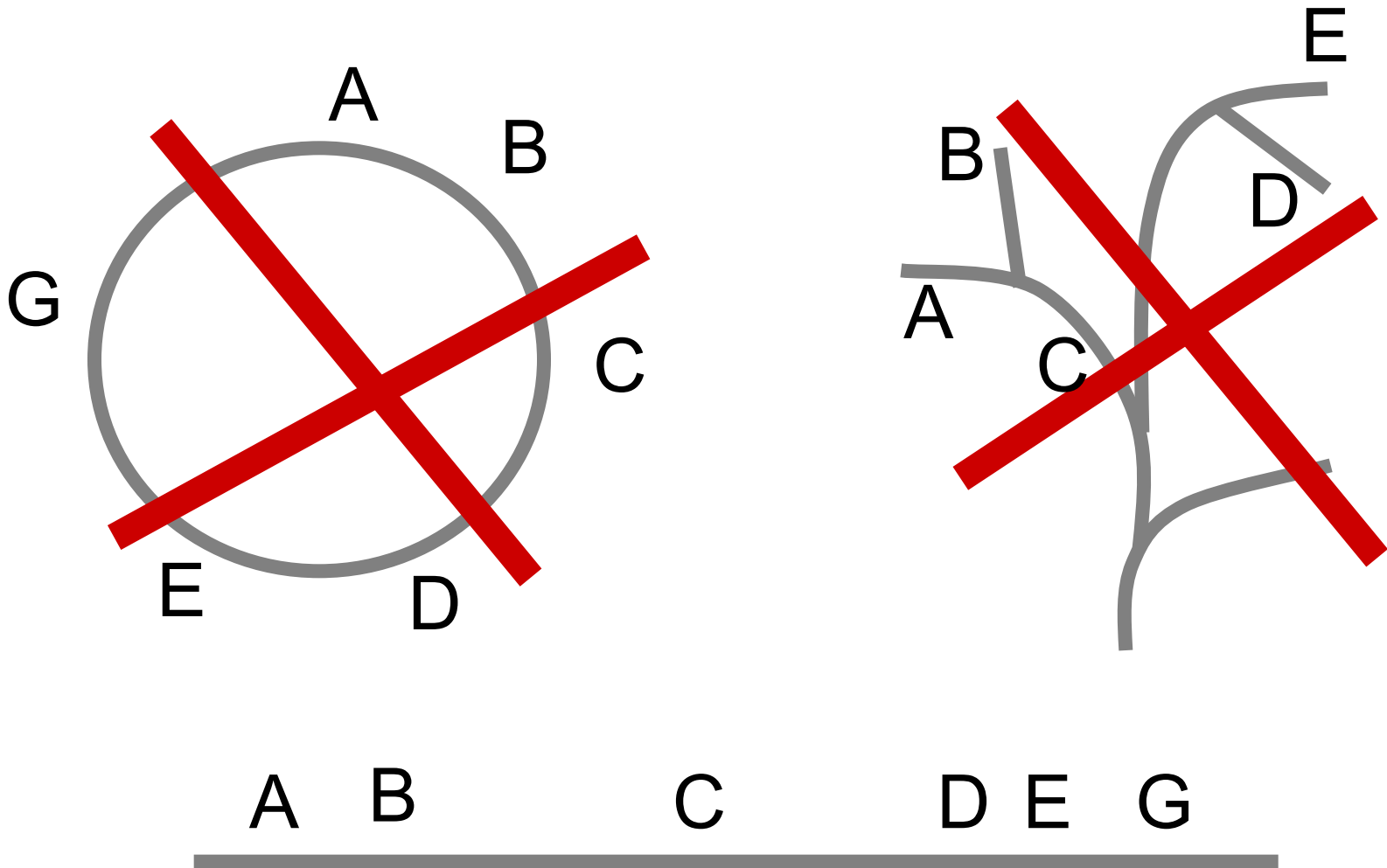


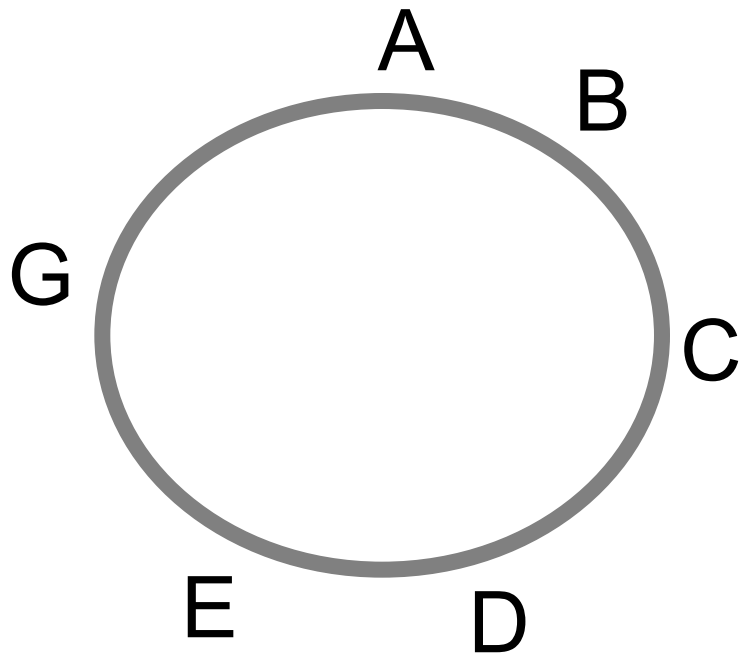
Они не
плавают в
хромосоме,
как молекулы
в жидкости
или газе

Постоянное место позволяет
построить карту генов в хромосоме



Когда были построены такие карты, они оказались **линейными**





Но у бактерий
карты оказались
кольцевыми.

Это впервые было
обнаружено
именно методом
генетического
картирования

Карты хромосом

Генетическая

Цитологическая

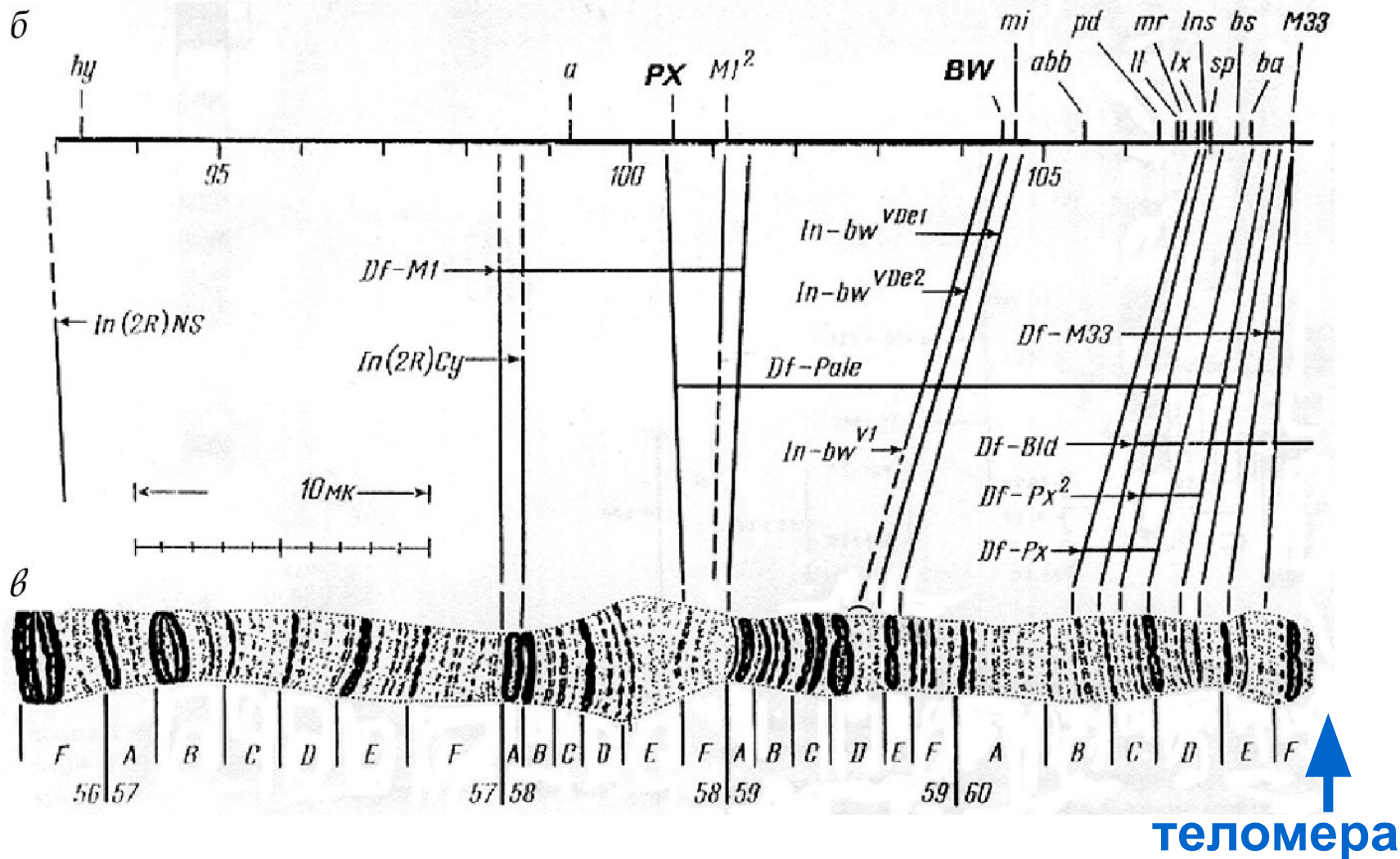
**Физическая
(молекулярная)**

Метод

Скращивание –
кроссинговер

Микроскопия

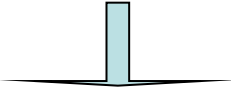
Секвенирование
ДНК



Сопоставление генетической и
цитологической карт дрософилы, 2R

Сопоставление генетической и цитологической карт. Выводы.

- Порядок генов одинаков
- Расстояния разные.

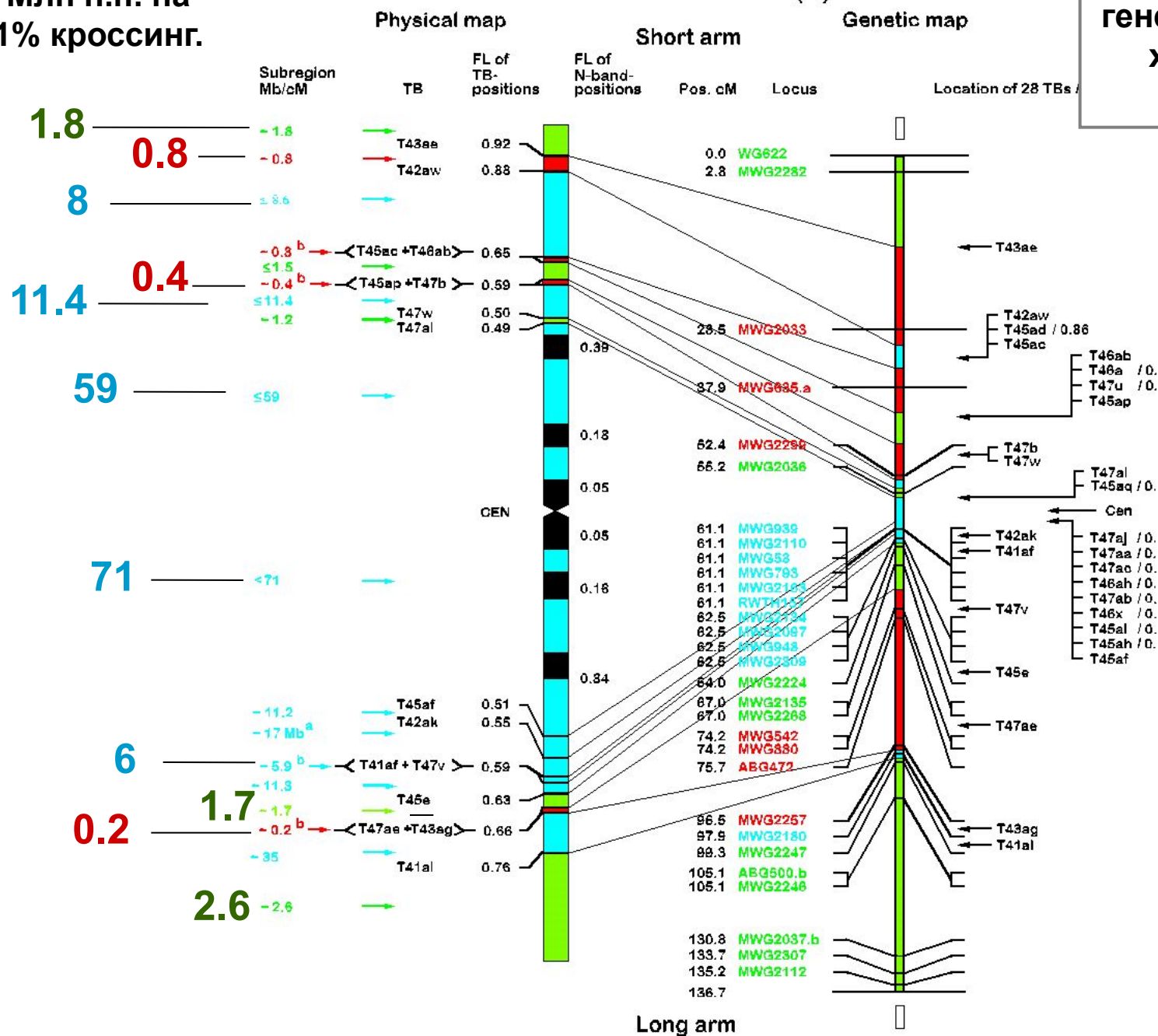
Частота кроссинговера  в одних районах хромосомы больше, в других – меньше

- (меньше – в гетерохроматиновых: у центромер и теломер)

Млн н.п. на
1% кроссинг.

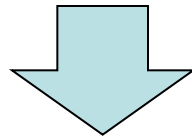
CHROMOSOME 4H(4)

Физическая и
генетическая карта
хромосомы 4
ячменя



Секвенирование ДНК

– это определение полной последовательности нуклеотидов



Физическая (молекулярная) карта

...ГТАААТГЦЦТААЦГЦТТААГЦЦА...

Сколько нуклеотидов
приходится на
1% кроссинговера?

Число н.п. в 1 см

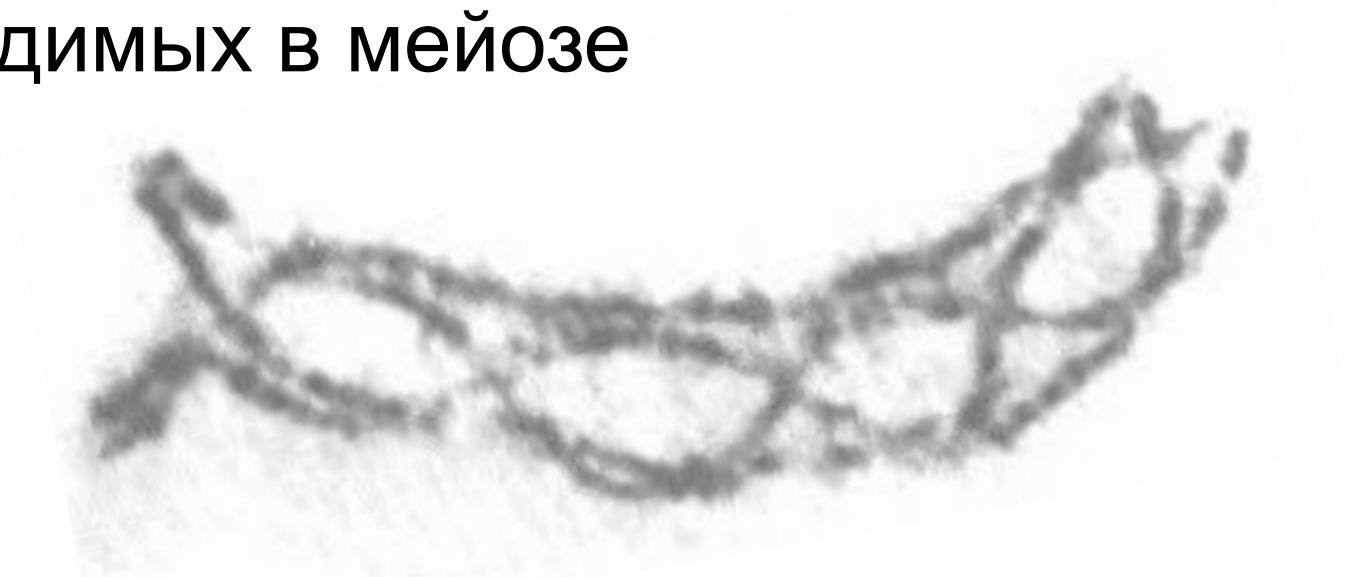
Фаг Т4	200
Бактерия E.coli	2 400
Грибы	27 000
Нематода	250 000
Дрозофила	500 000
Человек (жен)	700 000
Человек (муж)	1 200 000

Решение задач на кроссинговер

Нестандартная задача на
число хиазм и
общую длину генетической карты

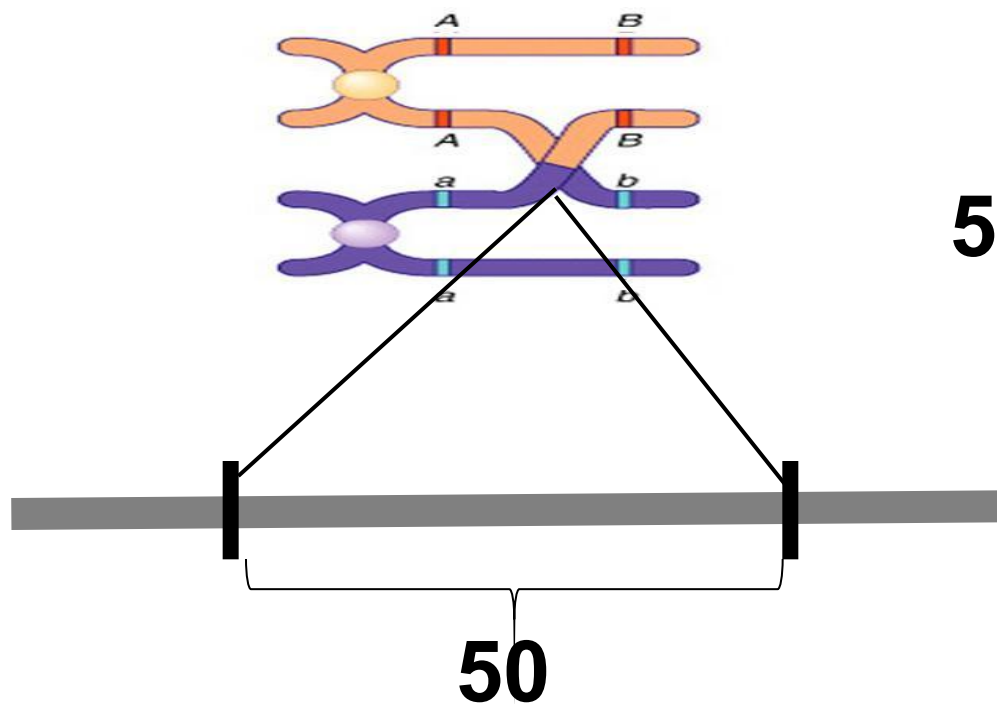
Суммарная длина генетической карты вида

Ее можно грубо оценить по числу хиазм, видимых в мейозе



Хиазмы – места, где прошел кроссинговер
Видны в диплотене (стадия профазы 1 мейоза)

Суммарная длина генетической карты вида



1 хиазма =
50% кроссинговера
дает 2 кроссоверные
гаметы
и 2 некроссоверные

Если представить самые удаленные локусы, то каждая хиазма дает **50%** рекомбинантов = 50 сМ



**общая длина
генетической карты
организма**

число хиазм × 50 сМ

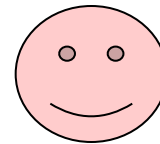
Среднее число хиазм на один мейоцит самки *D.melanogaster* составляет **5,7**. Исходя из этого, суммарная длина генетической карты дрозофилы примерно:

а) 5,7 сантиморган

б) 57 сантиморган

в) 285 сантиморган

г) 570 сантиморган



Два типа задач

1. От карты

2. От расщепления

Задачи «от карты» – простые

Дано: карта

Найти: ожидаемое расщепление

0.0 — roughoid eyes, *ru*
 0.2 — veinlet veins, *ve*
 1.4 — Roughened eye, *R*

11.0 — female sterile, *fs(3)G2*
 17.0 — raisin eye, *rai*
 19.2 — javelin bristles, *ju*
 26.0 — sepia eyes, *se*
 26.5 — hairy body, *h*

35.5 — eyes gone, *eyg*
 40.5 — Lyra wings, *Ly*
 41.0 — Dichaete bristles, *D*
 43.2 — thread arista, *th*
 44.0 — scarlet eyes, *st*
 50.0 — curled wings, *cu*

58.2 — Stubble bristles, *Sb*
 58.5 — spineless bristles, *ss*
 62.0 — stripe body, *sr*
 63.1 — glass eyes, *gl*
 66.2 — Delta veins, *DI*

Фрагмент хромосомы 3 *Drosophila melanogaster*

Определите расщепление в анализирующем скрещивании самки с генотипом

$$1. \quad \begin{array}{cc} h & + \\ + & eyg \end{array}$$

$$2. \quad \begin{array}{cc} ve & gl \\ + & + \end{array}$$

Гены А и В расположены в одной хромосоме на расстоянии 20 сМ, гены С и D – в другой на расстоянии 40 сМ

Гомозигота АВ CD скрещивается с гомозиготой ab cd, и потомки F1 бэккроссируются на рецессивного родителя.

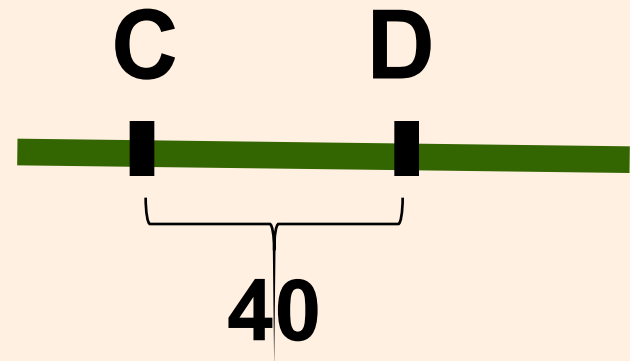
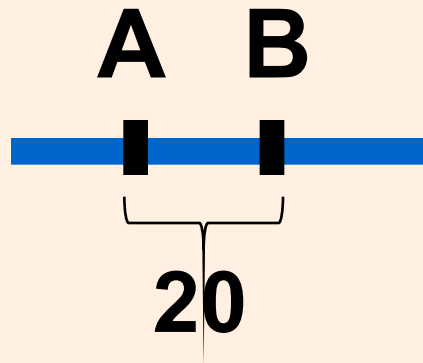
Определите вероятность появления потомков с фенотипами

1. АВ CD 2. АВ cd 3. aB cd 4. aB Cd

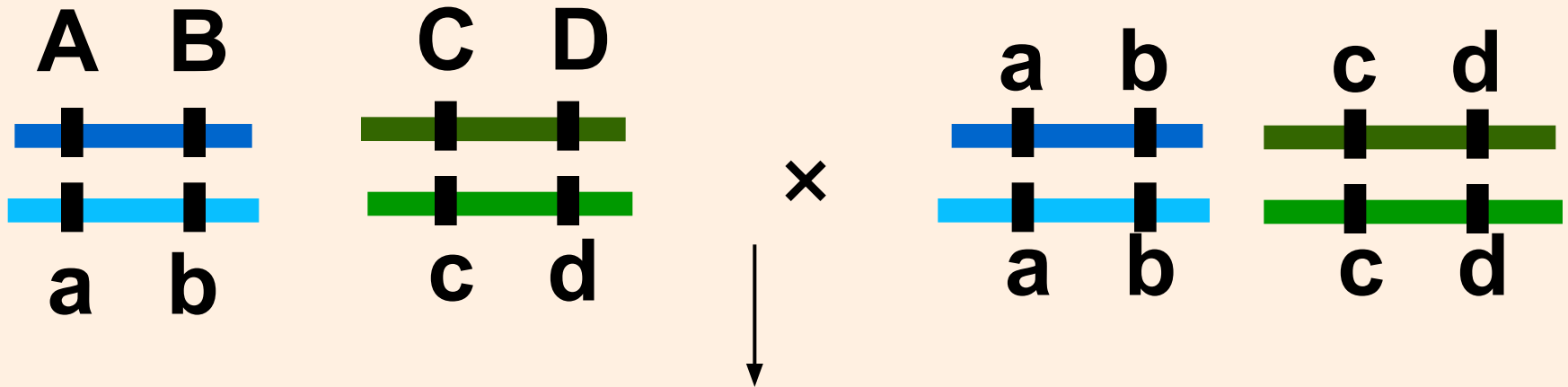
Задача

Гены **A** и **B** расположены в одной хромосоме на расстоянии 20 сМ,

Гены **C** и **D** – в другой на расстоянии 40



Анализирующее скрещивание



Какой будет доля потомков с генотипами:

1. **AB CD**

3. **aB cd**

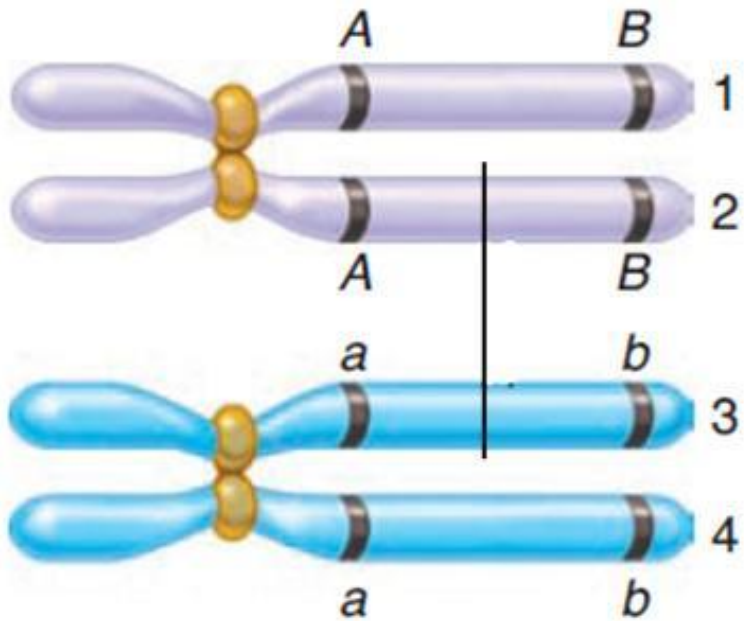
2. **AB cd**

4. **aB Cd**

Рекомендации по решению

- 1) Выпишите для каждой хромосомы отдельно **кроссоверные** и **некроссоверные** классы и их ожидаемую **частоту**.
- 2) Дальше надо исходить из того, что генотипы по генам разных хромосом – **независимые события**

В биваленте произошел кроссинговер, показанный на рисунке



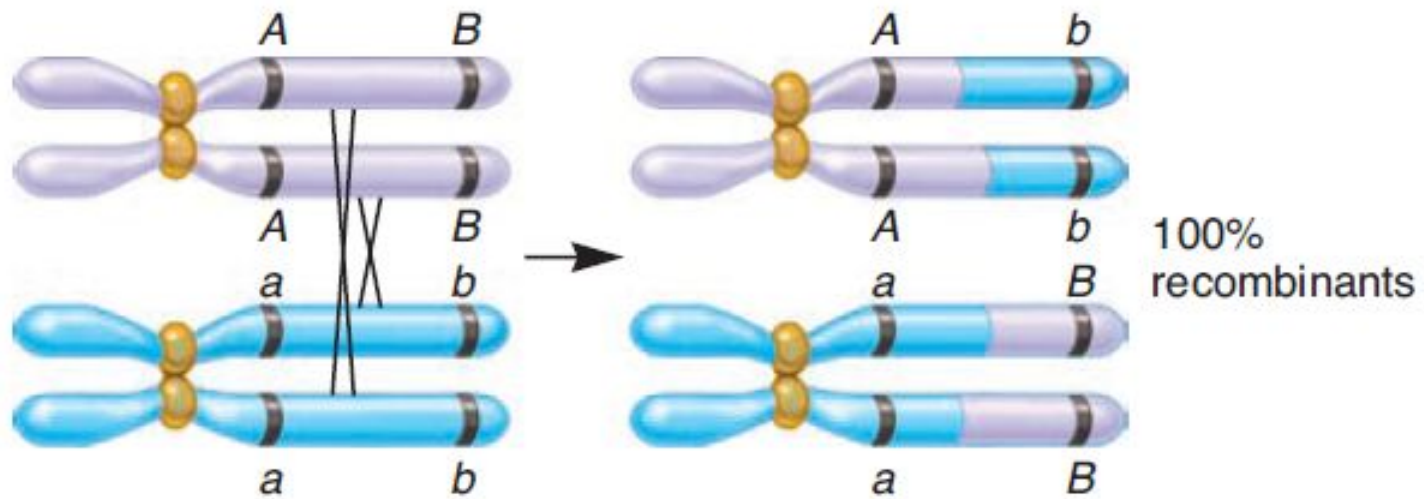
Если второй кроссинговер произойдет на том же участке (между генами А и В), то **какие две хроматиды** должны в нем участвовать, чтобы получить

А. 100% рекомбинантов

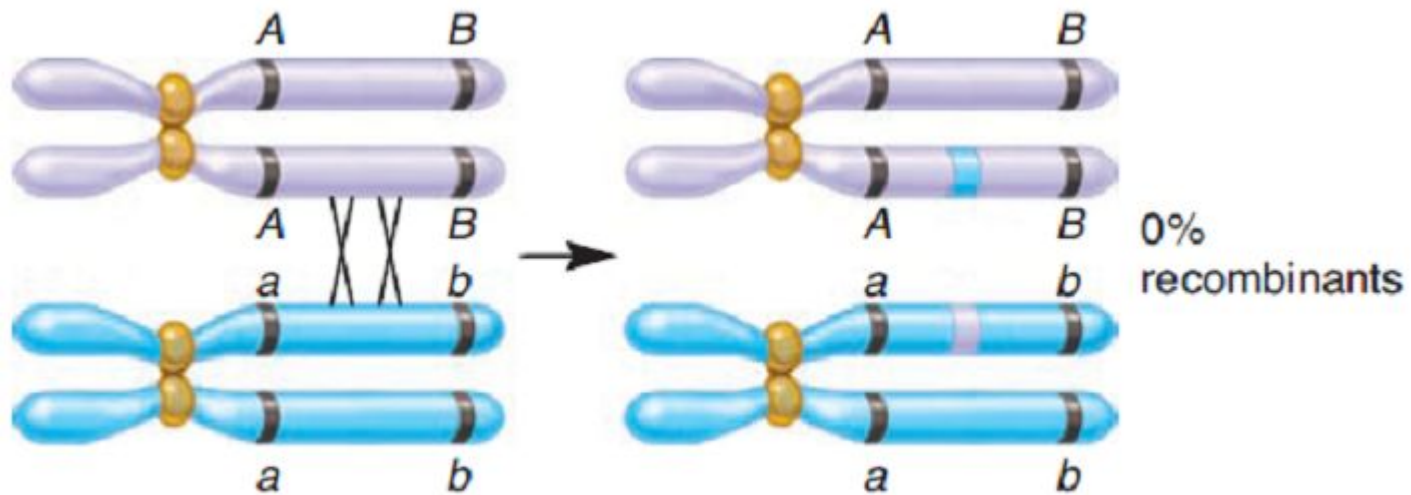
В. 0% рекомбинантов

С. 50% рекомбинантов

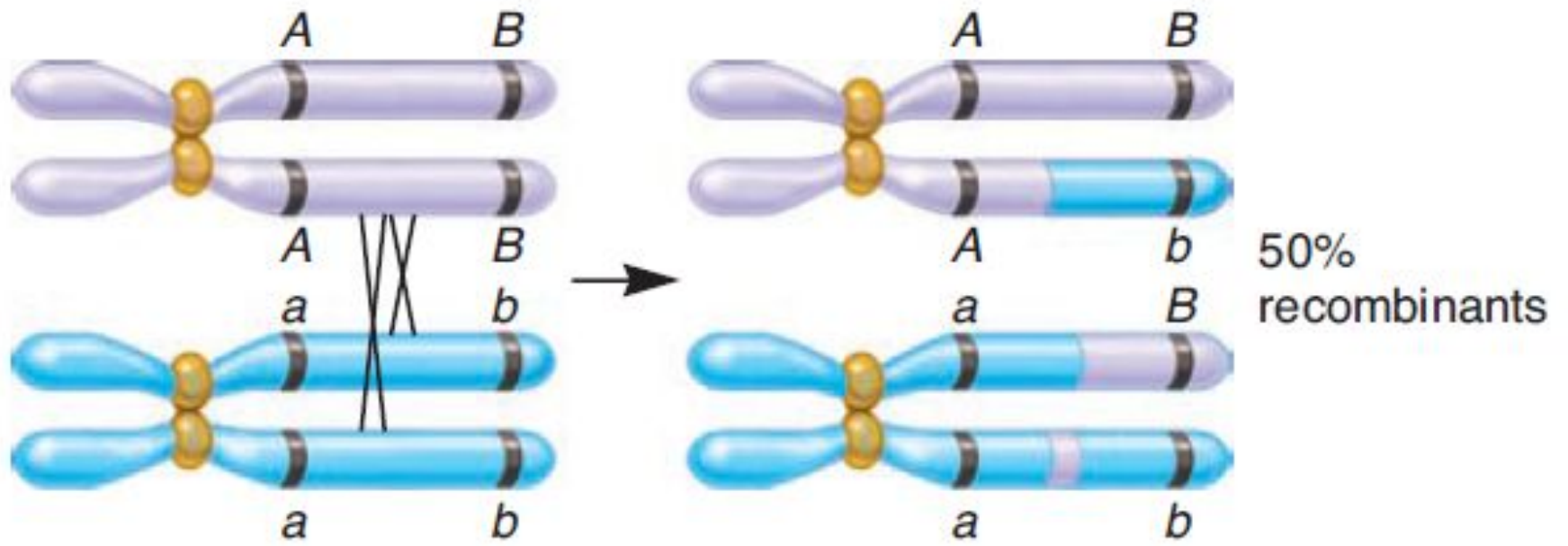
В гаметах от одной клетки это возможно!



Double crossover (involving 4 chromatids)



Double crossover (involving 2 chromatids)



Double crossover (involving 3 chromatids)

«От расщепления»

Задачи «от расщепления»

Дано: расщепление у потомков

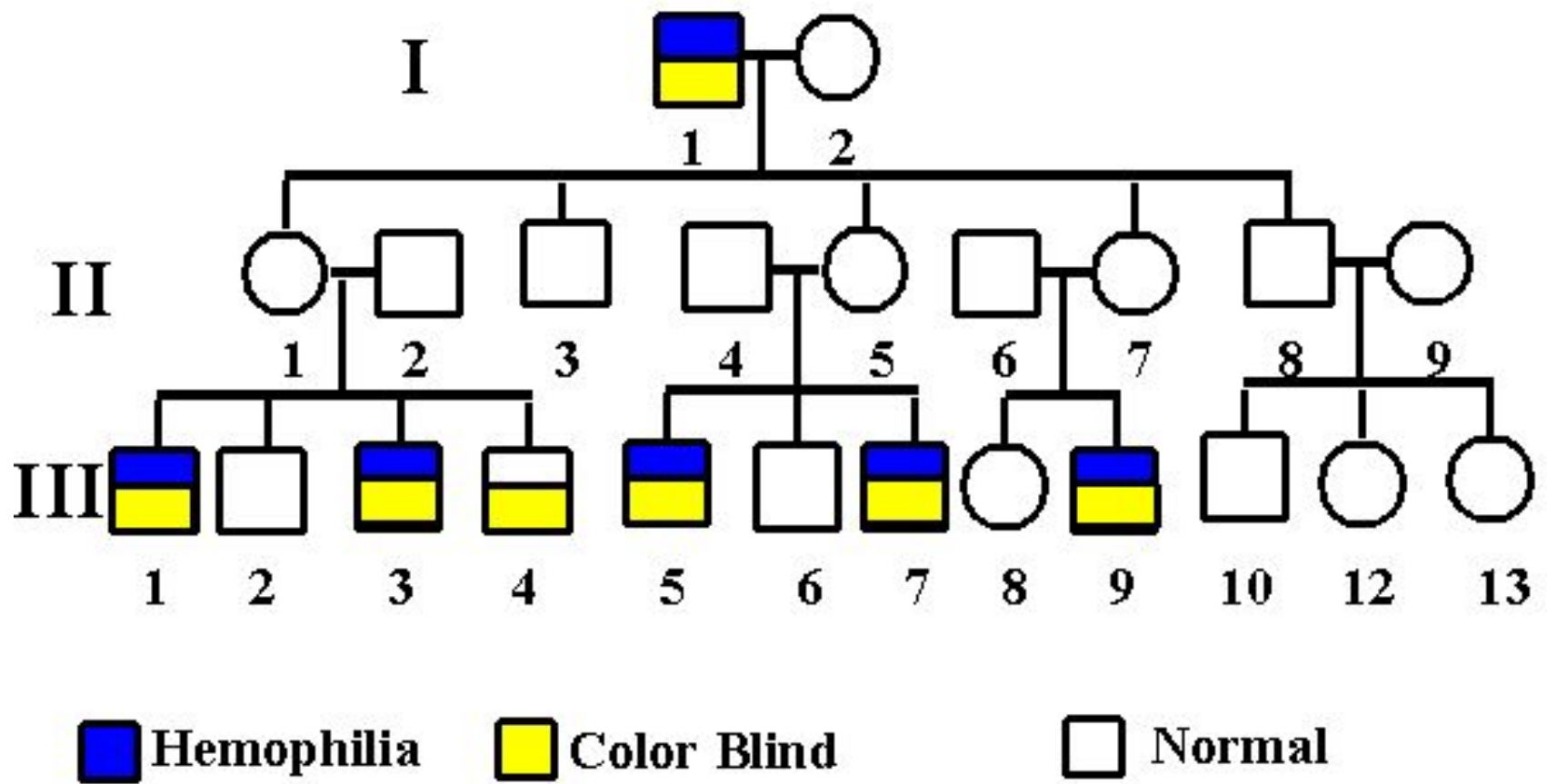
Найти:

1. **Расположение** генов в хромосомах гетерозиготного родителя
2. **Расстояние** между генами в сМ
3. **Порядок** генов на карте (если в задаче три гена или больше)

В анализирующем скрещивании получили расщепление по двум признакам на 4 фенотипических- класса в соотношении:

$$0,36 : 0,39 : 0,12 : 0,13$$

Определите, сцеплены ли гены и, если да, то расстояние между ними



Определите частоту кроссинговера между генами гемофилии и дальтонизма

Задача из демоверсии ЕГЭ 2012

При скрещивании растения гороха с гладкими семенами и усиками с растением с морщинистыми семенами без усиков все поколение F₁ было единообразно и имело гладкие семена и усики.

При скрещивании **другой** пары растений с **такими же фенотипами** (гороха с гладкими семенами и усиками и гороха с морщинистыми семенами без усиков) в потомстве получили половину растений с гладкими семенами и усиками и половину растений с морщинистыми семенами без усиков.

Составьте схему каждого скрещивания. Определите генотипы родителей и потомства. Объясните полученные результаты. Как определяются доминантные признаки в данном случае?

Содержание верного ответа и указания по оцениванию
(допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)

Схема решения задачи включает:

1) 1-е скрещивание:

семена гладкие и усики × морщинистые и без усиков

P. AABV aabb

G AB ab

F₁ AaBb

семена гладкие и усики;

2) 2-е скрещивание:

семена гладкие и усики × морщинистые и без усиков

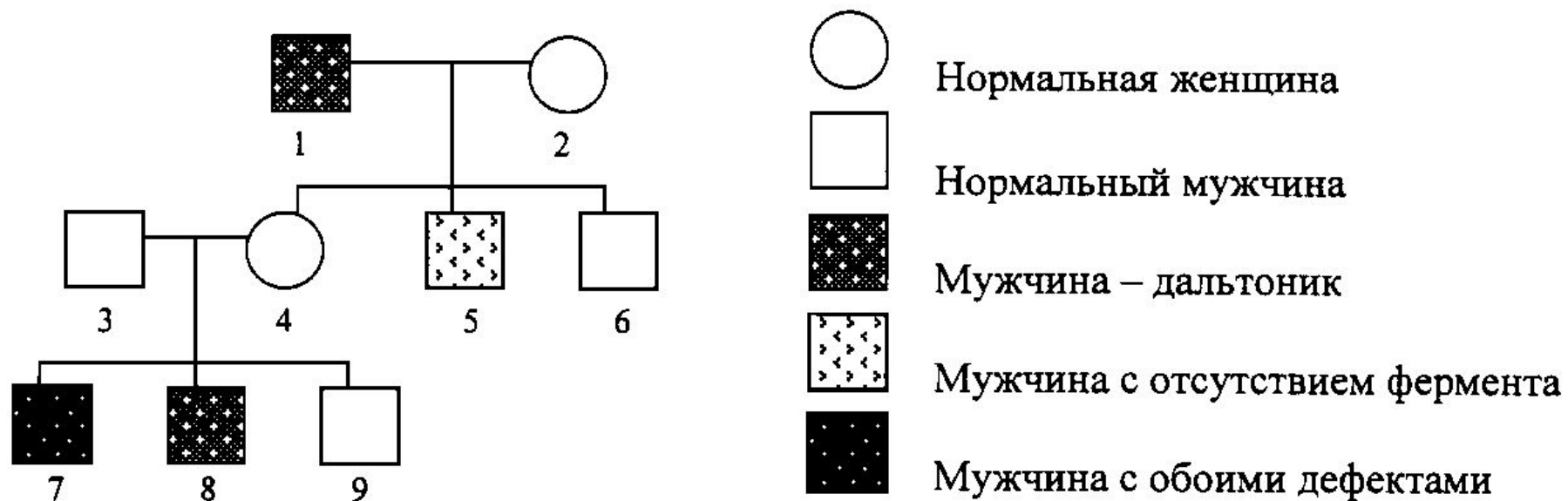
P. AaBb aabb

G AB , ab ab

F₁ AaBb, aabb

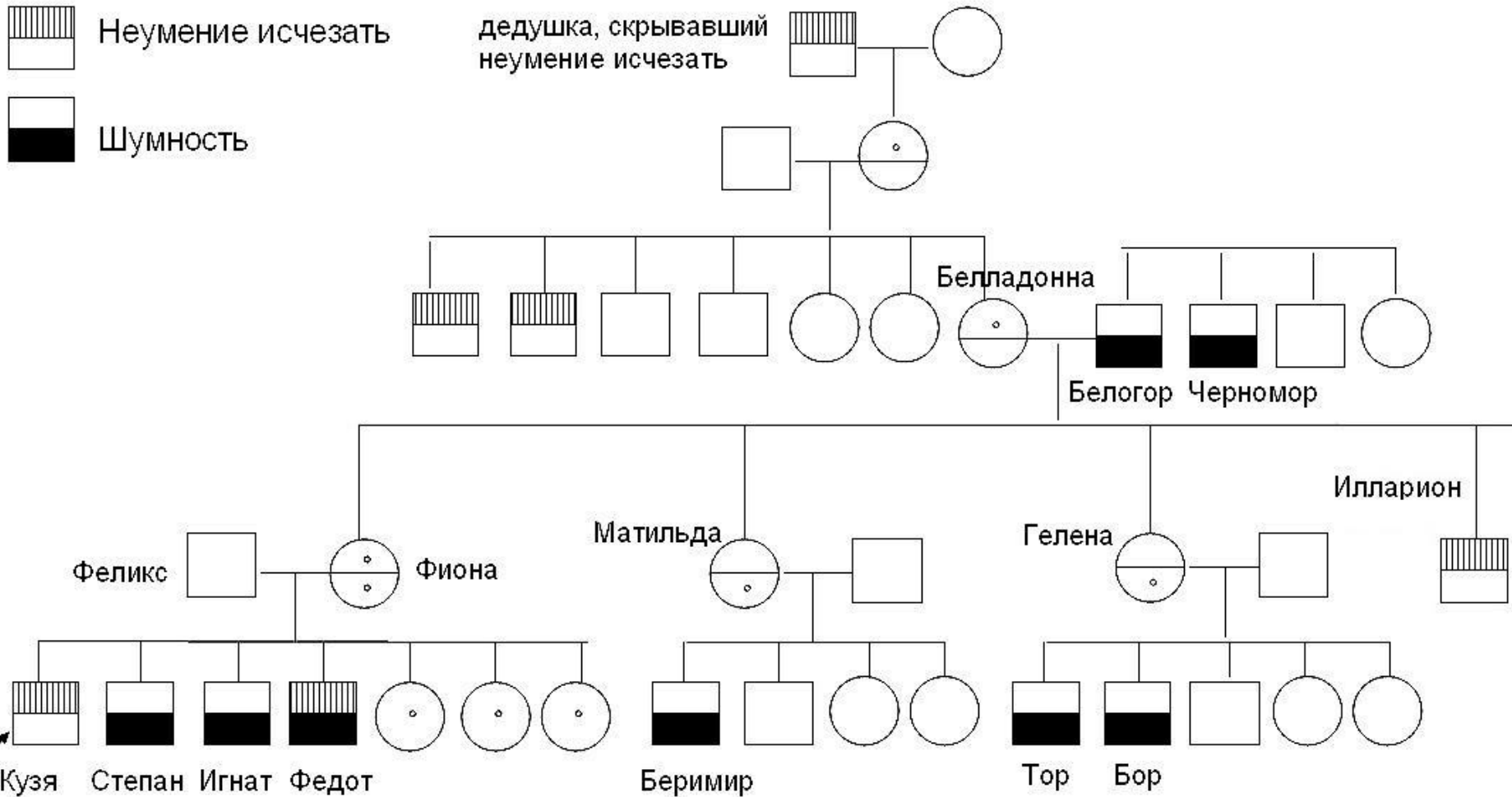
семена гладкие и усики; семена морщинистые без усиков;

3) Гены, определяющие гладкие семена и наличие усиков, являются доминантными, так как при 1-м скрещивании всё поколение растений было одинаковым и имело гладкие семена и усики. Гены, определяющие гладкие семена и наличие усиков (А, В), локализованы в одной хромосоме и наследуются сцеплено, так как при 2-м скрещивании произошло расщепление по двум парам признаков в соотношении 1:1



С помощью генеалогического метода изучали два, сцепленных с X-хромосомой генетических дефекта: дальтонизм и отсутствие фермента в эритроцитах.

Какие индивидуумы показывают, что произошел кроссинговер?



Может ли у Кузи родиться брат без единого недостатка?
 Если да – то с какой вероятностью, если нет – то почему?

А если скрещивание НЕ
анализирующее?

Высокое (А) растение с желтыми (В) семенами **Aa Bb**.

Результат **самоопыления**:

Высокие желтые 510

Высокие зеленые 240

Низкие желтые 240

Низкие зеленые 10

Определить расстояние между генами А и В

Ход решения

Родительское растение может быть **AB / ab** или **Ab / aB**.

Высокие желтые	510	A_ B_
Высокие зеленые	240	A_ bb
Низкие желтые	240	aa B_
Низкие зеленые	10	aa bb



Смотрим частоту этого класса –
больше или меньше 1/16

От карты – к расщеплению. 3 гена

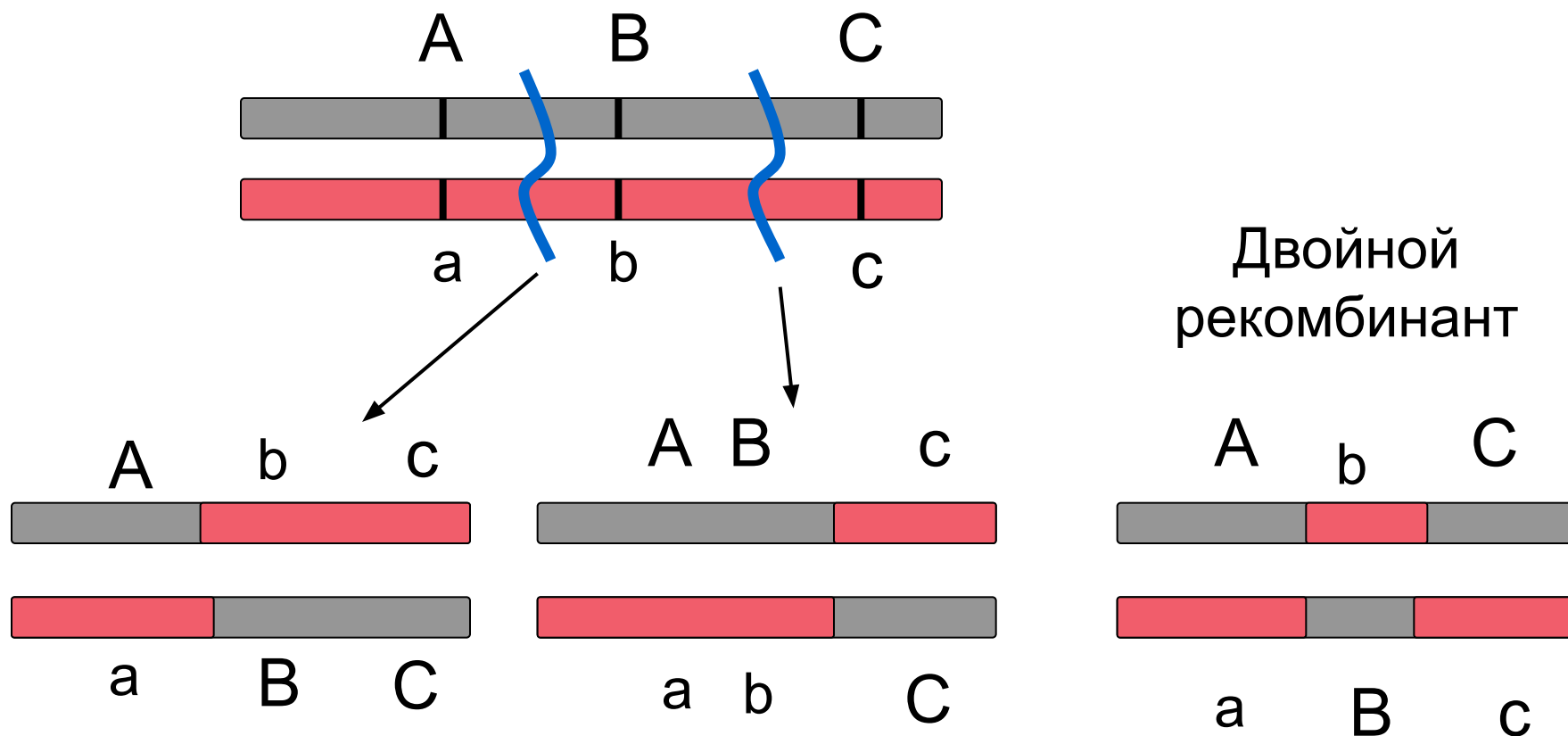
Расстояние между генами А и В
равно 20 сМ,

между генами В и С 30 сМ,

хромосомная интерференция
отсутствует,

Определите ожидаемую долю
двойных рекомбинантов

Расстояние между **ТРЕМЯ** генами удобнее всего изучать в анализирующем скрещивании **тригетерозиготы**



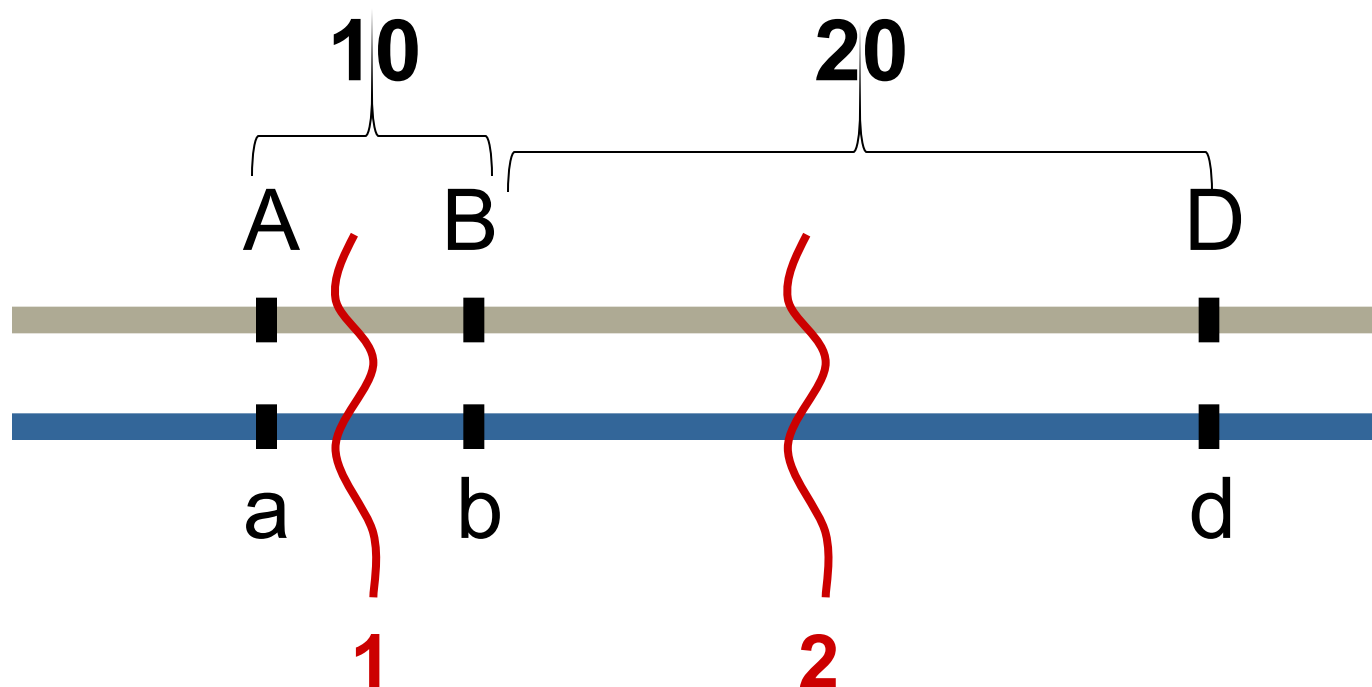
Решение задач с тремя генами

1.От карты

2.От расщепления

Алгоритм решения задач с 3 генами.

1. Дано: расстояния **на карте**
Найти: ожидаемое расщепление

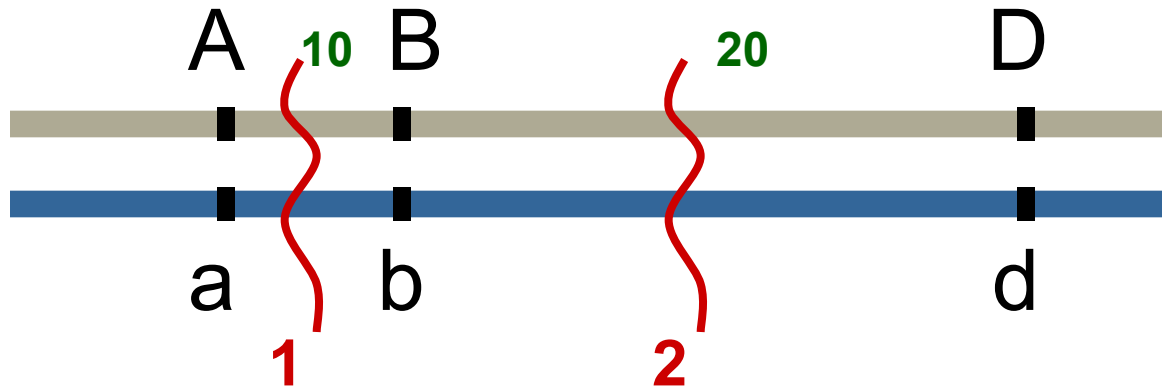


Надо определить ожидаемую в эксперименте частоту 8 классов

(в каждой группе – два реципрокных)

- 1) кроссинговер только на участке 1
- 2) кроссинговер только на участке 2
- 3) двойные кроссоверы
- 4) некрассоверы

Решение задач с 3 генами. От карты



1. Начнем с класса (3) двойных кроссоверов – обмен произошел на участках 1 и 2. Это произведение частот.

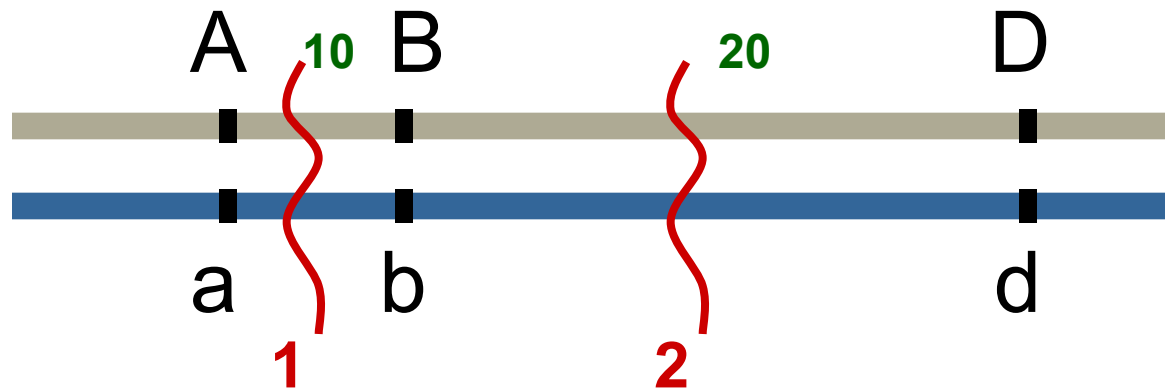
$$0.10 \times 0.20 = 0.02$$

Делим на 2 – это частота каждого из реципрокных классов

$$A b D - 0.01$$

$$a B d - 0.01$$

Решение задач с 3 генами. От карты



2. Частота кроссоверов между A и B (только **на участке 1**)
= расстояние на карте – частота двойных

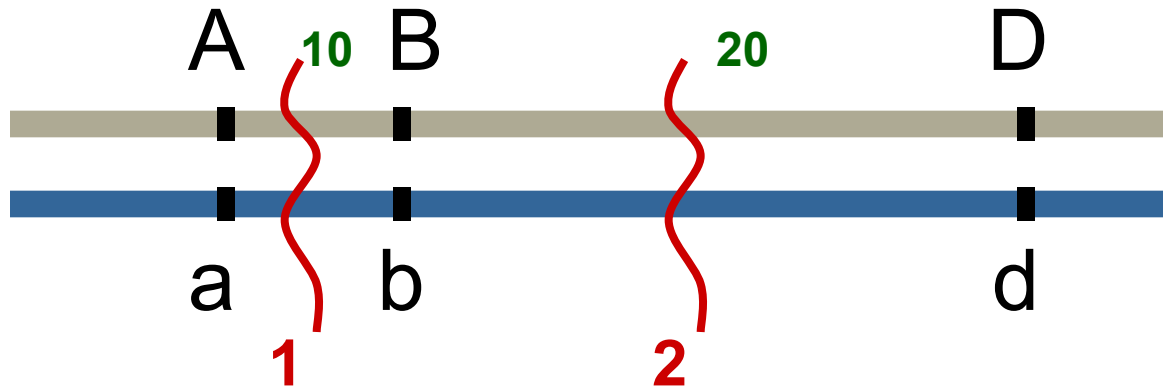
$$r(A - B) = 0.10 - 0.02 = 0.08$$

Опять делим эту частоту на два реципрокных класса

A b d – 0.04

a B D – 0.04

Решение задач с 3 генами. От карты



3. Аналогично для участка между генами B и D –
кроссинговер **только на участке 2**

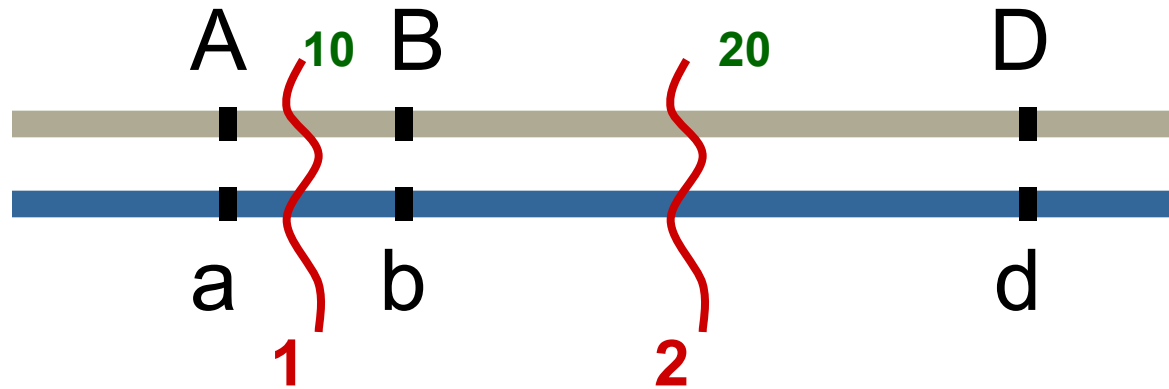
$$r(B - D) = 0.20 - 0.02 = 0.18$$

Частота реципрокных классов

A B d – 0.09

a b D – 0.09

Решение задач с 3 генами. От карты



4. Суммируем всех рекомбинантов

$$\text{Двойные} + A-B + B-D = 0.02 + 0.08 + 0.18 = 0.28$$

эта величина меньше суммы $AB+BD$ на частоту двойных (мы их дважды вычитали: при подсчете AB и BD)

5. Все, кто остались – **некроссоверы**.

Некроссоверы = 1 – всех кроссоверов

$$1 - 0.28 = 0.72$$

$$A B D - 0.36$$

Делим на два класса

$$a b d - 0.36$$

Решение задач с 3 генами. От карты

Если расстояние по карте

между генами **более 50 сМ**, то

при прогнозе реальной частоты
кроссоверов оно

принимается за 50

(максимально возможное в
эксперименте)

Решение задач
с тремя генами
в обратном направлении –
от расщепления

Решение задач с 3 генами. От расщепления

Дано:

Численность 8 классов в анализирующем скрещивании.

Порядок генов и **сочетание аллелей** в хромосомах гетерозиготы $Aa Bb Cc$ обычно **неизвестен** – его надо установить. Т.е., построить карту.

Решение задач с 3 генами. От расщепления

Из расщепления надо найти:

- Сцеплены ли гены
- Построить карту – их порядок и расстояния
- Расположение аллелей в хромосомах гетерозиготного родителя

Пример: задача 369 из Глазера

Проведите генетический анализ результатов двух анализирующих скрещиваний тригетерозигот Aa Bb Cc

Скрещивание 1	
A B C	126
A B c	10
A b C	64
A b c	62
a B C	68
a B c	70
a b C	14
a b c	133
	547

Скрещивание 2	
A B C	—
A B c	164
A b C	2
A b c	1
a B C	2
a B c	3
a b C	172
a b c	—
	344

Решение задач с 3 генами. От расщепления

Способ 1 (Глазер)

Три гена A B C

разбиваются на пары:

1) **A-B** 2) **B-C** 3) **A-C**

Считается частота кроссинговера между каждой парой **отдельно**, как если бы третьего гена не было

Задача 369 из Глазера

Расщепление A-B

Скрещивание 1	
A B C	126
A B c	10
A b C	64
A b c	62
a B C	68
a B c	70
a b C	14
a b c	133
	547

} **AB** $126 + 10 = 136$

} **Ab** $64 + 62 = 126$

} **aB** $68 + 70 = 138$

} **ab** $14 + 133 = 147$

Близко к 1:1:1:1 – т.е. A и B могут быть в разных хромосомах, либо на расстоянии более 50 морганид в одной

Задача 369 из Глазера

Расщепление В-С

Скрещивание 1	
A B C	126
A B c	10
A b C	64
A b c	62
a B C	68
a B c	70
a b C	14
a b c	133
547	

BC 126+68 = 194

Bc 10+70 = 80

bC 64+14 = 78

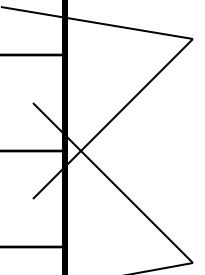
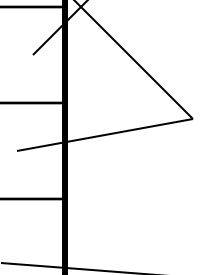
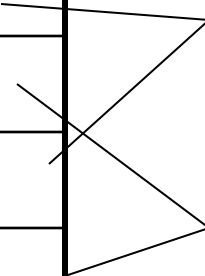
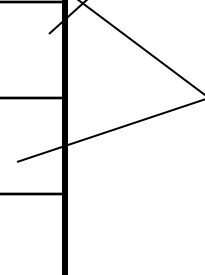
bc 62+133 = 195

Частота кроссинговера $(80+78) / 547 = 0.289$

Генотип гетерозиготы **BC / bc** (некроссоверные классы)

Задача 369 из Глазера

Расщепление А-С

Скрещивание 1			
A B C	126		AC $126+64 = 190$
A B c	10		
A b C	64		Ac $10+62 = 72$
A b c	62		
a B C	68		aC $68+14 = 82$
a B c	70		
a b C	14		ac $70+133 = 203$
a b c	133		
	547		

Частота кроссинговера $(72+82) / 547 = \mathbf{0.281}$

Генотип гетерозиготы **AC / ac** (некроссоверные классы)

Задача 369 из Глазера

Выводы из попарных расщеплений

В и С сцеплены. Частота
кроссинговера 0.289
Генотип гетерозиготы BC / bc

А и С сцеплены. Частота
кроссинговера 0.281
Генотип гетерозиготы AC / ac



А и В тоже сцеплены, расстояние между ними больше, а
значит С находится между А и В.

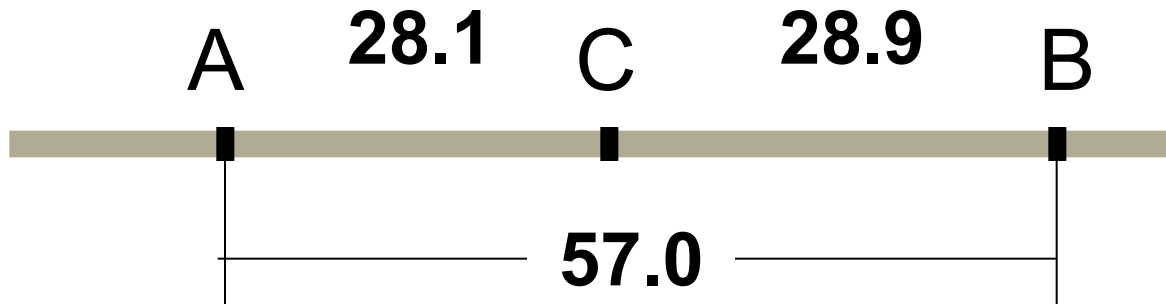
Генотип гетерозиготы ACB / acb

Частота кроссинговера А-В $(126+138) / 547 = 0.483$

Задача 369 из Глазера

Строим карту

Частоты кроссинговера представляем в процентах (сентиморганах)



Реальная частота кроссинговера между A и B (0.483) оказалась меньше расстояния на карте (0.57) за счет двойных кроссоверов AcB и aCb

Если бы мы их учитывали в самом начале, при расчете от расщепления, то их число надо было умножить на два (поскольку каждый двойной – это два кроссинговера на этом участке), тогда:

$$\text{Частота кроссинговера A-B } (126+138 + (10+14)\times 2) / 547 = 0.570$$

Задача 369 из Глазера

Коэффициент коинцидencji и интерференция (немного теории)

Известно, что реальная частота двойных кроссоверов меньше, чем теоретически ожидаемая. Это означает, что это НЕ независимые события – если на участке происходит кроссинговер, то он уменьшает вероятность кроссинговера в близлежащих участках.

Это явление названо **интерференция**.

Для определения ее величины применяют **коэффициент коинцидencji** («коэфф. совпадения»), **C**.

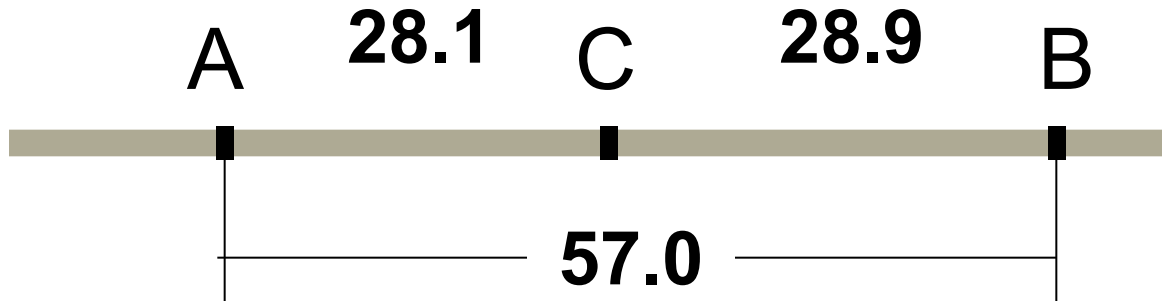
$$C = \frac{\text{реальное число двойных кроссоверов}}{\text{теоретически ожидаемое число двойных кроссоверов}}$$

Интерференция (**I**) определяется как **$I = 1 - C$**

Как правило, она положительна (это означает, что один кроссинговер **подавляет** соседние), но может быть и отрицательна

Задача 369 из Глазера

Считаем коэффициент коинциденции



$$C = \frac{\text{реальное число двойных кроссоверов}}{\text{теоретически ожидаемое число двойных кроссоверов}}$$

Теоретически ожидаемое (исходя из предположения, что кроссинговер на участках А-С и С-В – события независимые)

$$0.281 \times 0.289 = 0.0812$$

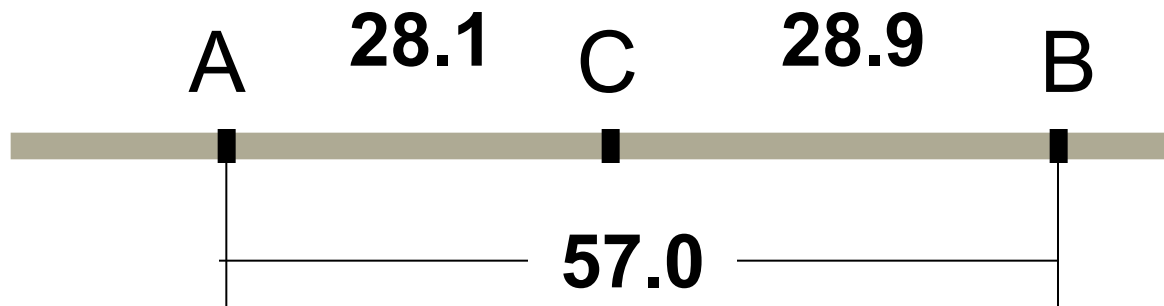
$$\text{Реальное } (10+14) / 547 = 0.044$$

$$C = 0.044 / 0.0812 = 0.54$$

Задача 369 из Глазера

Выводы по задаче (ответ)

- Гены А, С и В сцеплены. Карта участка:



- Генотип гетерозиготного родителя ACB / acb
- На участке имеется положительная интерференция. Коэффициент коинциденции равен 0.54

Другой путь решения задач
с тремя генами
(тоже идем от расщепления)

Решение задач с 3 генами. От расщепления

Способ 2

Сразу определяем **некросоверов** и **двойных**, исходя из численности классов.

Делаем выводы о сочетании аллелей у гетерозиготы и порядке генов на карте

Определяем расстояния между соседними генами (так же, как в способе 1)

Определяем теоретически ожидаемую частоту двойных и реальную.

Задача 369 из Глазера. Часть 2

Проведите генетический анализ результатов двух анализирующих скрещиваний тригетерозигот Aa Bb Cc

Скрещивание 2	
A B C	—
A B c	164
A b C	2
A b c	1
a B C	2
a B c	3
a b C	172
a b c	—
	344

Решим этим
способом **вторую**
часть задачи 369
из Глазера

Задача 369 из Глазера. Часть 2

Определяем самый малочисленный и самый многочисленный классы

Скрещивание 2	
A B C	—
A B c	164
A b C	2
A b c	1
a B C	2
a B c	3
a b C	172
a b c	—
	344

Максимальная численность



Некроссоверные

Наименьшая численность



Двойные

Задача 369 из Глазера. Часть 2

Определяем сочетание аллелей у родителя и порядок генов

Скрещивание 2	
A B C	—
A B c	164
A b C	2
A b c	1
a B C	2
a B c	3
a b C	172
a b c	—
	344

Некроссоверные **A B c** и **a b C**



Сочетание аллелей гетерозиготы
A B c / a b C

Двойные **A B C** и **a b c**



В двойных не изменилось сочетание аллелей A-B, но изменилось A-C и B-C



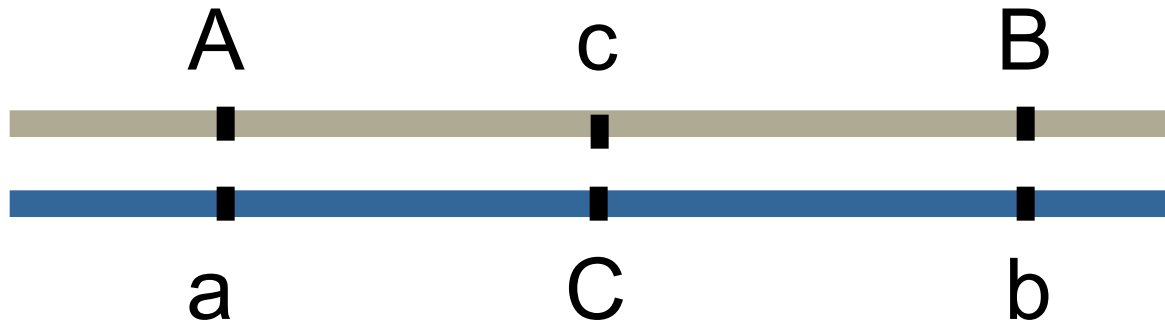
Ген C находится между A и B.

Порядок генов: **A C B**

Генотип родителя: **A c B / a C b**

Задача 369 из Глазера. Часть 2

Предварительная карта (без расстояний)



Это гетерозиготный родитель.

Осталось определить расстояния A-C и C-B

Задача 369 из Глазера. Часть 2

Определяем частоту кроссинговера А-С

В отличие от способа 1, мы уже сразу знаем, кто кроссоверы, а кто — нет.

Скрещивание 2	
A B C	—
A B c	164
A b C	2
A b c	1
a B C	2
a B c	3
a b C	172
a b c	—
	344

кросс. **AC** 2

кросс. **ac** 3

некросс. **Ac** 164+1 = **165**

некросс. **aC** 172+2 = **174**

$$r(A-C) = (2+3) / 344 = 0.015$$

Задача 369 из Глазера. Часть 2

Определяем частоту кроссинговера В-С

В отличие от способа 1, мы уже сразу знаем, кто кроссоверы, а кто — нет.

Скрещивание 2	
A B C	—
A B c	164
A b C	2
A b c	1
a B C	2
a B c	3
a b C	172
a b c	—
	344

кросс. **BC** 2

кросс. **bc** 1

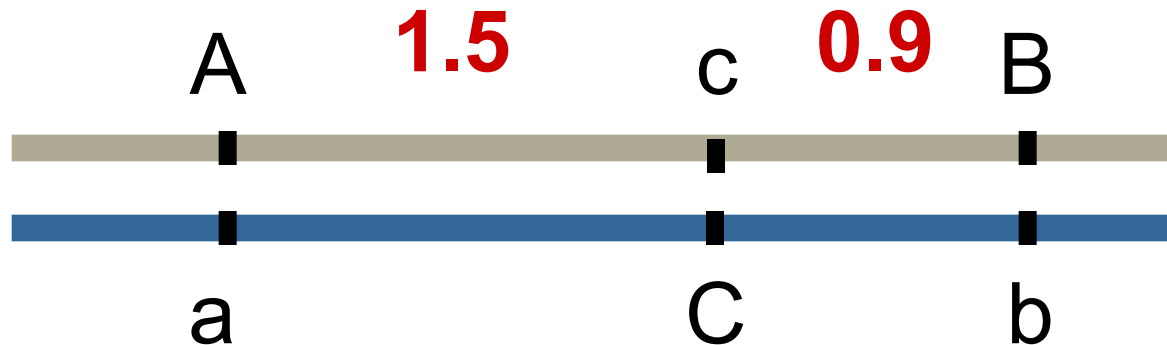
некросс. **Bc** 164+3 = **167**

некросс. **bC** 172+2 = **174**

$$r (B-C) = (2+1) / 344 = 0.009$$

Задача 369 из Глазера. Часть 2

Наносим найденные расстояния на карту



Ожидаемая частота двойных:

$0.015 \times 0.009 = 0.00014$ т.е., примерно 1 на 10 000.

При численности потомства, полученной в эксперименте (344), двойных ожидать не приходится. Их и не было. Поэтому делать какие-то выводы о наличии интерференции на основании этих данных нельзя. Для этого надо было бы получить несколько десятков тысяч потомков.

