

Мейоз -

вариант клеточного деления, в результате которого из одной **диплоидной** клетки получаются 4 **гаплоидные** клетки, т. е. в дочерних клетках число хромосом уменьшается вдвое. Это происходит потому, что **в мейозе происходит два деления.**

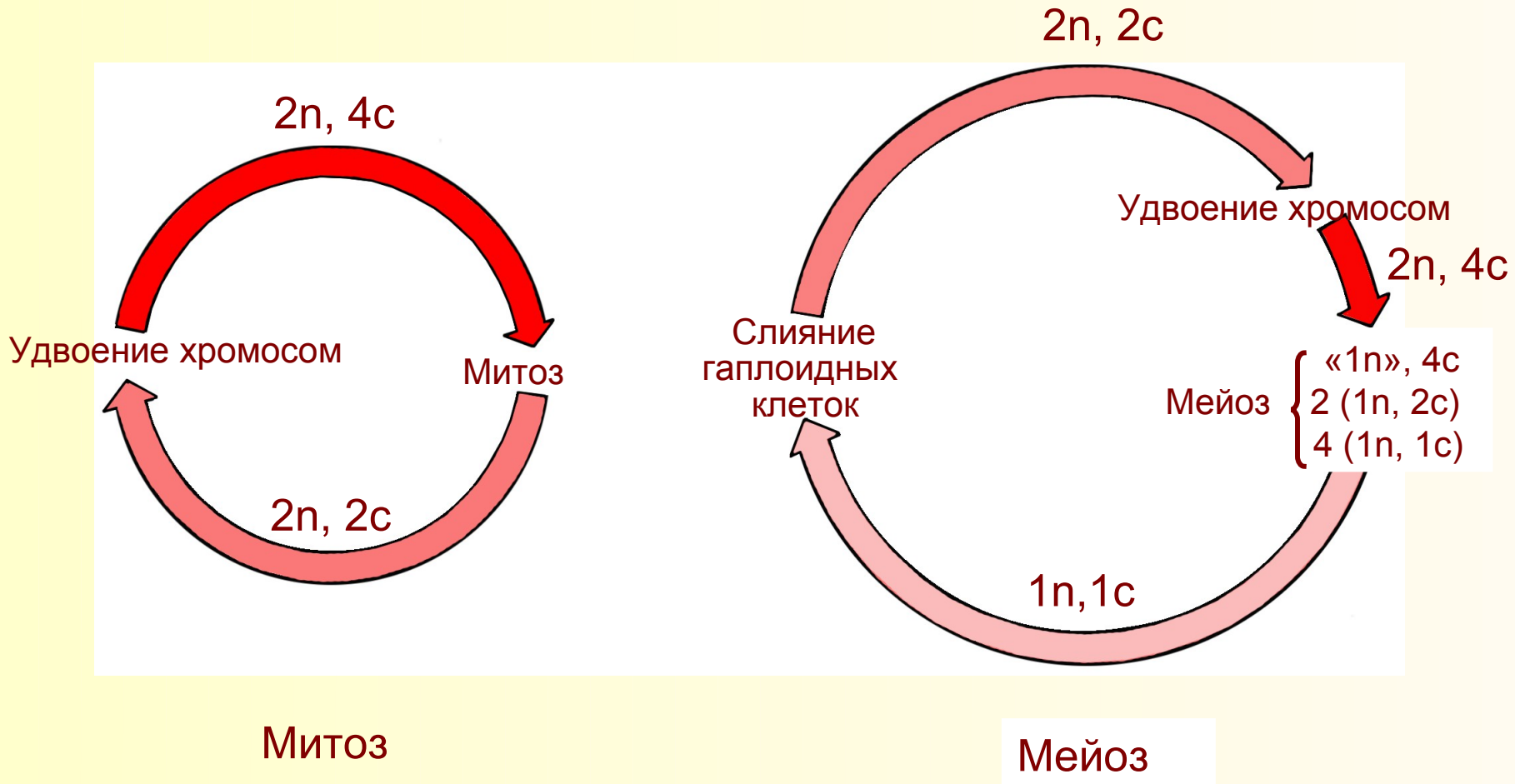
Перед мейозом, так же как перед митозом, хромосомы удваиваются.

Перед первым делением гомологичные хромосомы соединяются, и затем расходятся к полюсам – образуются две гаплоидные клетки, в которых каждая хромосома состоит из двух хроматид.

Во втором делении к полюсам отходят хромосомы, состоящие из одной хроматиды.

Таким образом, мейоз может происходить только в тех клетках, в которых гомологичные хромосомы имеют пару.

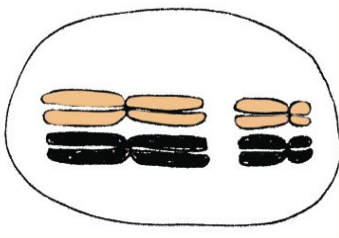
Мейоз происходит в тех клетках, в которых гомологичные хромосомы имеют пару.



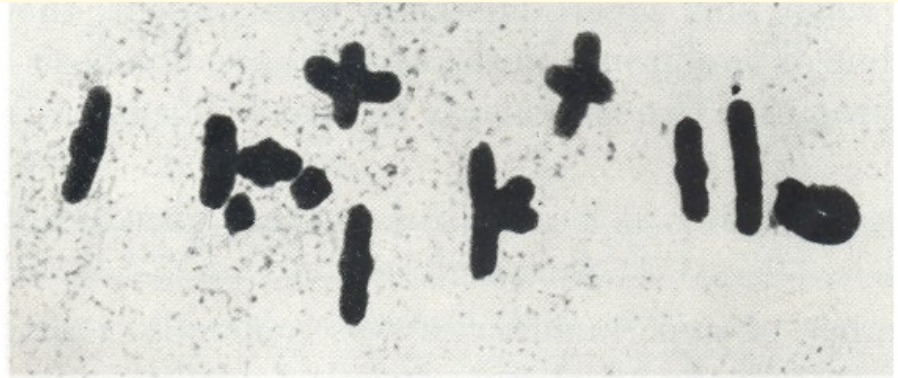
**По поведению хромосом в мейозе выделяют стадии:
профазу I, прометафазу I, метафазу I, анафазу I и
телофазу I, интеркинез, профазу II, прометафазу II,
метафазу II, анафазу II и телофазу II..**

Синапсис - объединение гомологичных хромосом в начале мейоза.

В результате синапсиса возникают **биваленты** - две гомологичные хромосомы, соединенные вместе.



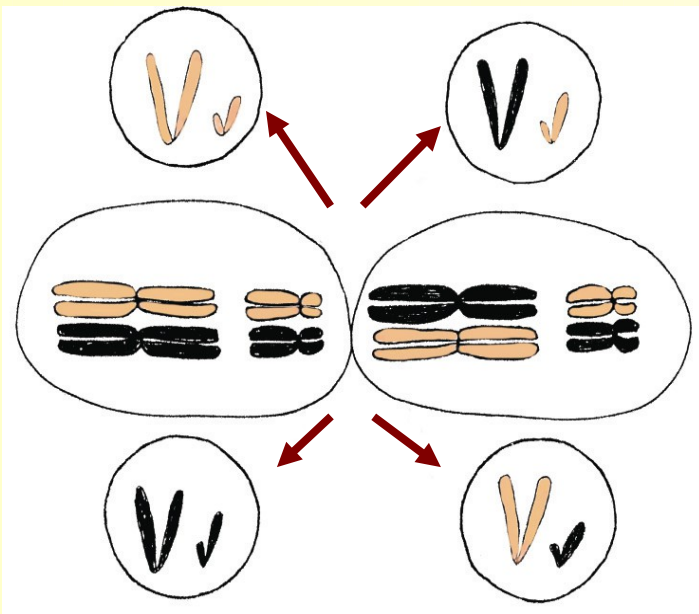
Схематичное
изображение
двух бивалентов



Так выглядят биваленты
в действительности

Значение мейоза:

- Синапсис (образование бивалентов) и последующее расхождение гомологичных хромосом ведут к **уменьшению числа хромосом вдвое**
- Независимое расхождение к полюсам негомологичных хромосом ведет к **перекомбинированию генетического материала**



Мейоз в жизненном цикле высших растений



Размножение
диплоидных клеток
(образование
многоклеточного
организма)

Слияние гаплоидных клеток

Размножение клеток
перед мейозом

$2n$

Мейоз

n

Размножение
гаплоидных клеток

Мейоз в жизненном цикле животных



Размножение
диплоидных клеток
(образование
многоклеточного
организма)

Слияние гаплоидных клеток

Размножение клеток
перед мейозом

$2n$

Мейоз

n

В первой профазе мейоза выделяют несколько стадий:

лептотену, зиготену, пахитену и диакинез

Поздняя пахитена

Диплотена-диакинез



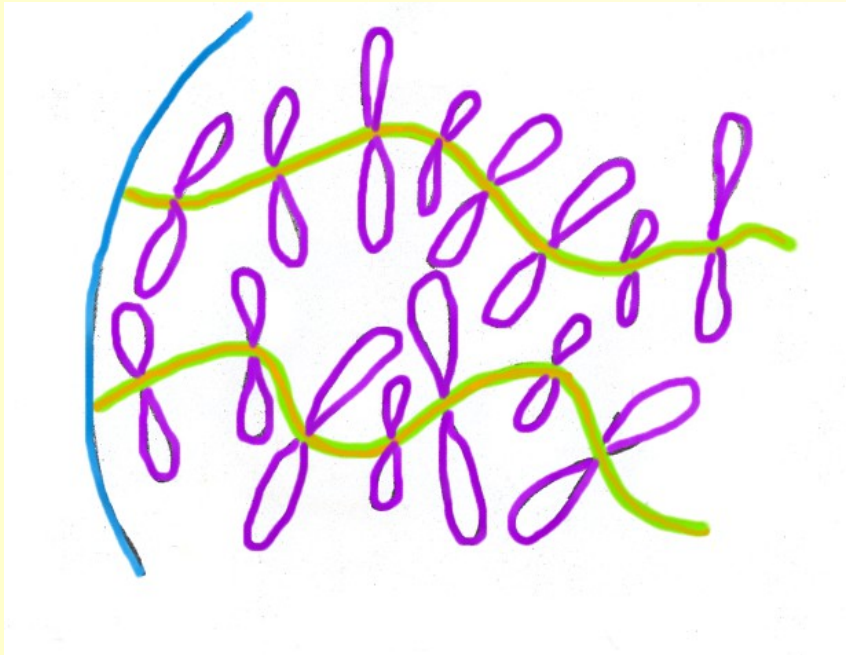
Лептотена

Образование белковой оси хромосомы,
или осевого элемента (ОС).

Выпрямление хромосом, изменение
связи хроматина с ядерным матриксом.

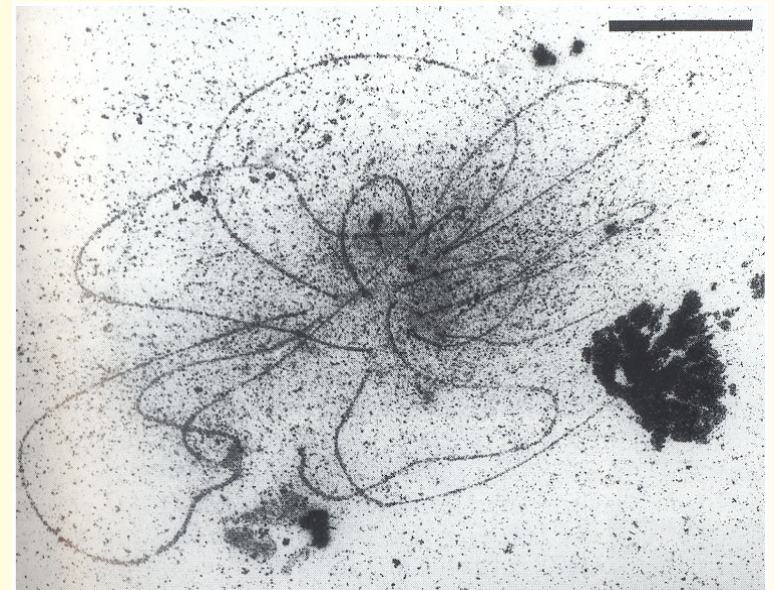
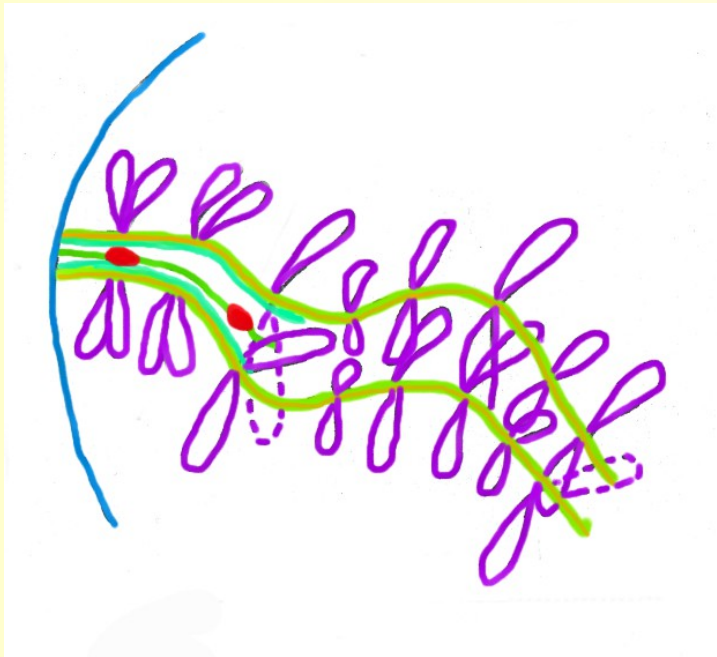
Образование хроматиновых петель

Движение теломерных районов
относительно ядерной оболочки
(Формирование структуры «букета»)



Зиготена

Образование бивалентов - синапсис гомологичных хромосом =
Образование синаптонемного комплекса
Появление ранних рекомбинационных узелков,



Стадия «букета» у клопа
Pyrhocoris apterus
(поздняя зиготена)

Пахитена

Существование бивалентов.

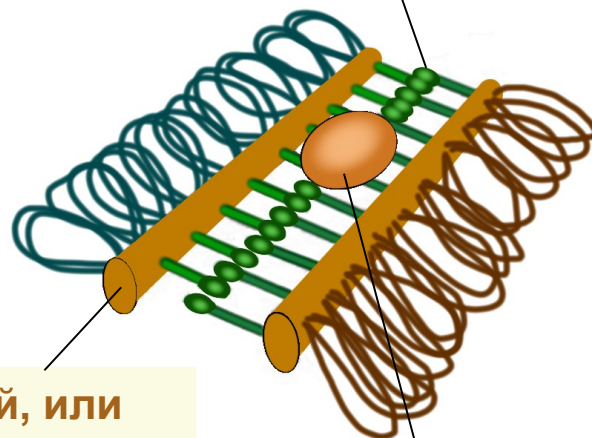
Гомологичные хромосомы соединены синаптонемным комплексом (СК).

Ранние рекомбинационные узелки превращаются в поздние.

Идет кроссинговер — внутри-хромосомная рекомбинация.

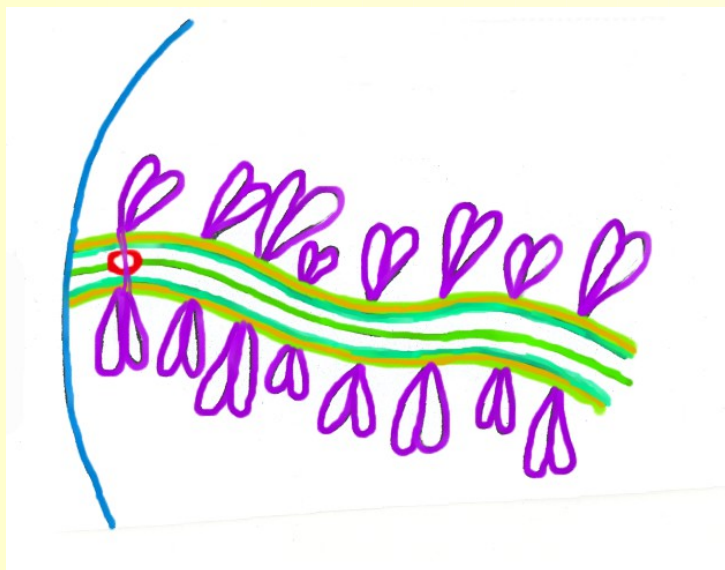
Осуществляется проверка полноты синапсиса и пахитенный арест.

Центральный элемент (ЦЭ), или центральное пространство (ЦП)



Боковой, или латеральный элемент (ЛЭ), бывший осевой элемент

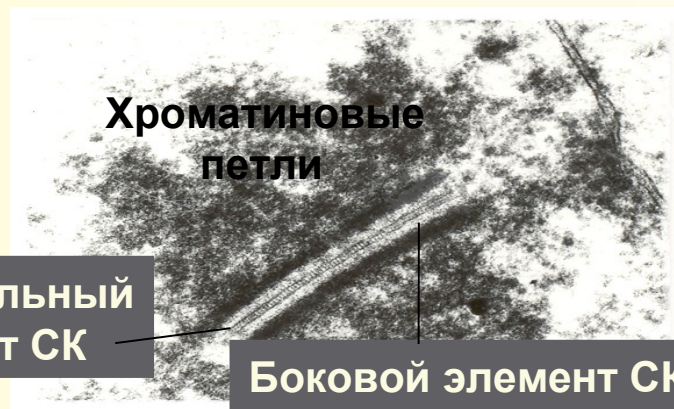
Рекомбинационный узелок



Хроматиновые петли

Центральный элемент СК

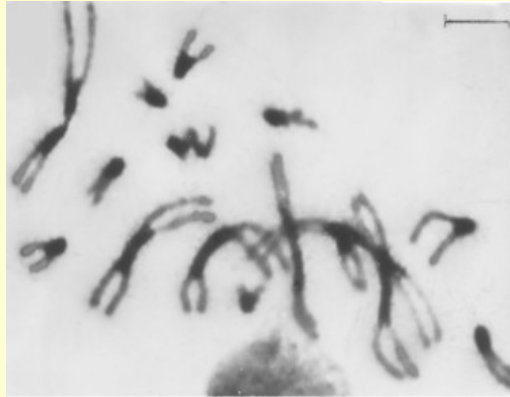
Боковой элемент СК



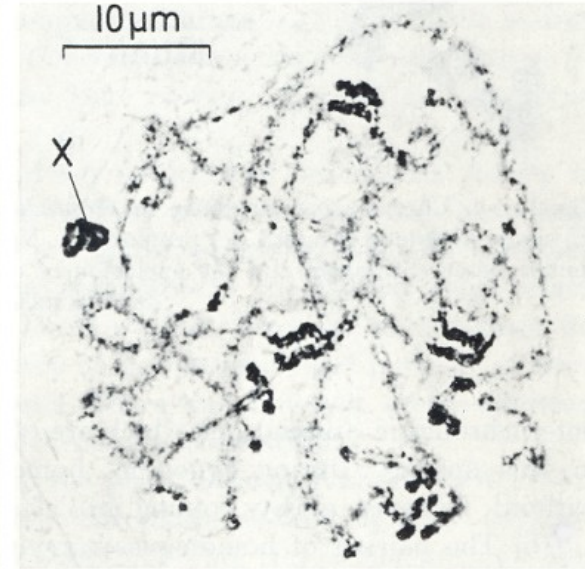
Ранняя профза I

Лептотена

Ранняя пахитена



Сперматогониальная
метафаза у
Stauroderus scalaris

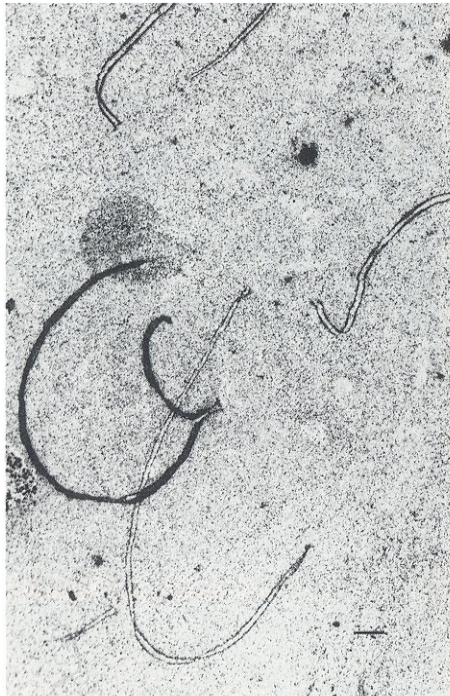
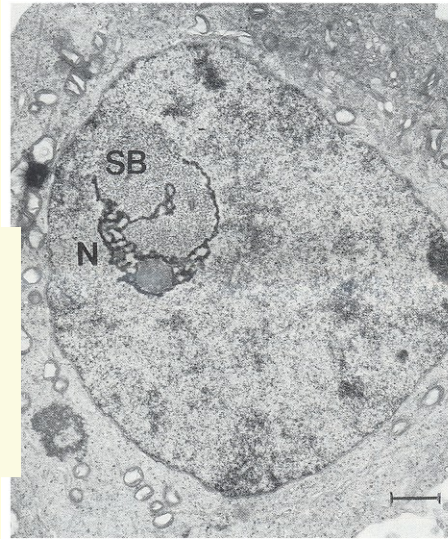


Зиготена



Поздняя пахитена

Половой пузырьк и
ядрышко в
сперматоците
млекопитающего



Оси половых
хромосом
утолщены
по сравнению
с осями аутосом.
Синаптонемный
комплекс
не образуется.

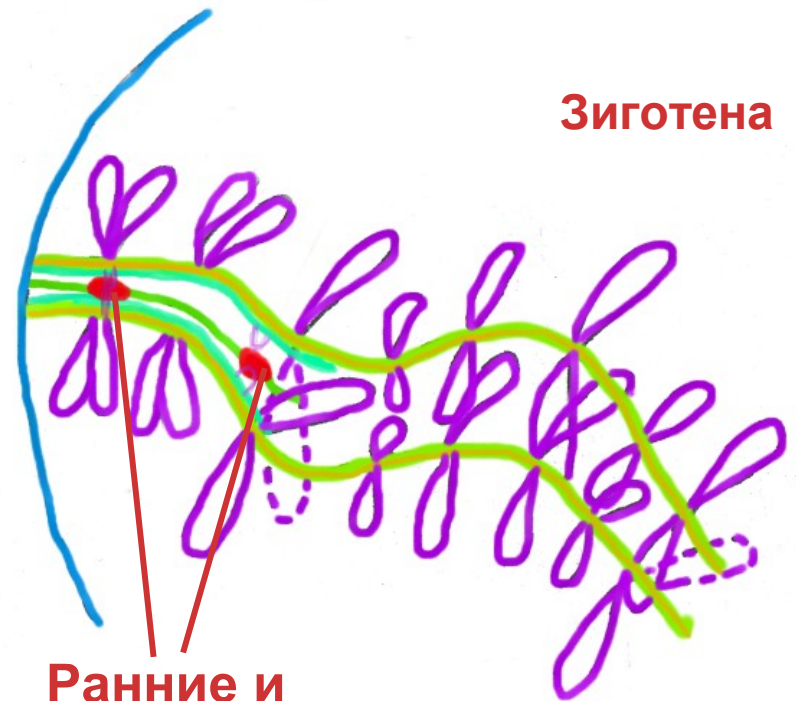
Рекомбинационные узелки (РУ) — это комплексы белков.

Они начинают формироваться при встрече гомологичных участков гомологичных хромосом в центральном пространстве синаптонемного комплекса.

Постепенно одни белки РУ заменяются другими. Количество РУ уменьшается. В пахитене в РУ находятся белки, которые осуществляют Кроссинговер - **внутрихромосомную рекомбинацию**



Пахитена



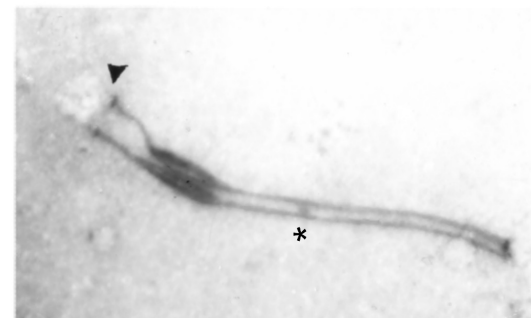
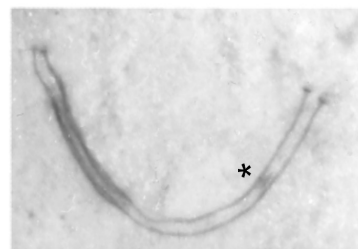
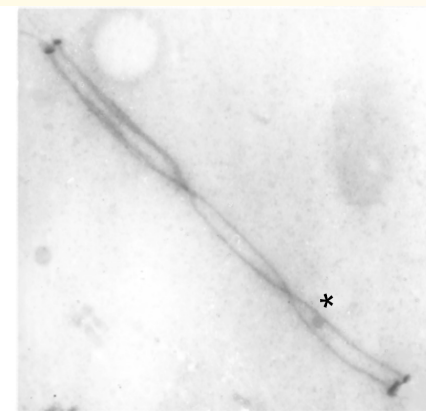
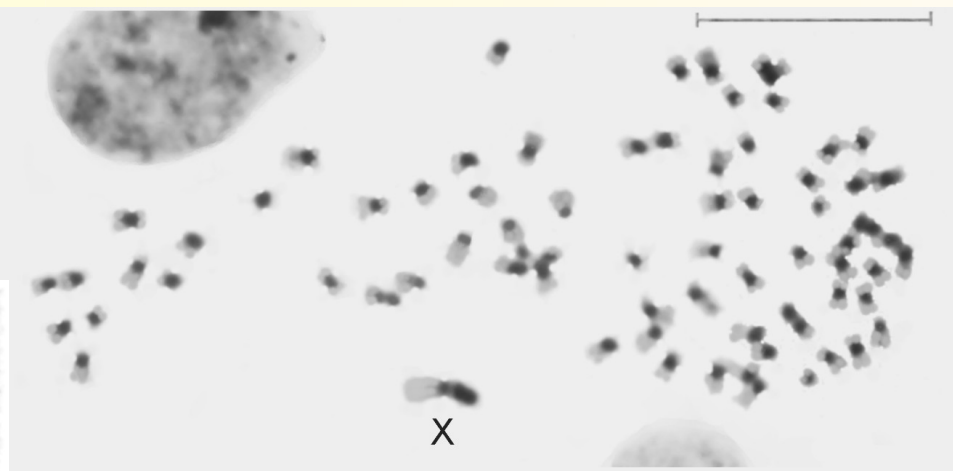
Зиготена

Ранние и

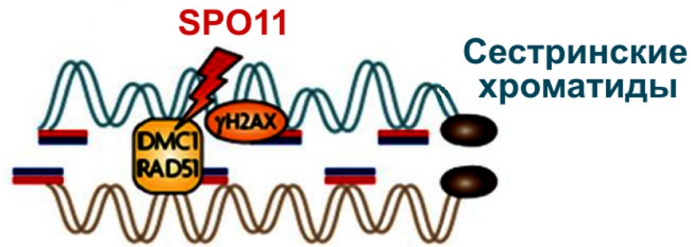
Поздние рекомбинационные узелки

Хромосомы и СК
Blaberus sp.

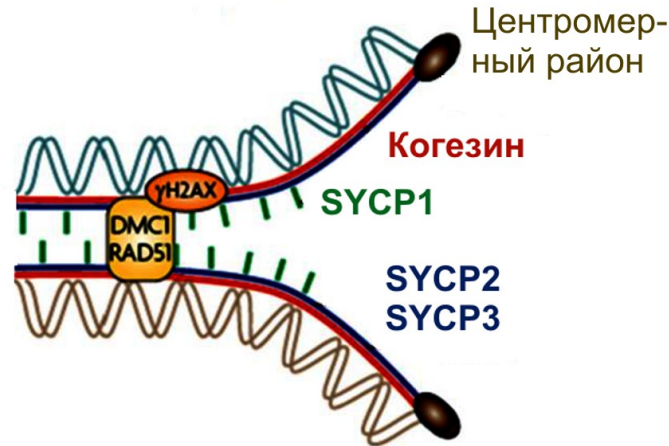
Рекомбинационные узелки
отмечены звездочками



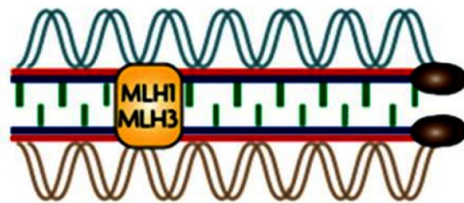
Лептотена



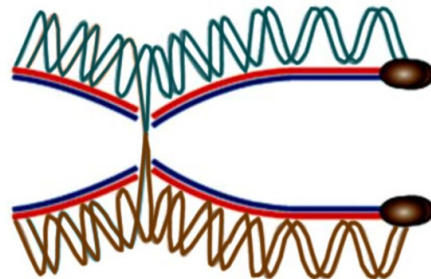
Зиготена



Пахитена



Диплотена



Белки, работающие в составе рекомбинационных узелков, в ходе профазы постоянно меняются:

SPO11 создает двунитевые разрывы в ДНК

DMC1 направляет 3'-концы к хроматиде другого гомолога

RAD51 взаимодействует с белками, которые вызывают деградацию 5'-концов

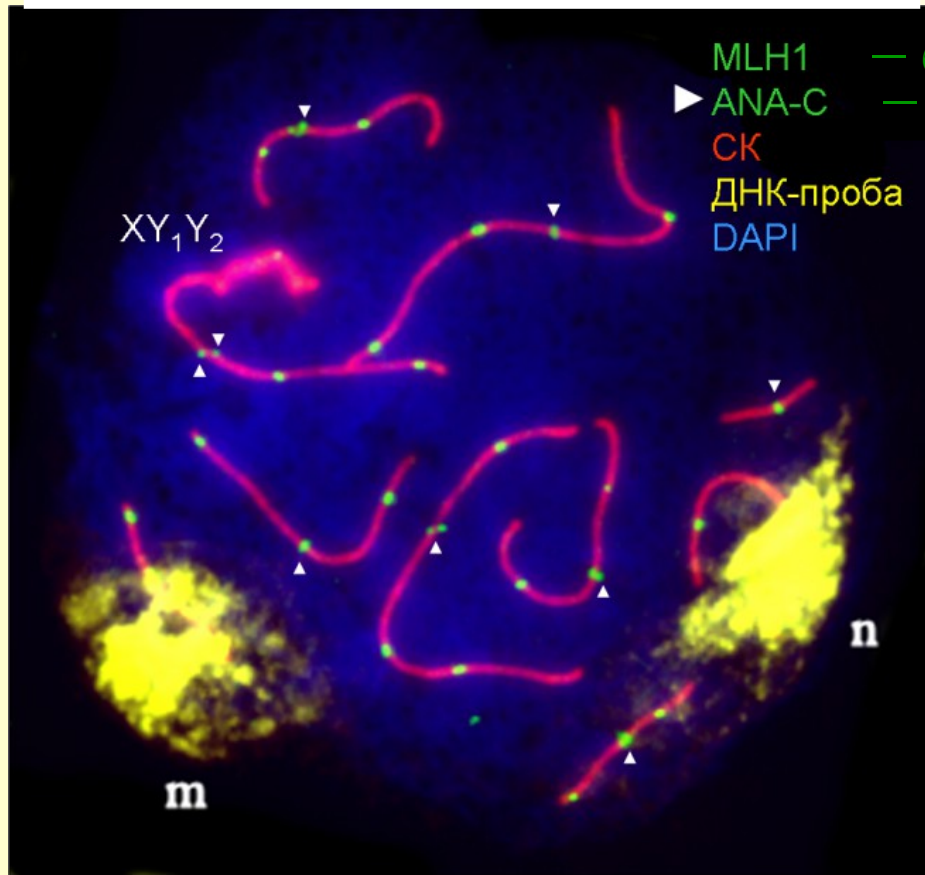
Когезин – комплекс белков (мейотический вариант)

SYCP1 соединяет латеральные элементы

SYCP2, SYCP3 входят в состав латерального элемента

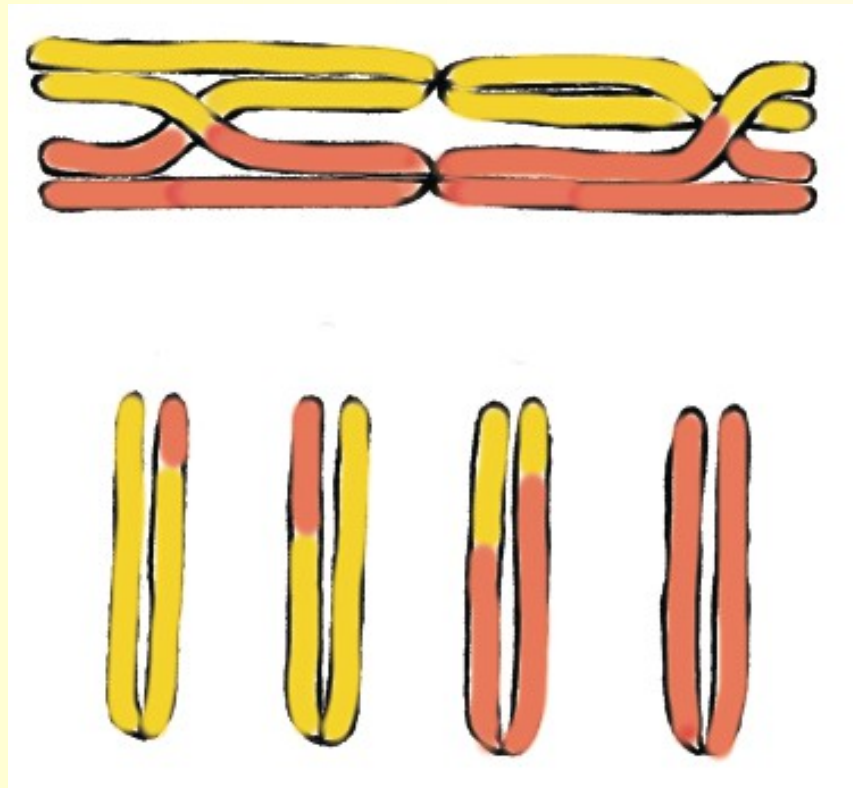
MLH1 – белок репарации ДНК

**Иммунофлуоресцентное выявление белков в
Пахитене у бурозубки** (Белоногова Н.М., 2006)



MLH1 — белок репарации ДНК
▶ ANA-C — белок кинетохора
СК
ДНК-проба
DAPI

*В результате каждого акта кроссинговера **две хроматиды** разных гомологов обмениваются участками*



Процессы первой профазы мейоза

Репликация + синтез гистонов в интерфазе



Первичная конденсация



Лептотенная реорганизация

упаковки хроматина



Синапсис гомологов

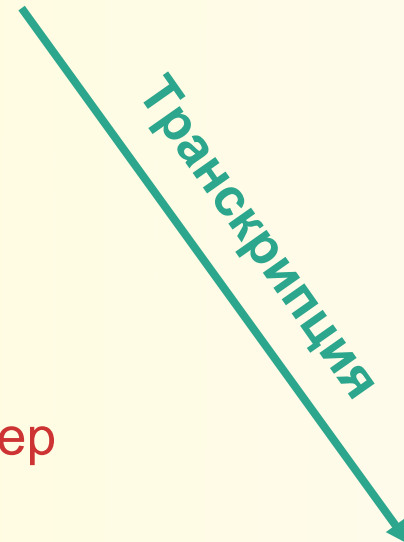
(образование СК)



Репарация, кроссинговер



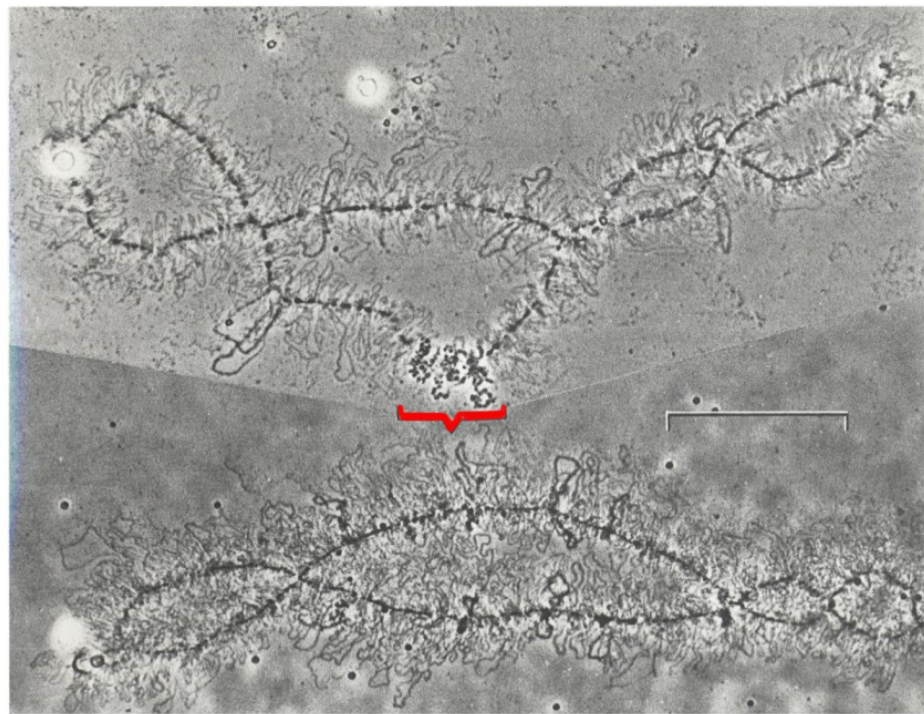
Разрушение СК



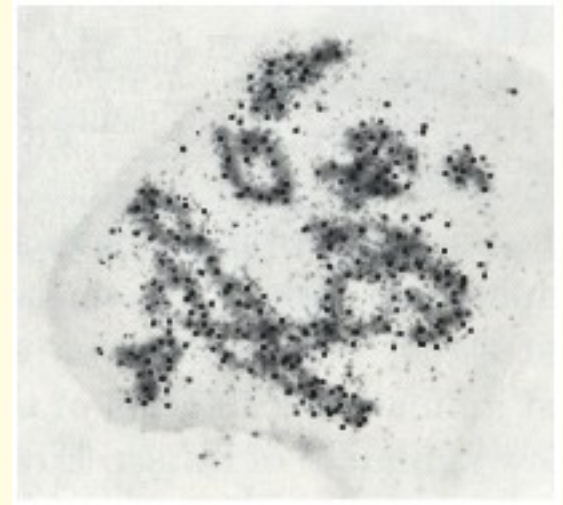
Транскрипция

Конденсация хроматина

Как только в лептотене образовались петли хромосом, на них начинается транскрипция, которая продолжается до конца профазы I



«Ламповые щетки» в ооцитах амфибии.
Биваленты на стадии диплотены



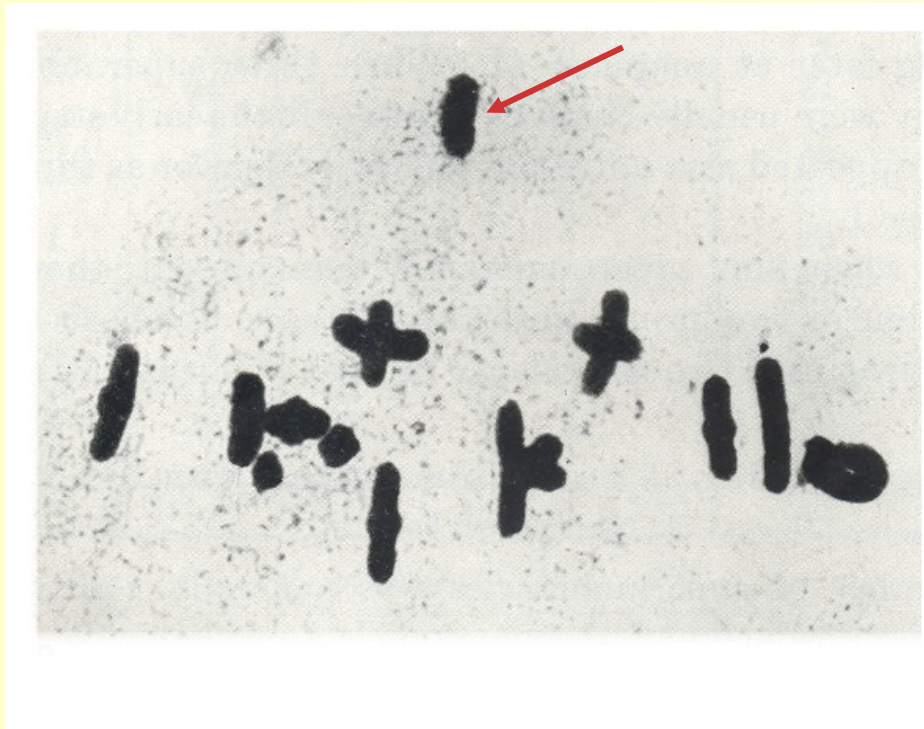
Включение меченого уридина в клетки на стадии диплотены (сперматогенез)

Усиление транскрипции происходит в конце пахитены или в диплотене

*Центромерный район
хромосомы, состоящей
из двух хроматид,
действует как единый
И связывается с
микротрубочками
только одного полюса
(за это отвечают
специальные белки -
монополины).*



*Униваленты в первой
метафазе
прикрепляются только к
одному полюсу*

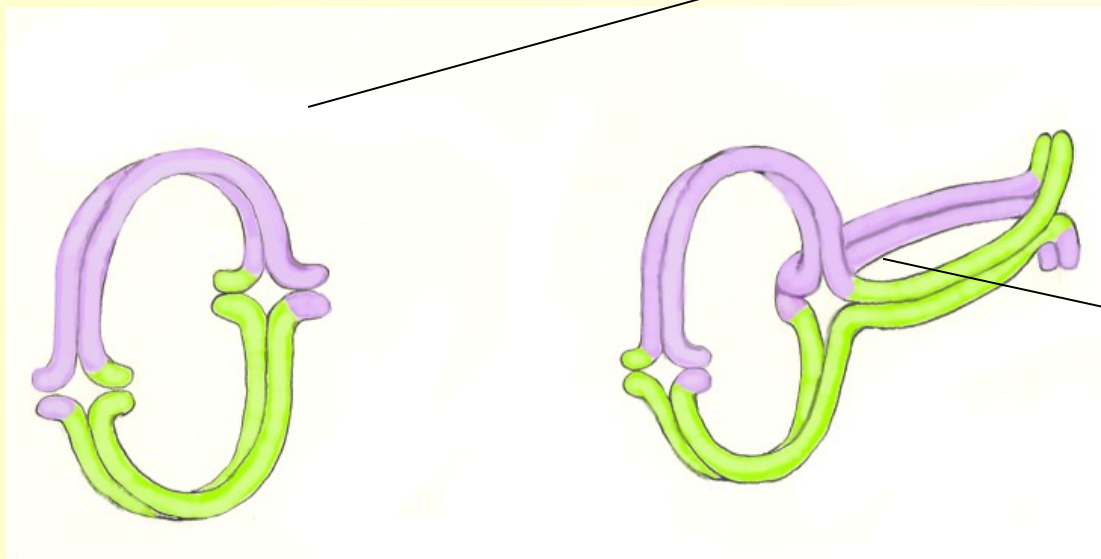


Расхождение гомологичных хромосом к полюсам происходит только после диссоциации когезинов, расположенных в плечах хромосом, в результате их фосфорилирования.

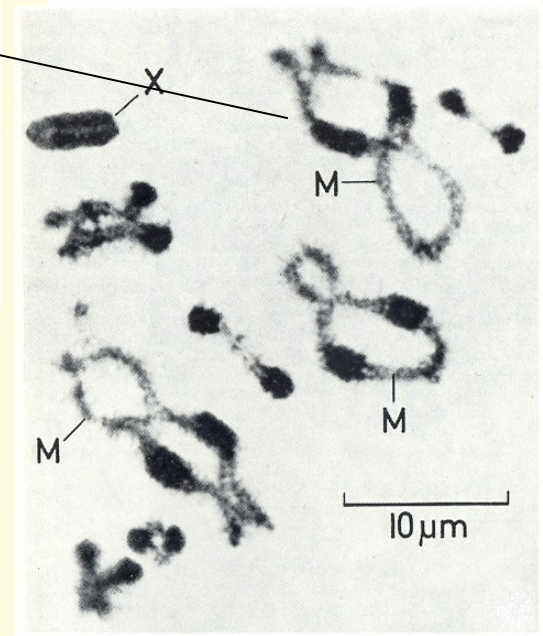
В центромерных районах хромосом когезины сохраняются до начала анафазы II.



Схематичное изображение бивалентов, с двумя или тремя кроссоверными обмeнами



Морфология бивалентов с двумя и тремя хиазмами



Срединное
положение
хиазмы



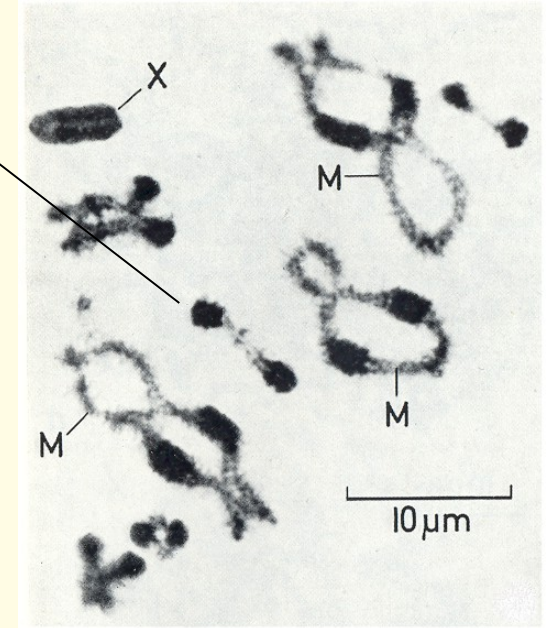
Дистальное
положение
хиазмы

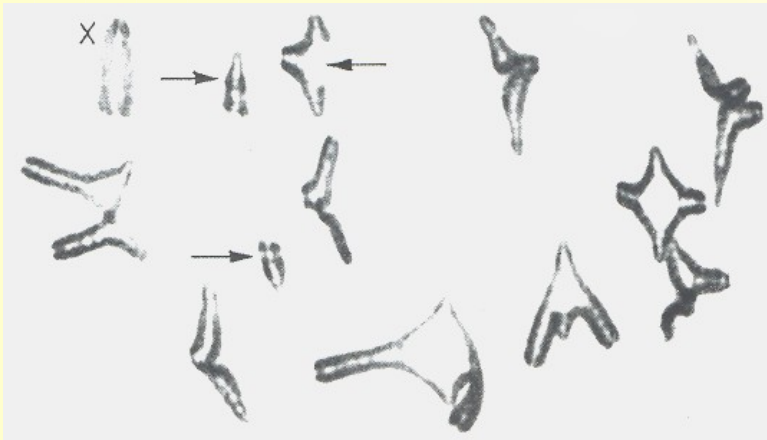
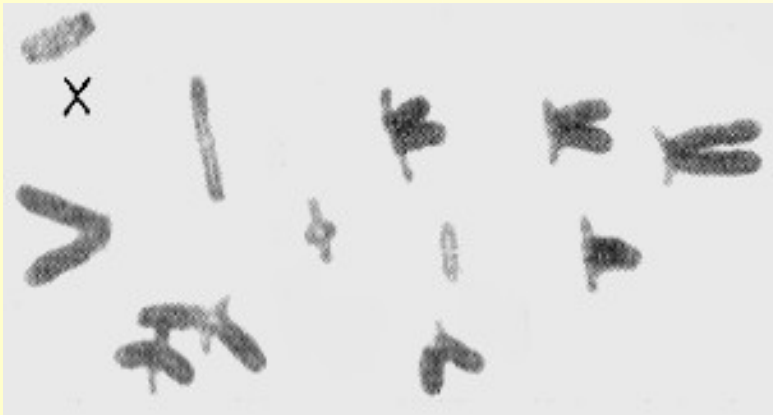


Проксимальное
положение
хиазмы



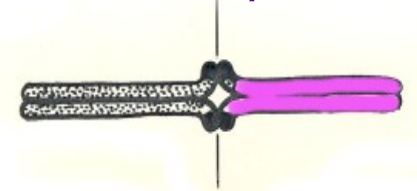
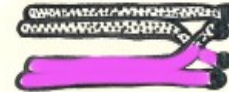
Морфология
бивалентов
с одной
хиазмой в
диаканезе-
метафазе I
зависит
от ее
локализации





Метафаза I и анафаза I у *Stethophyma*

Биваленты
в пахитене в метафазе I



Для того, чтобы гомологи
разделились, необходимо
убрать когезины в плечах
хромосом

В интеркинезе
не происходит
репликации
ДНК.

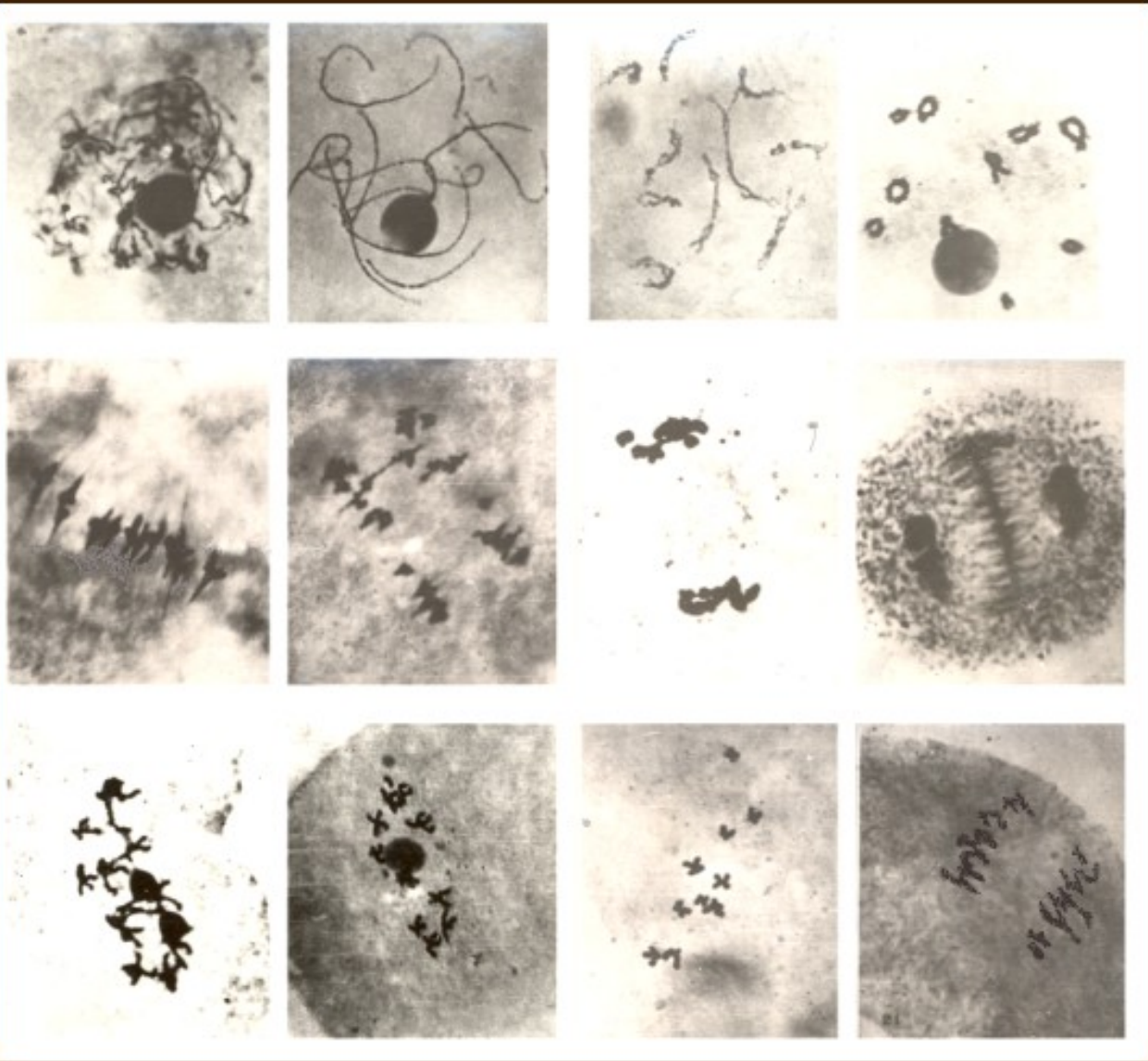
Второе деление
мейоза
напоминает
митоз. Так же к
полюсам уходят
хроматиды.
Только в клетках
уже гаплоидный
набор
хромосом.



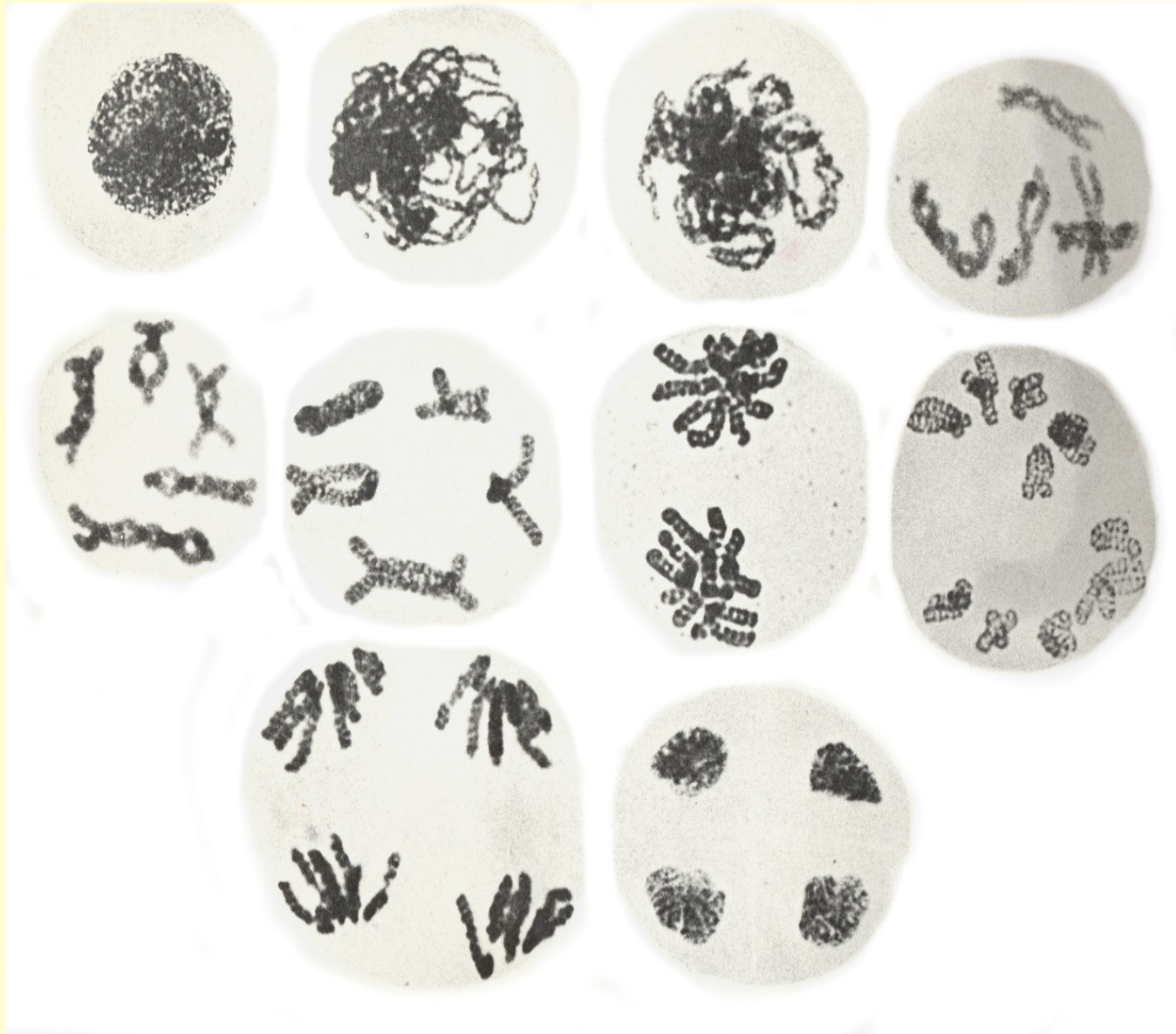
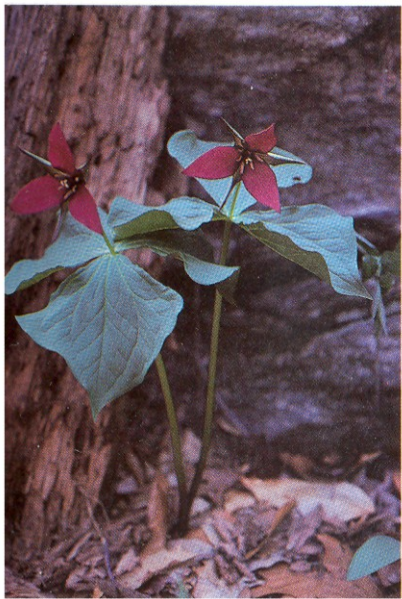
Ход мейоза у кукурузы

Хорошо видно ядрышко.

В первой профазе в ядрышке идет синтез рРНК и сборка субъединиц рибосом. В телофазе I и II и в профазе I в ядрах ядрышко существует как структура, но в нем не идут транскрипция и сборка рибосомных субъединиц.

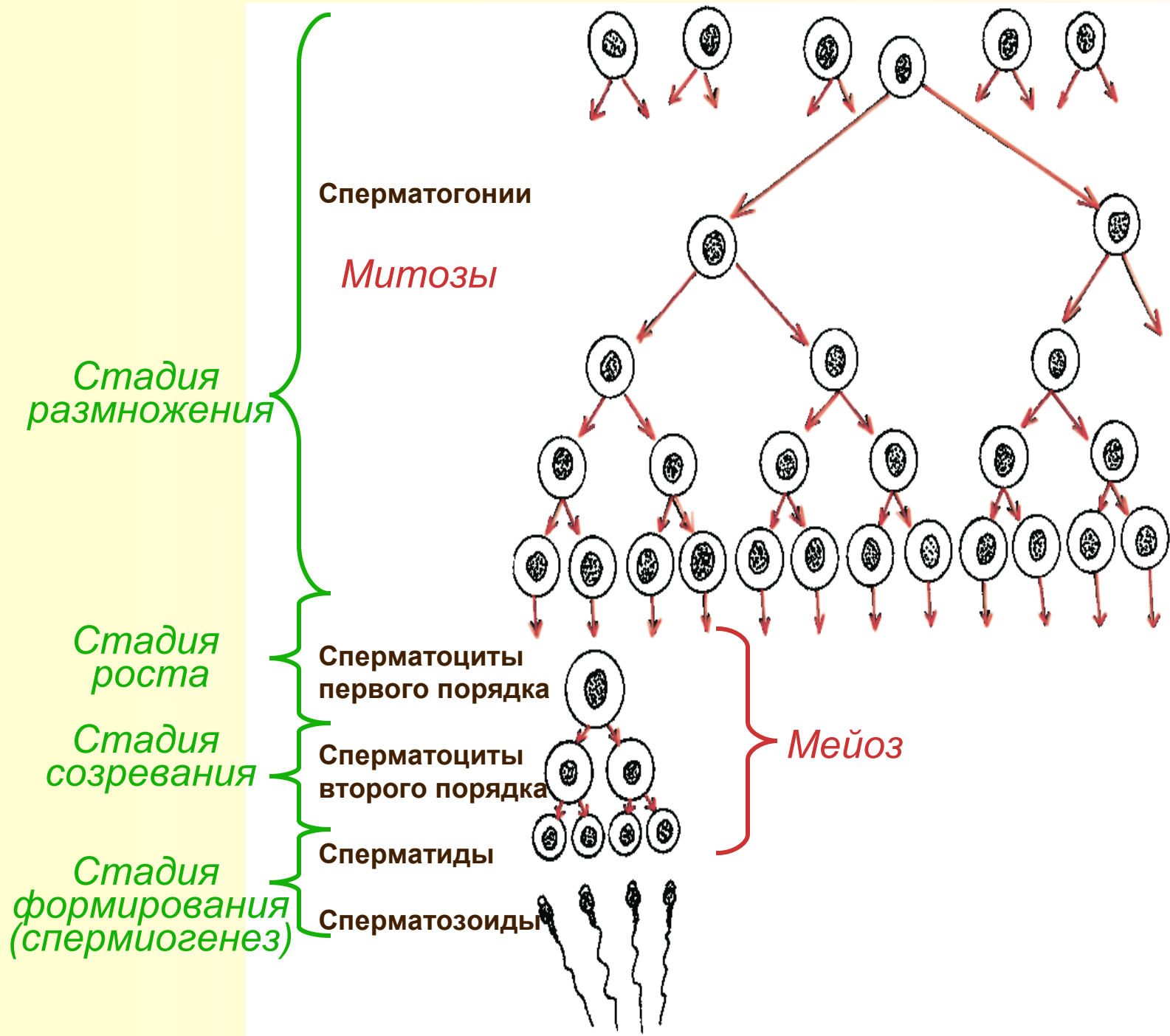


Ход мейоза у
трилистника
Trillium erectum



Длительность мейоза (в сутках)

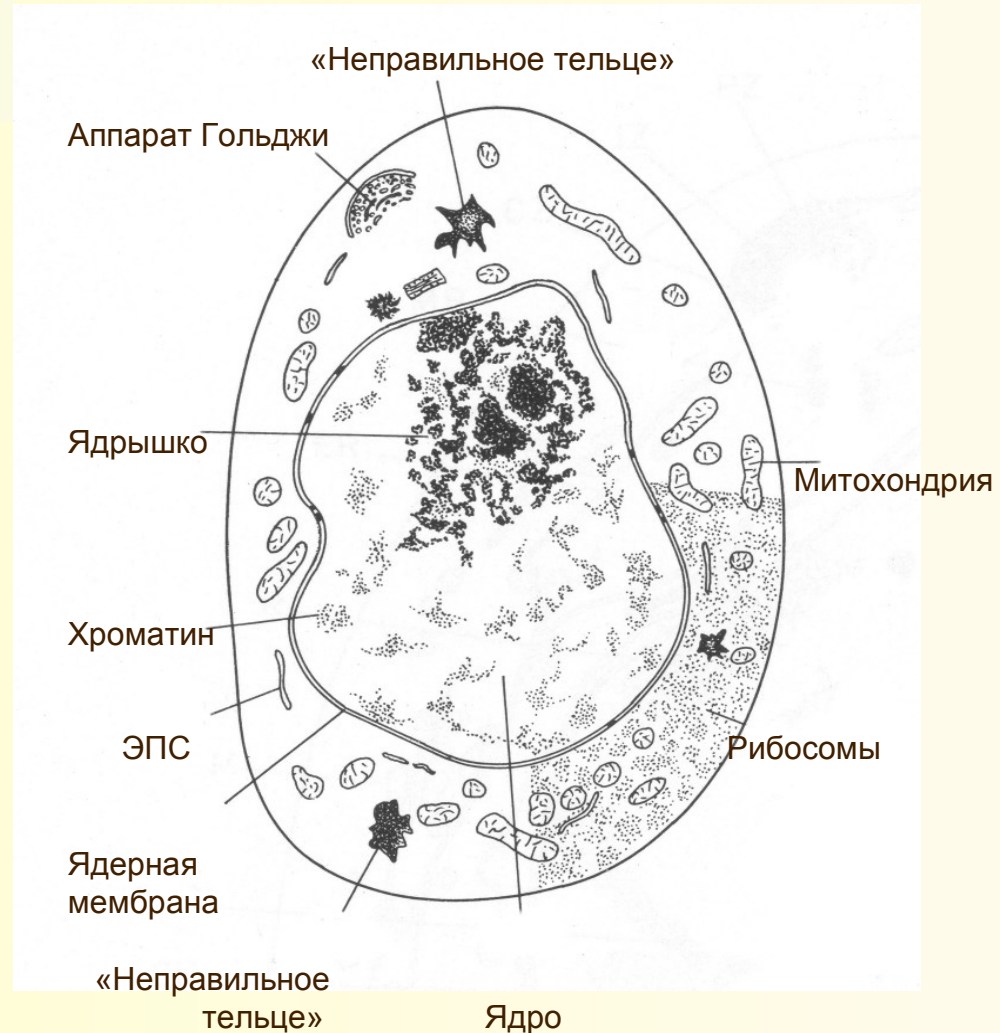




Преобразование клеток в ходе сперматогенеза у *D.melanogaster*

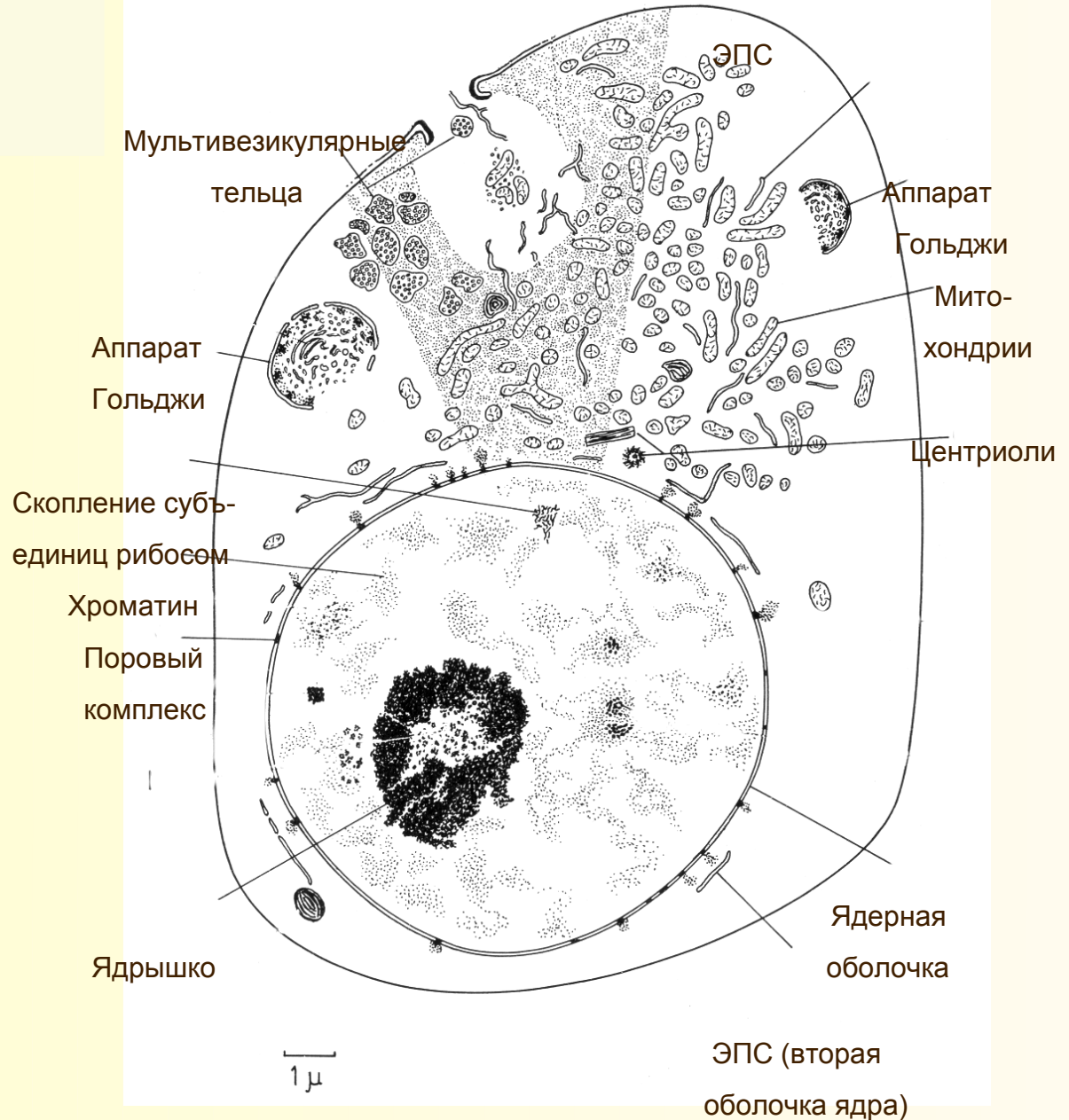
Вторичный
сперматогоний.
Такая клетка
вступает в
интерфазу
перед
мейозом.

$2n, 2c.$



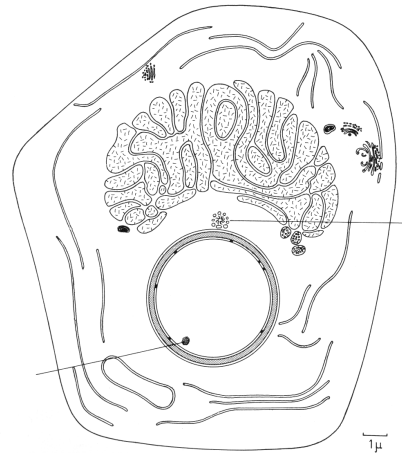
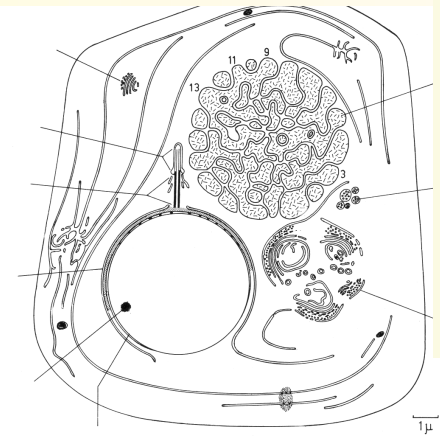
Преобразование клеток в ходе сперматогенеза

Сперматоцит
1-го порядка.
Такая клетка
вступает
в мейоз.
 $2n, 4c$



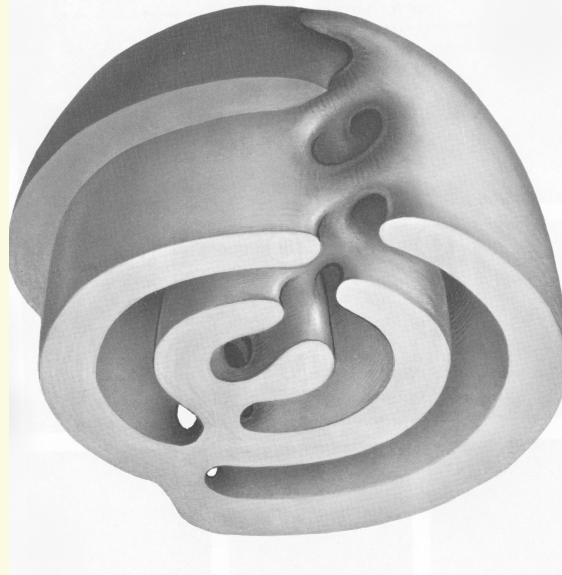
Преобразование клеток в ходе сперматогенеза

Ранняя
сперматида.
4 такие клетки
выходят из
мейоза,
4 n,c

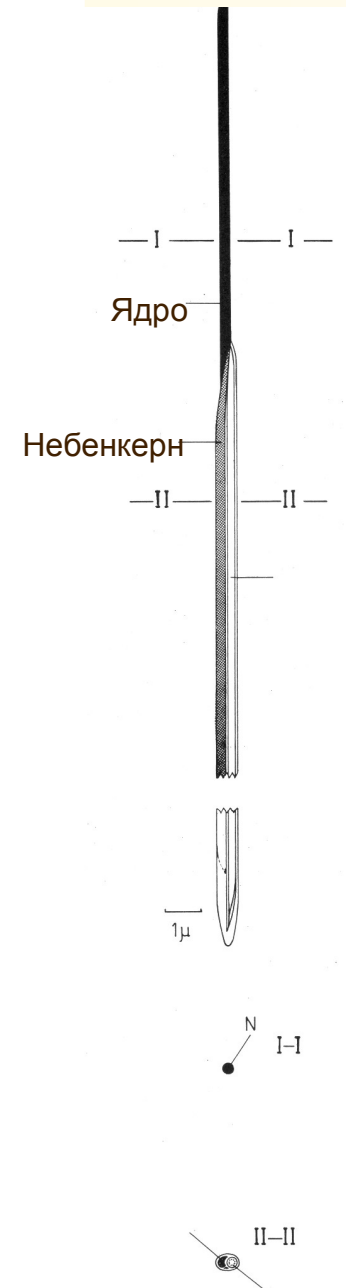


*Преобразование
клеток в ходе
сперматогенеза -
спермиогенеза*

Структура
небенкерна



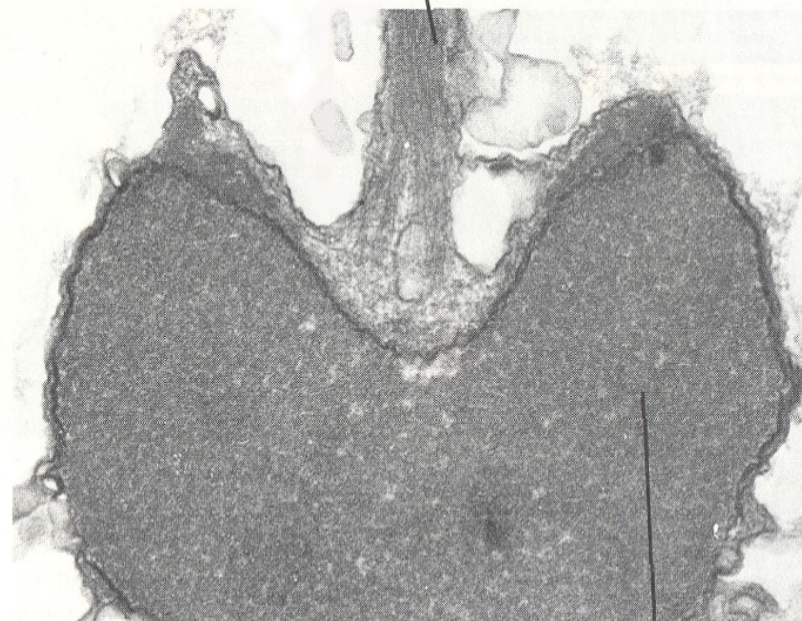
*Преобразование
клеток в ходе
сперматогенеза -
спермиогенеза*



Акросома

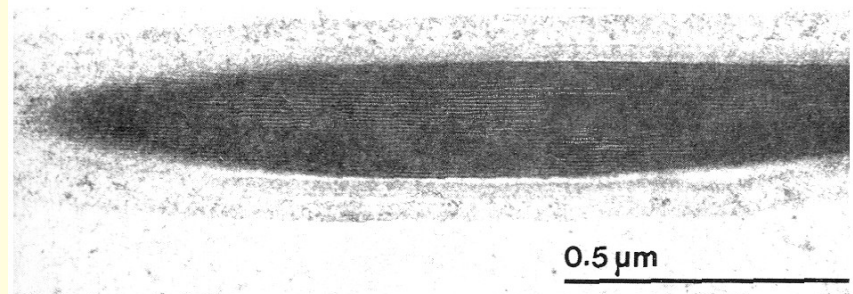
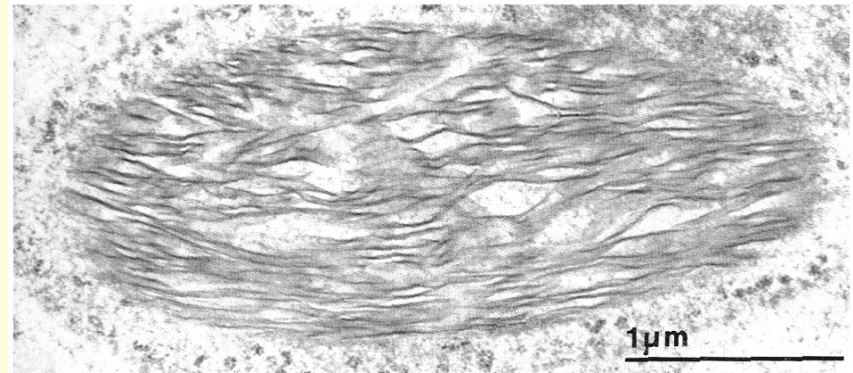
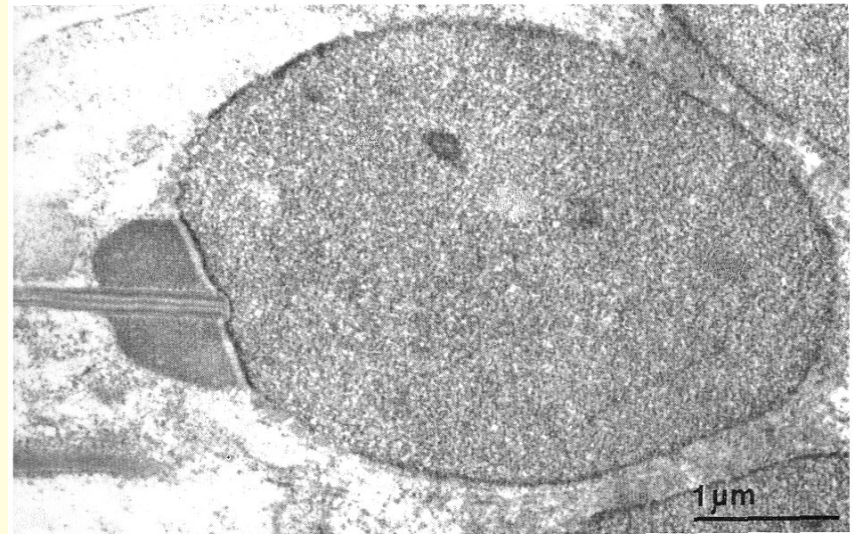


Акросомальная нить



Ядро сперматозоида

*Преобразование
ядерного
хроматина в ходе
спермиогенеза*





Превителлогенез
Вителлогенез

Стадия размножения

Стадия роста

Стадия созревания

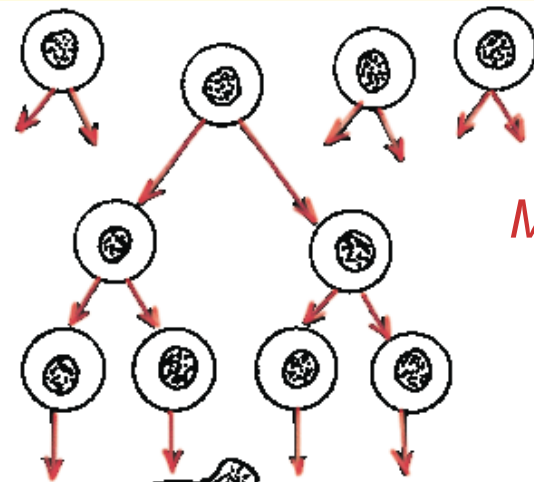
ОС

Оогонии

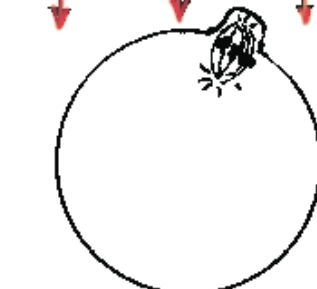
Ооцит первого порядка

Ооцит второго порядка

Оотида

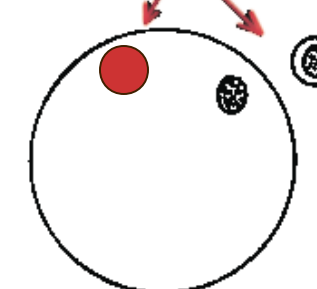


Митозы

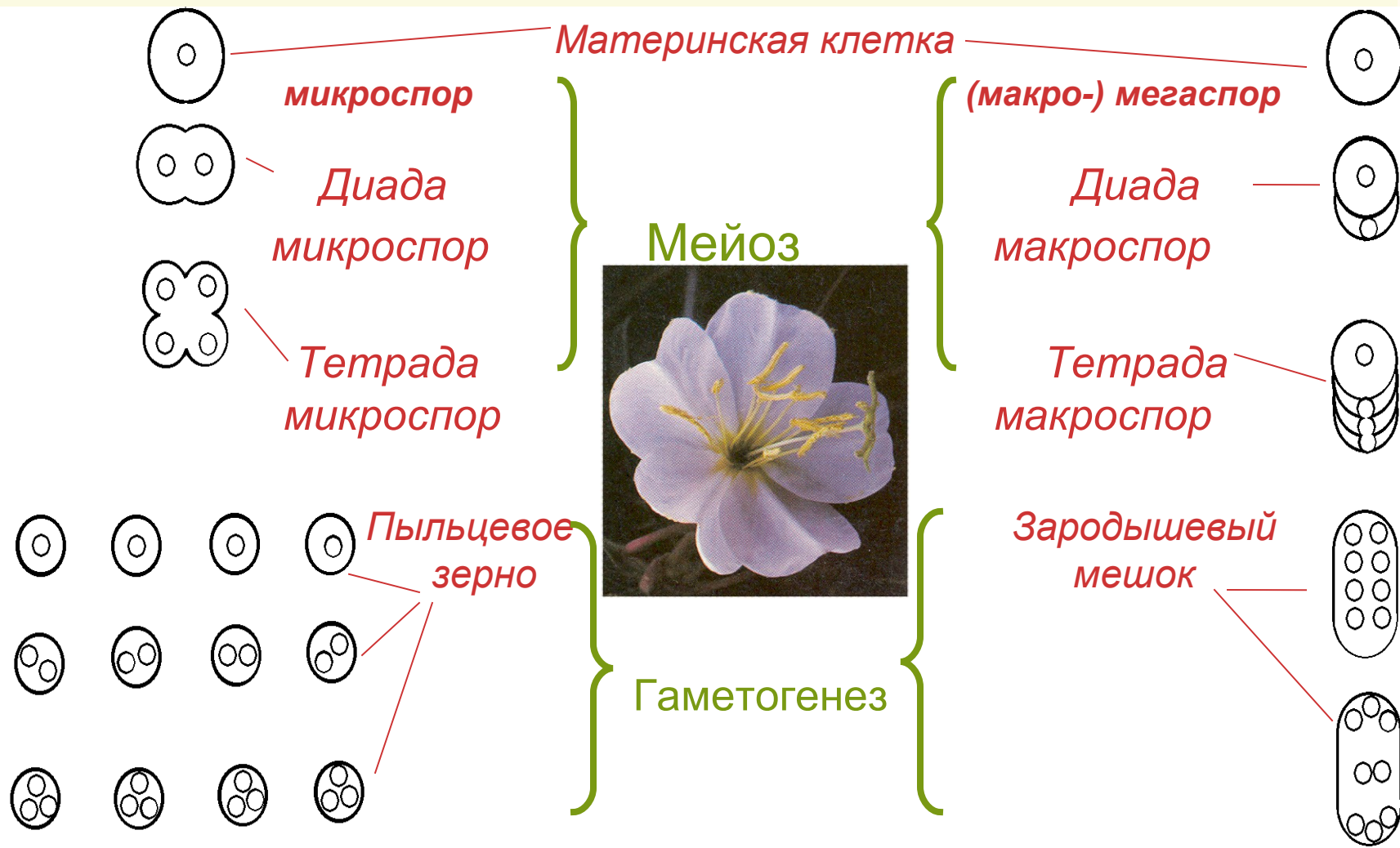


Мейоз

Оплодотворение



Микро- и (макро-) мегаспорогенез и гаметогенез у высших растений



Хромосомная теория наследственности

Теодор Бовери, Уильям Сеттон (1902-1903 г.г.)

Томас Морган и сопр. (20-е г.г. XX в.)

Гены расположены в хромосомах!

1. Каждая хромосома в зиготе имеет пару - гомологичную хромосому. Одна гомологичная хромосома пришла от отца, другая - от матери. Число пар гомологичных хромосом равно n .
2. В мейозе наблюдается синапсис гомологичных хромосом и их расхождение в разные клетки.
3. В онтогенезе хромосомы сохраняют свою индивидуальность.
4. У каждой хромосомы своя роль в развитии особей.
5. Каждая хромосома содержит много генов.
6. Гены расположены линейно по длине хромосомы.