

*The circle of life...*



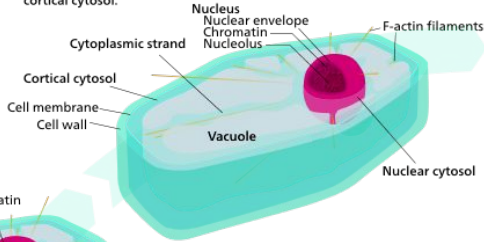
**Клеточный цикл. Деление и  
рост растительной клетки**

# Что такое клеточный цикл?

- **Клеточный цикл** — это период существования клетки от момента её образования путем деления материнской клетки до собственного деления или гибели.
- Все ли клетки проходят полный цикл (все фазы)?
- *Задачи клетки зависят от ее судьбы (cell fate):*
- Меристематическая клетка должна крутить цикл с максимальной скоростью и не ошибиться;
- Специализированная клетка должна формировать специфические структуры и выполнять другие функции, не связанные с делением.

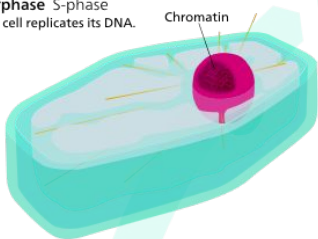
### interphase gap 2

The nucleus containing loose chromatin and a nucleolus is embedded somewhere inside the cell's large central vacuole. Transvacuolar cytoplasmic strands containing actin filaments radiate from the nucleus, cutting through the vacuole to connect the nuclear cytosol to the cortical cytosol.



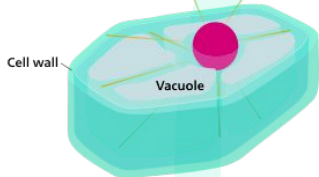
### interphase S-phase

The cell replicates its DNA.



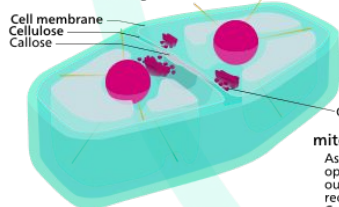
### interphase gap 1

The daughter cell grows and expands. Organelles like chloroplasts and mitochondria (not shown) divide throughout interphase.



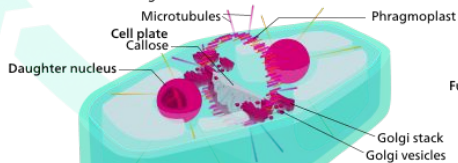
### cytokinesis cell plate maturation

When the cell plate membrane comes into contact with the cell membrane, the two membranes fuse, and cellulose synthesizing enzymes found in the cell membrane flood into the fluid mosaic cell plate membrane, making cellulose that replaces the callose in the cell plate. The golgi stacks make the pectin that also goes into the cell wall. The new cell wall divides the parent cell into two daughter cells.



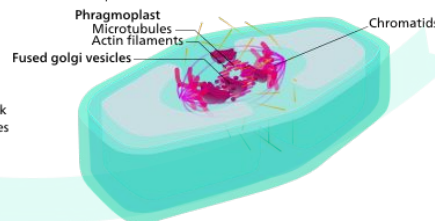
### mitosis and cytokinesis telophase and cell plate expansion

As the chromosomes unravel and nuclear membranes reform at opposite ends of the cell, the phragmoplast continues to move outward as the cell plate grows. Some phragmoplast microtubules reorient, pointing toward where the preprophase belt used to be. Callose fills the cell plate and the golgi stacks add to the cell plate at the edges.



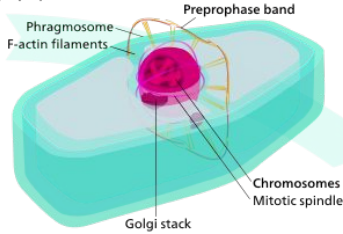
### mitosis late anaphase

Guided by the microfilaments of the phragmoplast, the golgi-derived vesicles align at the metaphase place and fuse into a filmy cell plate. Callose begins to be synthesized within the cell plate. The phragmoplast expands outward toward the cell wall.



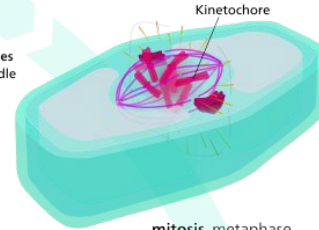
### mitosis preprophase and prophase

As the cell approaches prophase of mitosis, the cytoplasmic strands shorten, pulling the nucleus to the middle of the cell forming a disk of cytoplasm across the division plane called the phragmosome. Most of the cell's golgi stacks move into the phragmosome. Along the edge of the phragmosome, actin filaments and microtubules collect to form the preprophase band. Inside the nucleus, chromatin condenses into chromosomes and the nucleolus disappears. The nuclear envelope generates the mitotic spindle, which is organized into two poles by the preprophase band.



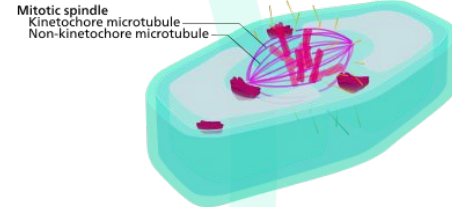
### mitosis prometaphase

At prometaphase, the chromosomes finish condensing and the nuclear envelope quickly breaks down, followed by the preprophase band and its actin, leaving behind an actin-depleted zone. Kinetochores form at the centromeres of the chromosomes, allowing microtubules to attach.



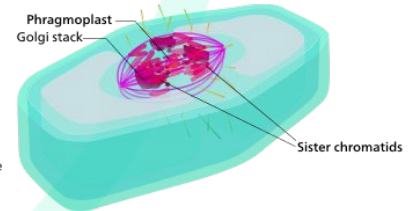
### mitosis metaphase

After some of the spindle microtubules attach to all the chromosomes, the chromosomes are aligned along an imaginary plane called the metaphase plate. About a fifth of the golgi stacks in the cell migrate into the mitotic spindle area and start to secrete vesicles of cell plate materials, and another fifth gather where the preprophase belt used to be. The remaining stacks return to the rest of the cortical cytosol.



### mitosis early anaphase

The cohesin proteins that hold the two sister chromatids of each chromosome are broken. The kinetochores on each sister chromatid pull them along the spindle microtubules, carrying the sister chromatids to opposite ends of the cell. Meanwhile, a structure made out of microtubules and actin filaments forms between them, called the phragmoplast. Golgi stacks line up at the edges of the phragmoplast, releasing vesicles full of cell plate building materials like xyloglucans.



# plant cell division in vacuolated cells

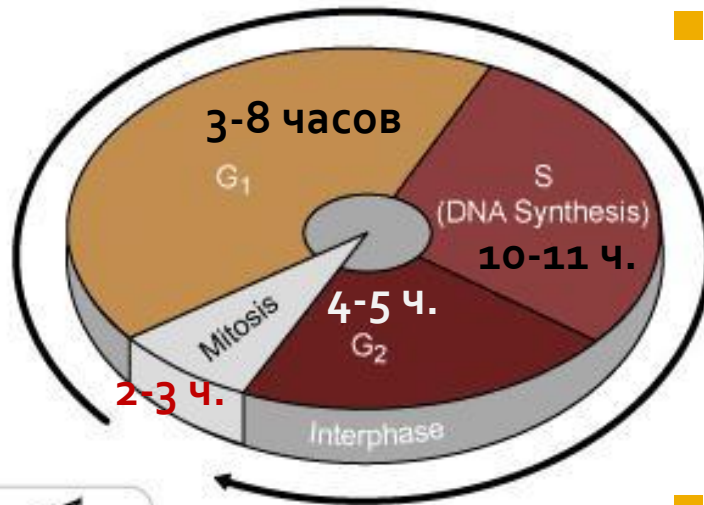
#### Organelles and cell structures shown

- Nucleus
- Vacuole
- Golgi apparatus
- Cell membrane
- Cell wall
- Parts of the cytoskeleton

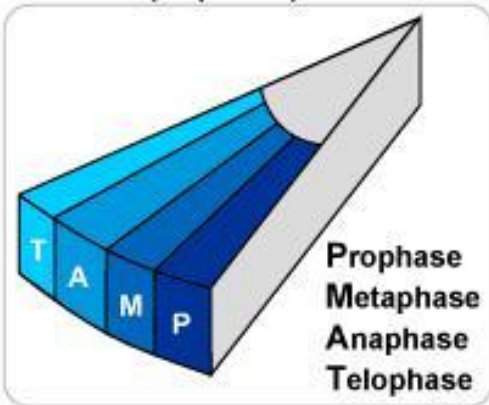
Not to scale For example, there can be over one thousand golgi stacks per plant cell.

# Клеточный цикл: *всему свое время*

Cell Cycle



Mitosis (M-phase)



- G<sub>1</sub>: рост клетки растяжением, деление пластид и митохондрий, синтез белка, отложение КС, рост вакуоли.
- S: репликация ДНК.
- G<sub>2</sub>: Расположение ядра и цитоплазмы на экваторе (фрагмосома), синтез белка для митоза, образование ППК

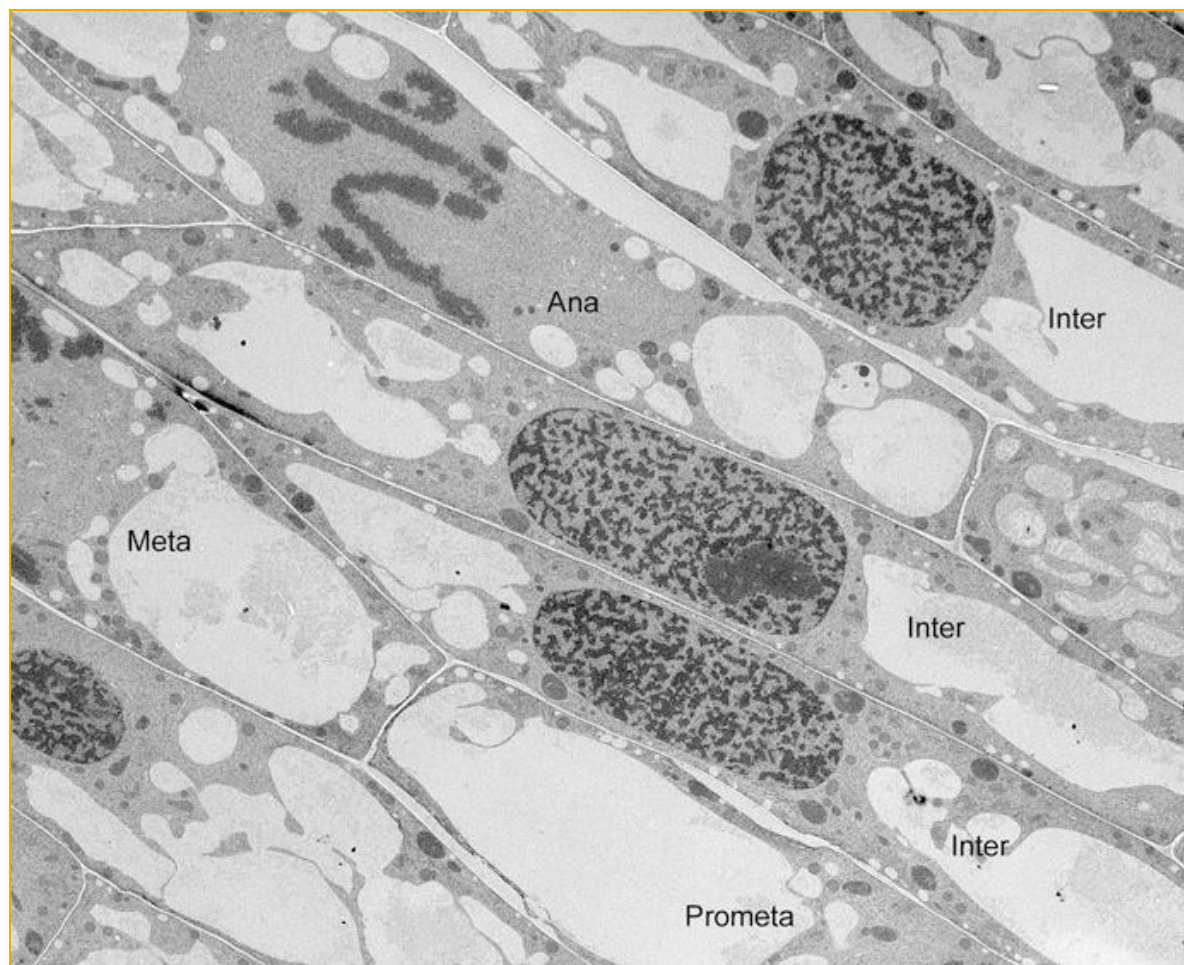
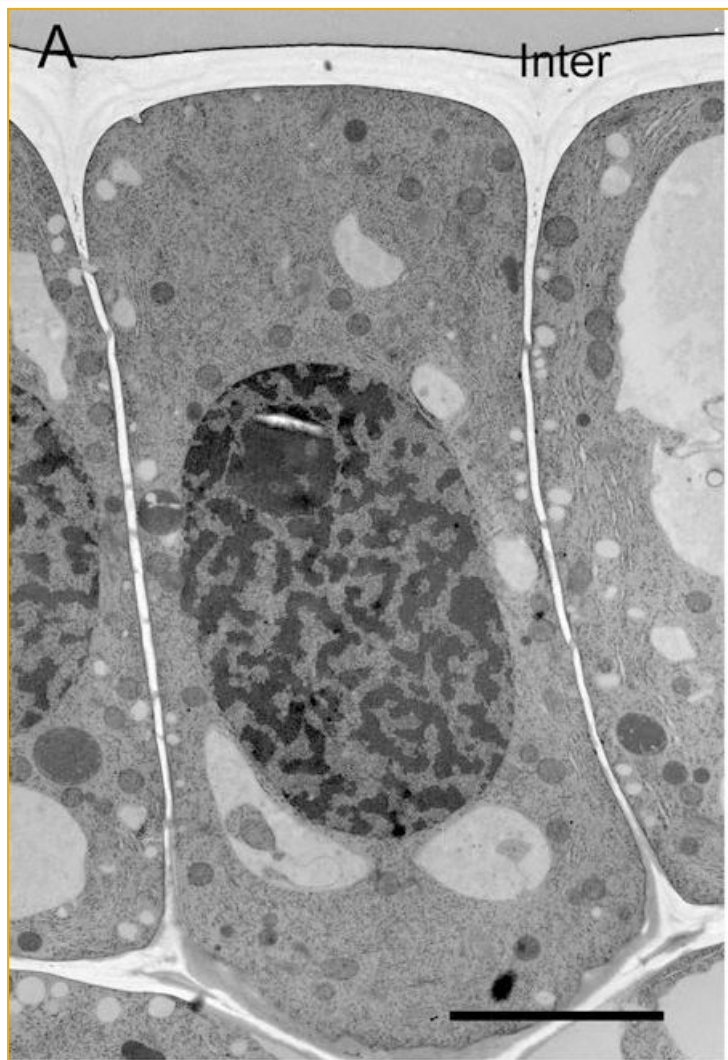
# Интерфаза: *передышка* или *аврал*?

- Задача *меристематической* клетки: оправиться после прошедшего деления и подготовиться к следующему.
- Рост, синтез мРНК и белка
- Деление двумембранных органелл (G<sub>1</sub>)
- Синтез ДНК (S)
- Разметка плоскости будущего деления (G<sub>2</sub>).

# Интерфаза: *передышка* или *аврал*?

- Задаче *специализированной* клетки: подготовиться к работе.
- Рост, синтез мРНК и белка
- Деление двумембранных органелл
- Вакуолизация,
- Синтез вторичной КС
- Развитие необходимых для работы органелл (например, Гольджи, ЭПР, хлоропластов).

# Интерфаза: что мы видим?



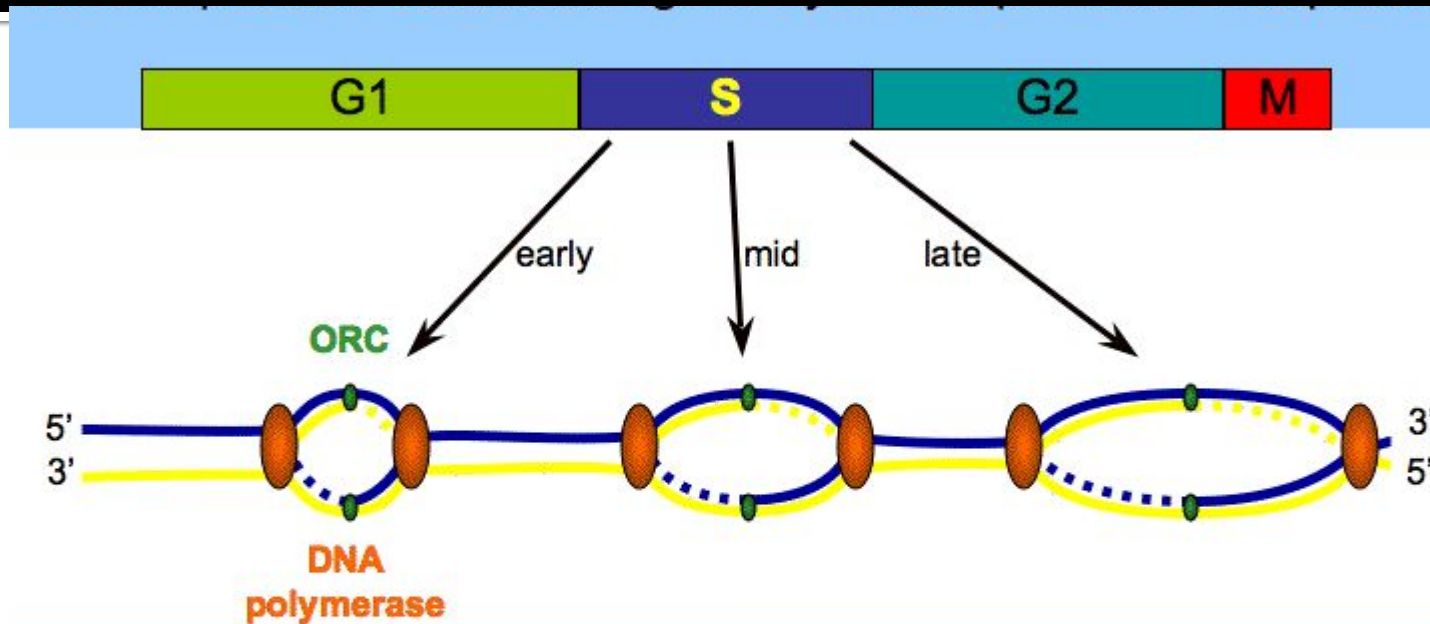
Эпидермис семядоли лука, поперечн. и прод. срезы

# Интерфаза: что мы видим?

- Цитоплазма густая с хорошо развитым ЭПР, мелкие вакуоли; большое количество рибосом (преимущественно свободных); Много митохондрий, которые делятся или только что поделились (мелкие), пропластиды также делятся.
- Ядро относительно небольшого размера, с крупным ядрышком. Нуклеоплазма — гомогенная, мелкозернистая. Хроматин в виде нитей и глыбок.
- Первичная клеточная оболочка тонкая, пронизана плазмодесмами.
- В период между делениями в клетке идут интенсивные процессы обмена веществ — активный синтез, интенсивное дыхание.

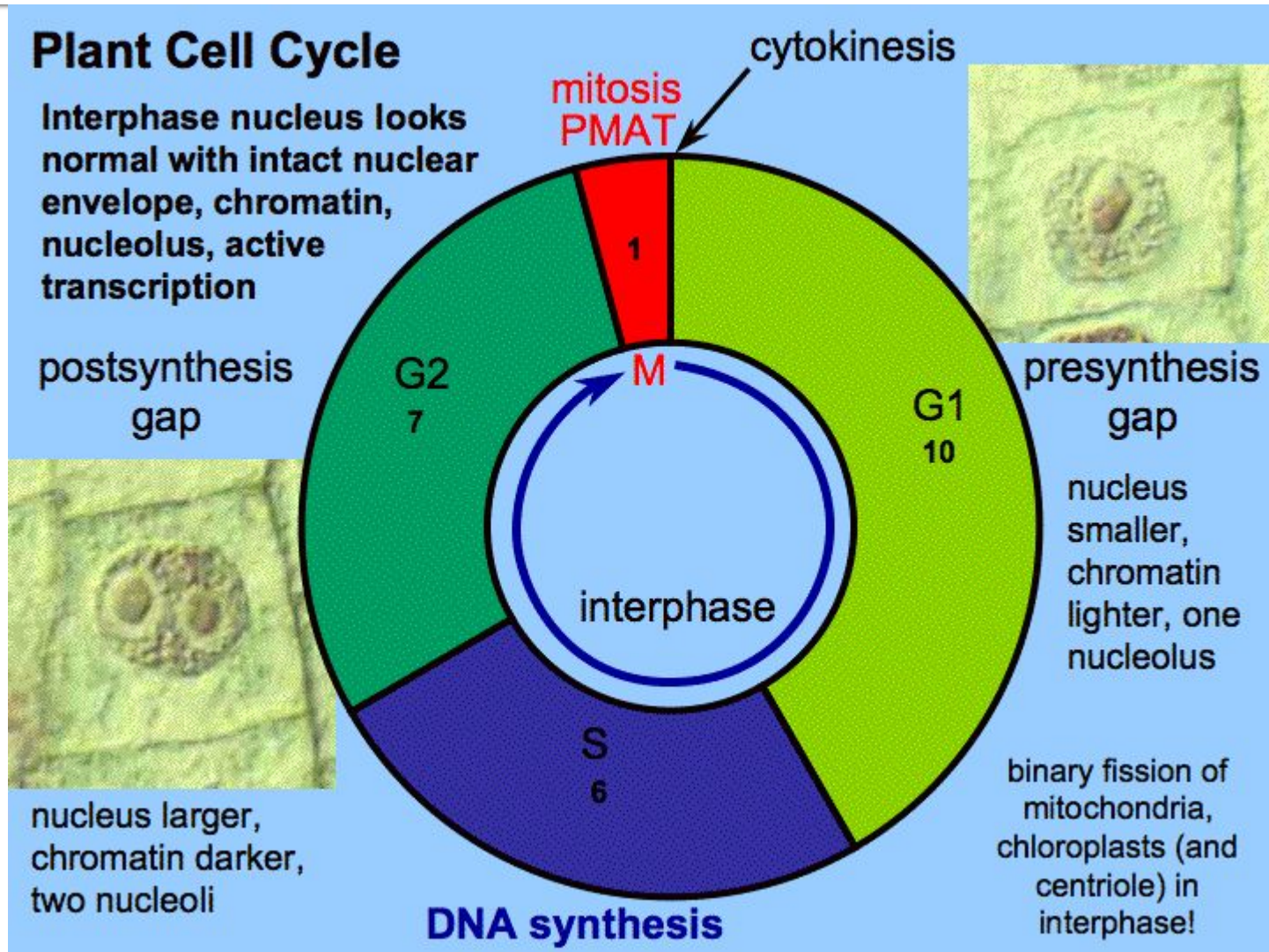


# S-фаза: чтобы поделить, надо удвоить!



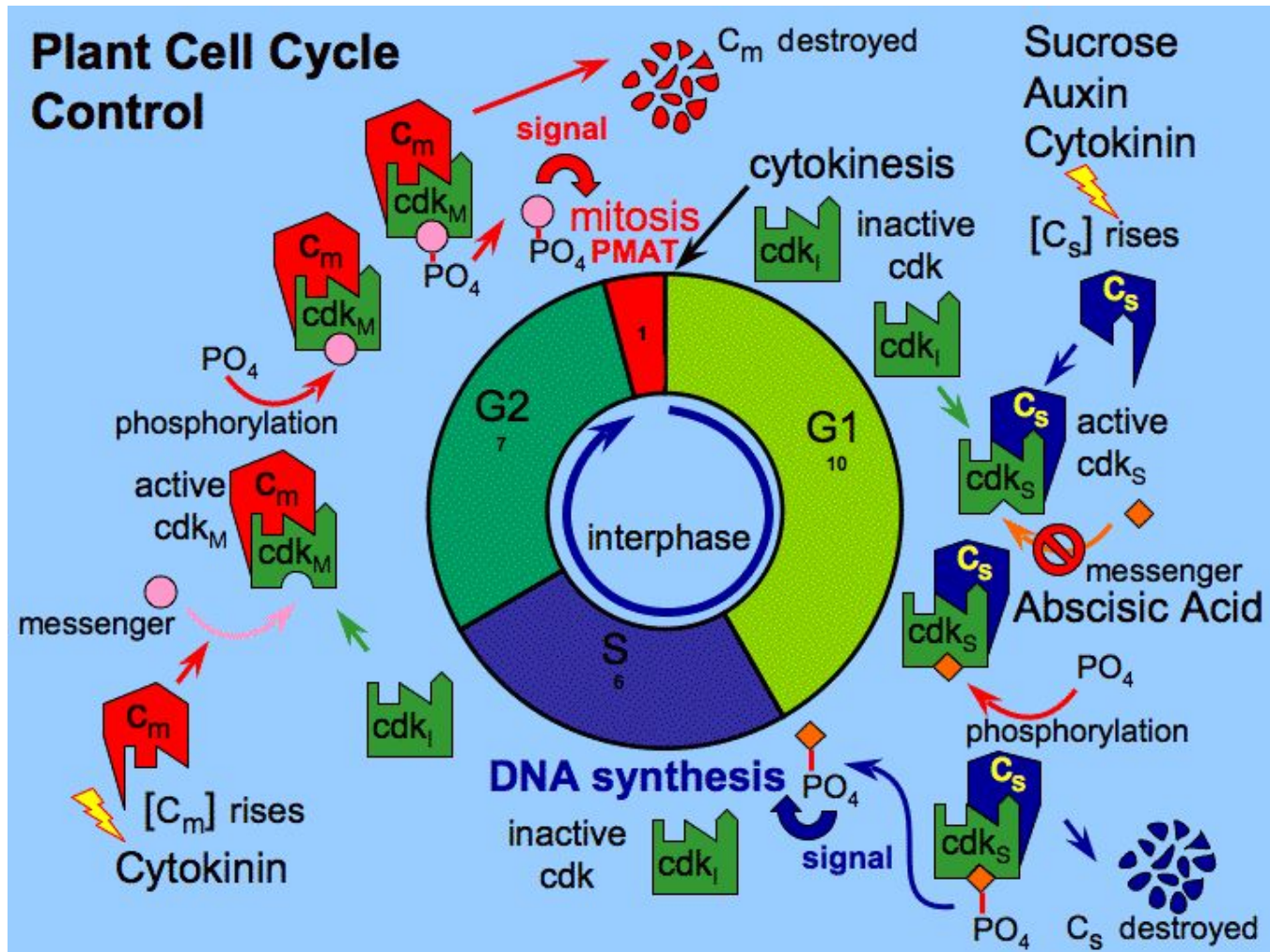
- В S-фазе транскрипция приостанавливается, чтобы «дать дорогу» громоздкой машине репликации.
- ORC – origin of replication. Работают: полимераза (удваивает фрагменты), лигаза (сшивает).
- Геном надо удвоить, а геном у растений большой!

# КЦ: еще раз все вместе



# Молекулярные основы регуляции КЦ

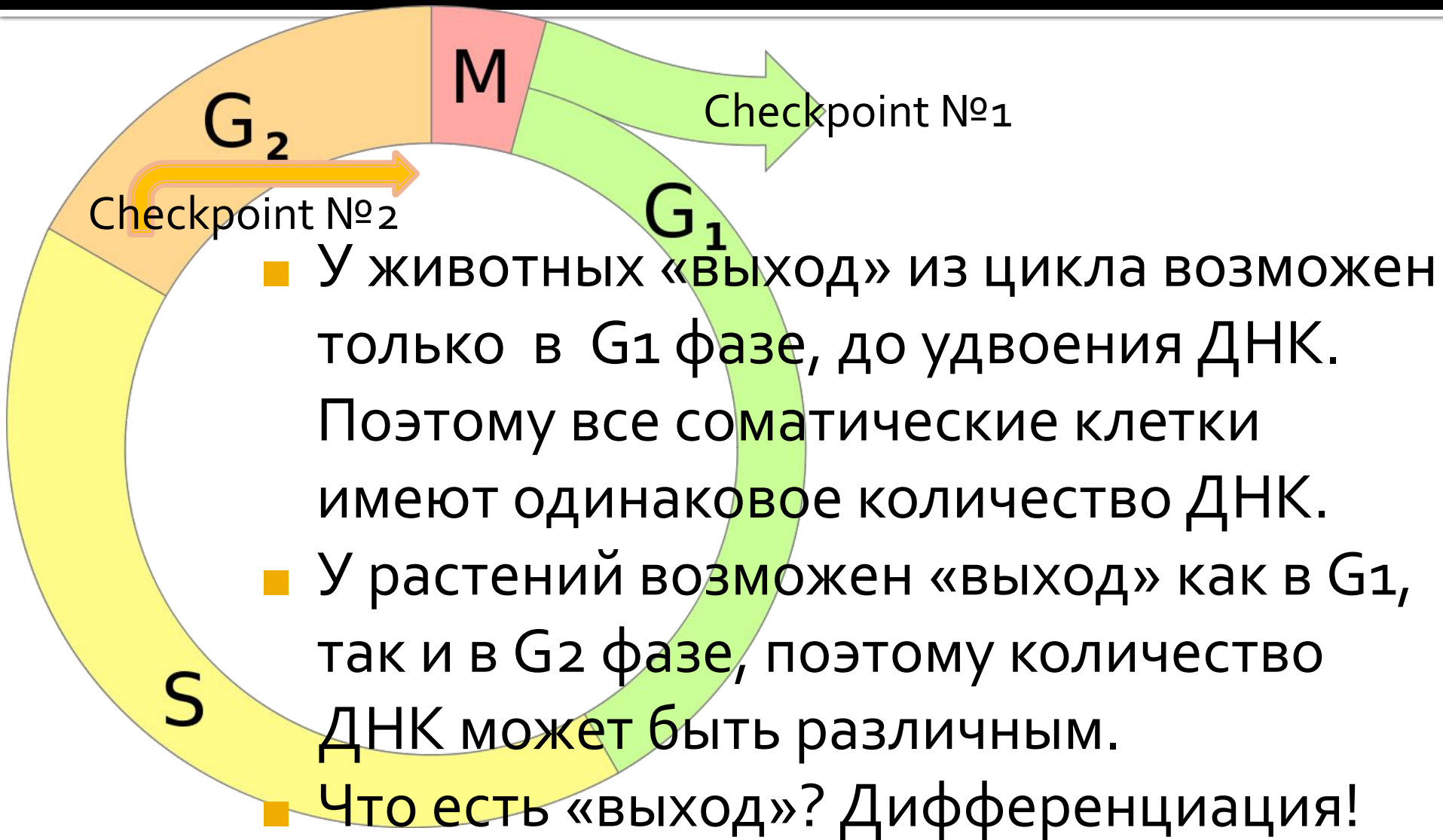
## ■ Циклины и циклин-зависимые киназы



# Молекулярные основы регуляции КЦ

- CDK – циклин-зависимая киназа, которая активируется, связываясь с определенным циклином и АТФ.
- Циклины – лабильные белки, которые с наступлением следующей фазы цикла подлежат деградации в протеасоме.
- Значение имеет также фосфорилирование комплекса циклин-CDK. Этим заведуют киназы/фосфатазы.

# «Выход» из цикла: куда и когда?



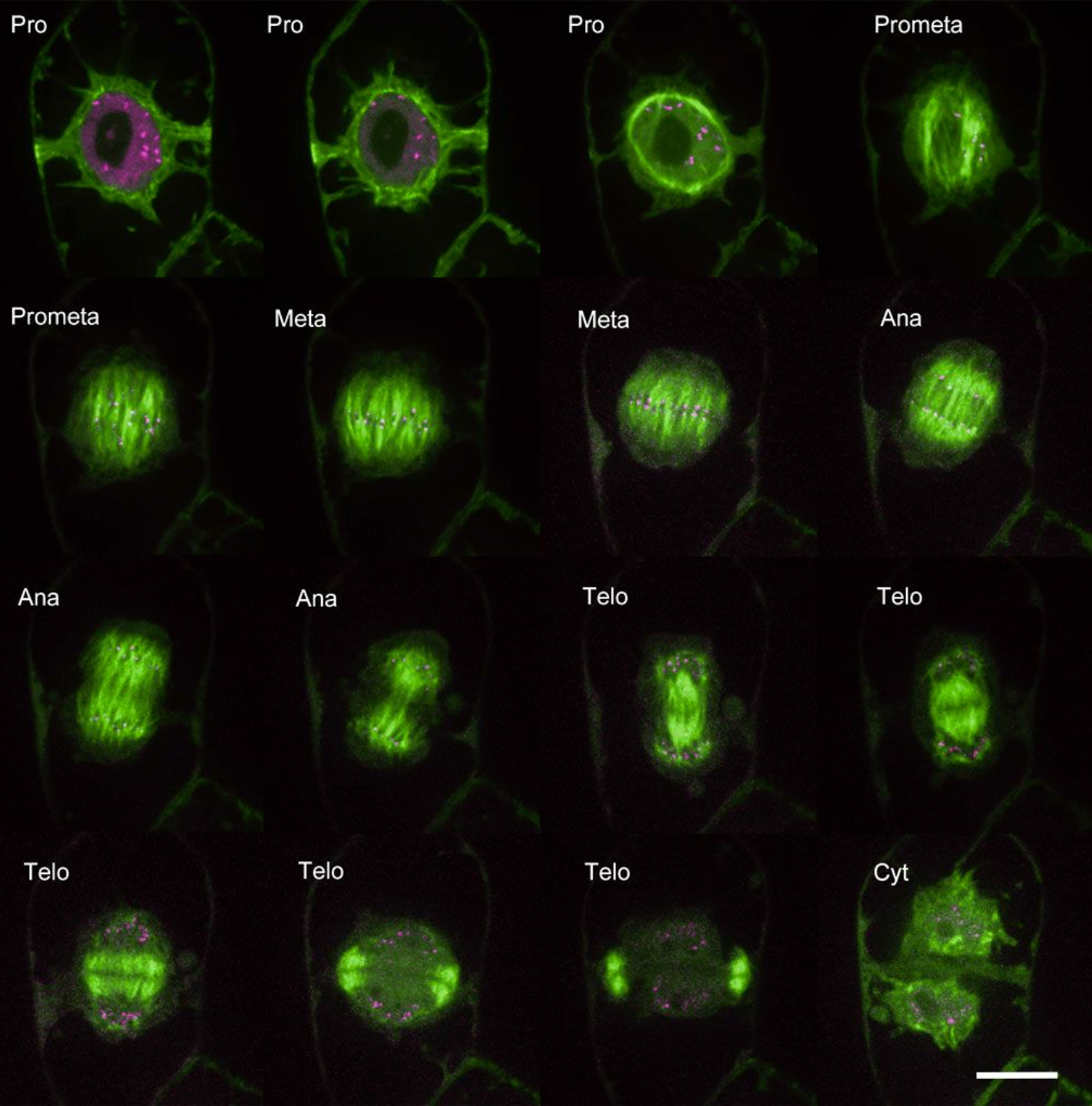
# Если мы «вышли», то пора расти!

- Цитоплазма становится менее вязкой.
- К мембранам ЭПС прикрепляются рибосомы.
- В мтх формируются развитые кристы.
- Ядро принимает неправильную форму, что увеличивает поверхность его соприкосновения с цитоплазмой. Ядрышко уменьшается.
- Мелкие вакуоли сливаются, и образуется одна центральная вакуоль. В этом также участвуют пузырьки, отделяющиеся от АГ.



# Митоз: если не вышли, то пора делиться!

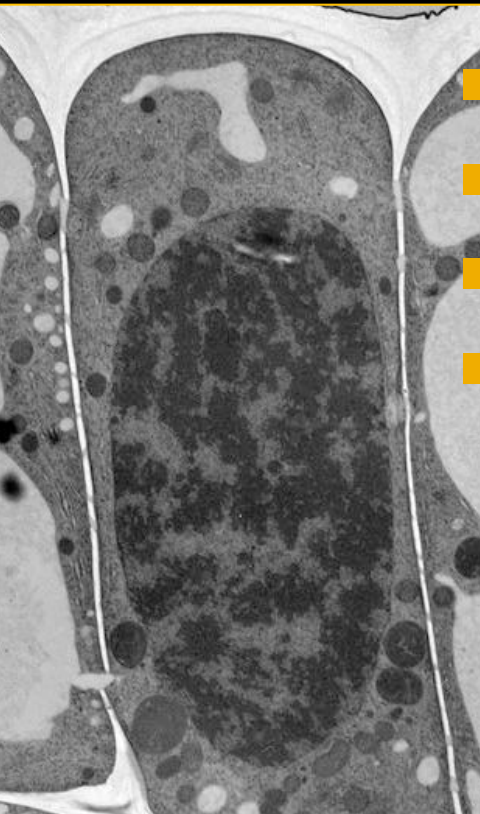
- Считают, что в меристематической клетке должно быть определенное соотношение между размерами ядра и цитоплазмы (**ядерно-плазменное отношение**). Когда это отношение ниже определенного уровня, ядро как бы уже не может «управлять» возросшей массой цитоплазмы и клетка переходит к делению.
- На молекулярном уровне переход к митозу контролируется циклин-CDK комплексом.



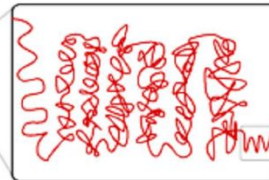


# Профаза: надо все подготовить!

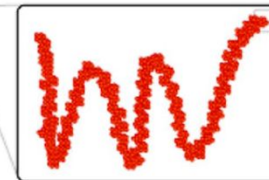
- Остановка транскрипции
- Конденсация хромосом
- Исчезновение ядрышка
- Фрагментация ядерной оболочки – хромосомы оказываются в цитозоле.



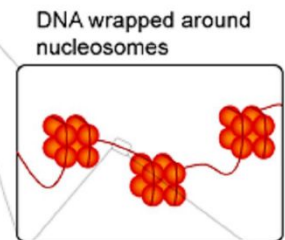
Replicated Chromosome



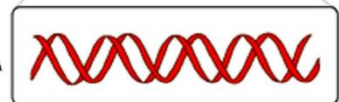
Highly condensed and supercoiled DNA



Supercoiled DNA

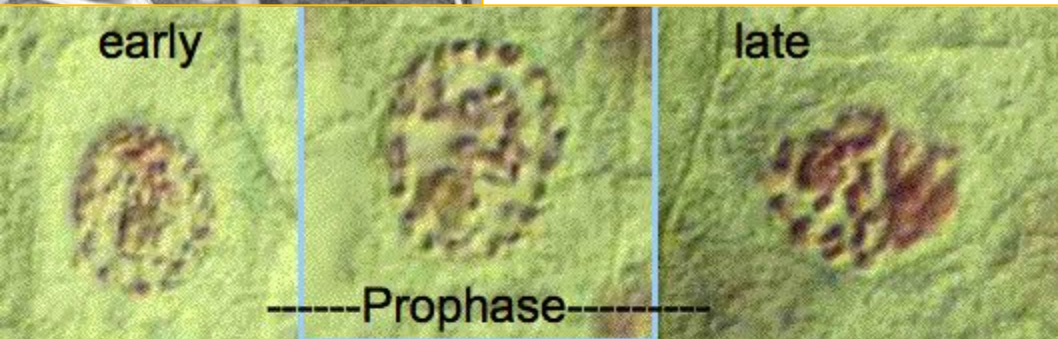


DNA wrapped around nucleosomes



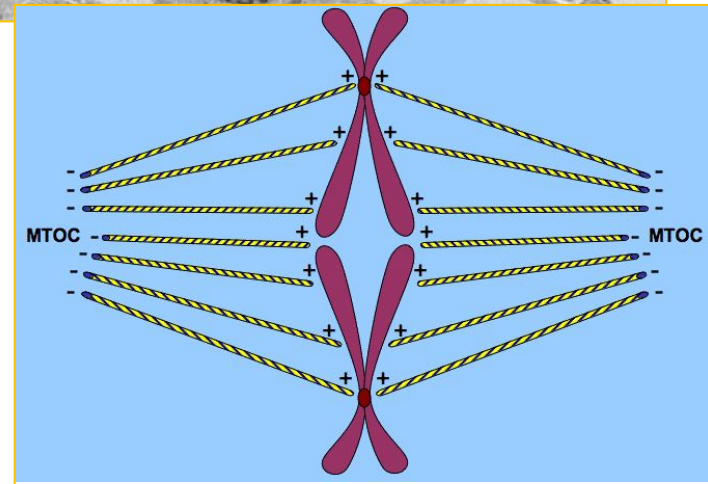
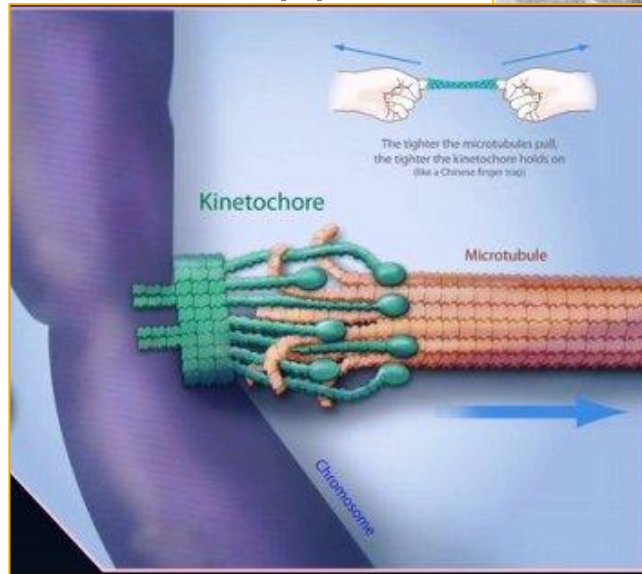
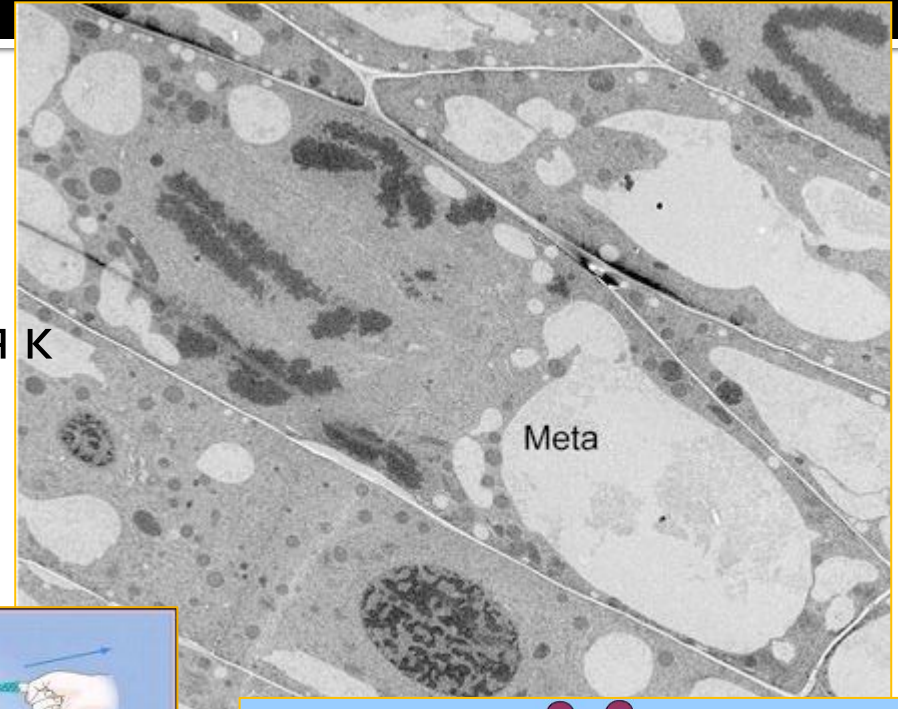
DNA

DNA Organization in Chromosomes



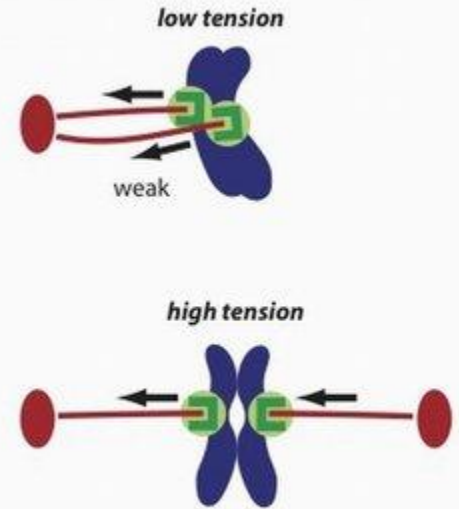
# Метафаза: на экваторе!

- Ключевой участник – веретено деления.
- Веретено начинает расти с полюсов, нити присоединяются к центромерам хромосом (в них находится кинетохор), подталкивая их к экватору и...



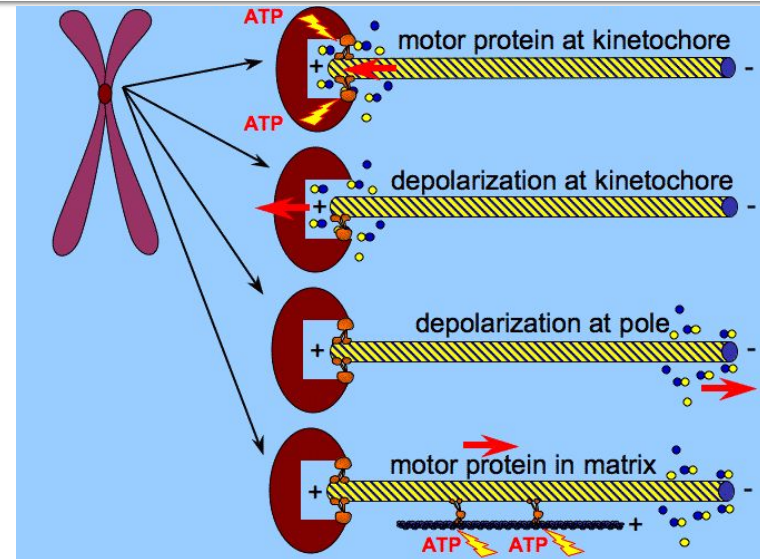
# Китайская игрушка

- Связь между кинетохорами и микротрубочками становится более стабильной, если они находятся под действием тянущей силы
- Открывший это учёный сравнивает стабилизирующее натяжение с китайской игрушкой «Ловушка для пальца» – чем сильнее вы стараетесь вытащить из нее пальцы, тем сильнее она их удерживает.
- Такая зависимая от натяжения стабилизация помогает хромосомам разделяться, как положено.
- Кинетохоры являются не только механизмом связывания, но и выполняют функцию регуляторного центра. Они «чувствуют» и исправляют ошибки в прикреплении и посылают сигналы «ждать» до тех пор, пока филаменты микротрубочек не прикрепятся к кинетохорам в правильных положениях.



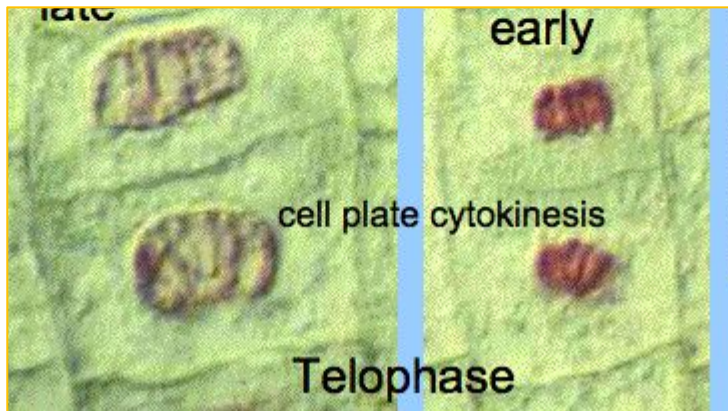
# Анафаза: прощай, сестрица!

- Нити веретена начинают укорачиваться, разбираясь с концов
- Они тянут за собой центромеры, и те поддаются (потому что белки адгезии разрушены протеазами): сестринские хроматиды расстаются
- Хроматиды (ставшие отдельными хромосомами) растягиваются к полюсам.

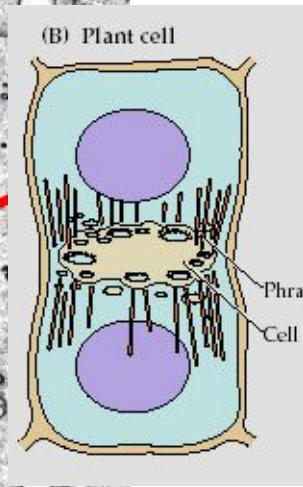
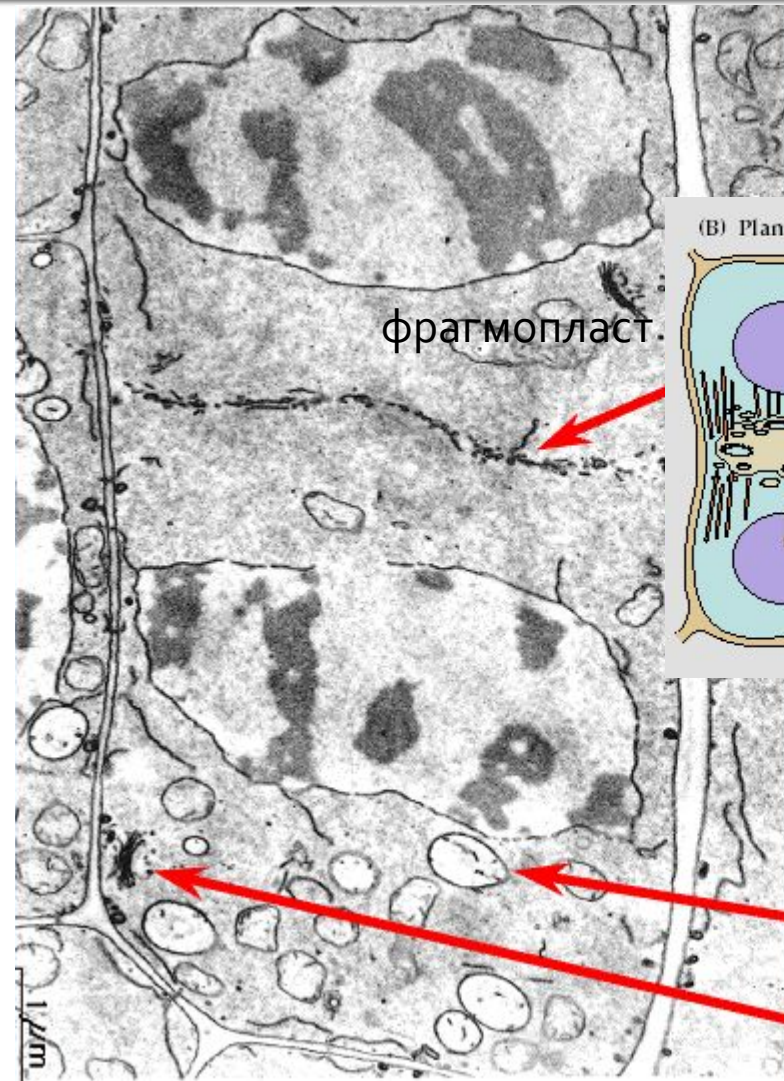


# Телофаза.

- Деконденсация хроматина
- Формирование ядерной оболочки
- Восстановление транскрипции
- Появление ядрышек



# Цитокинез.

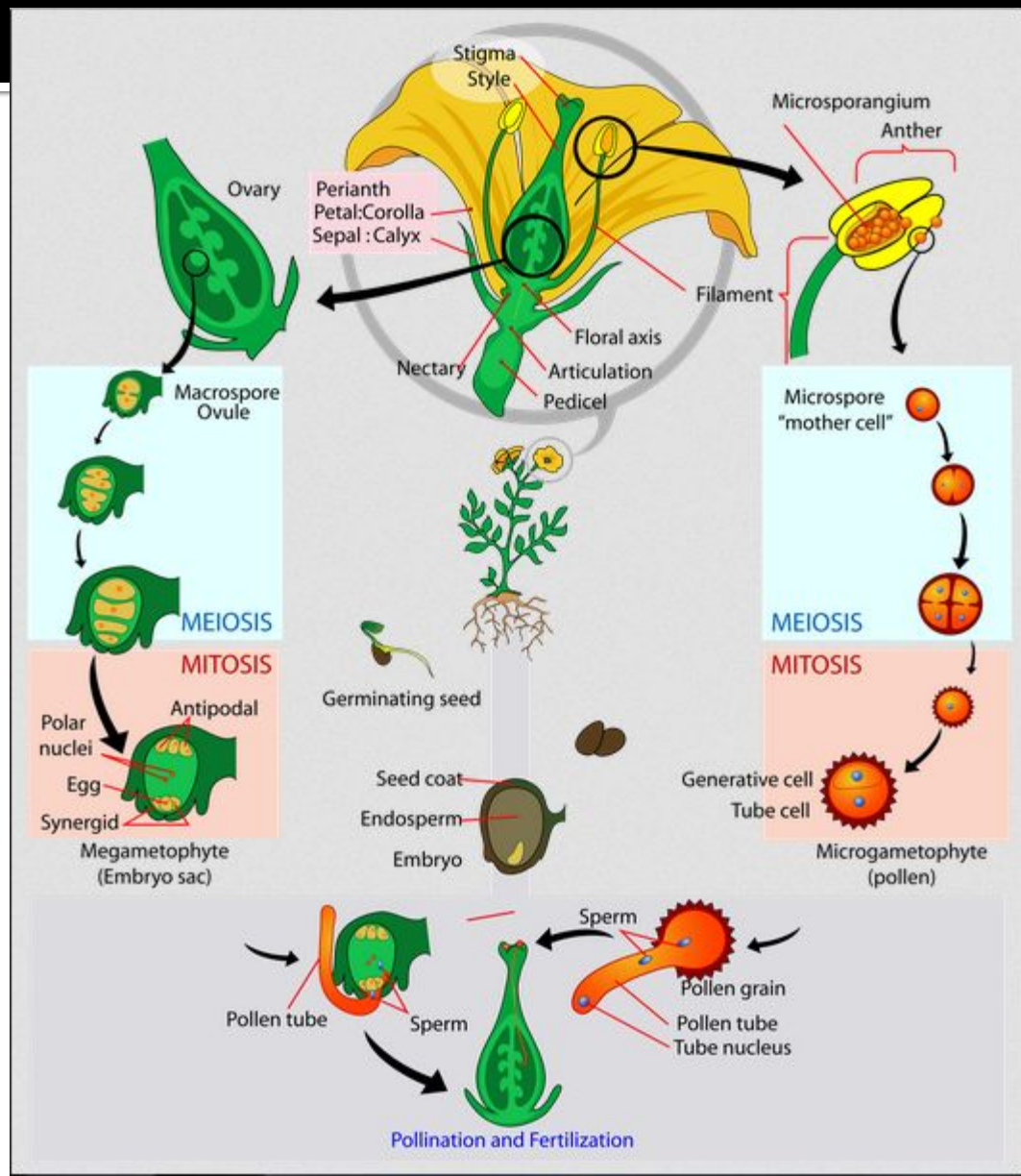


# Цитокинез

- Строительство новой стенки происходит четко на том же месте, где было ППК
- Самые первые вещества, которые формируются в новом «разделительном слое» – пектины – полимеры галактуроновой кислоты.
- Ее синтезирует аппарат Гольджи, а везикулы доставляют на место, и одновременно формируют мембрану. Направление задают МТ.
- Позднее начинают откладываться микрофибриллы целлюлозы. Образуется первичная КС.

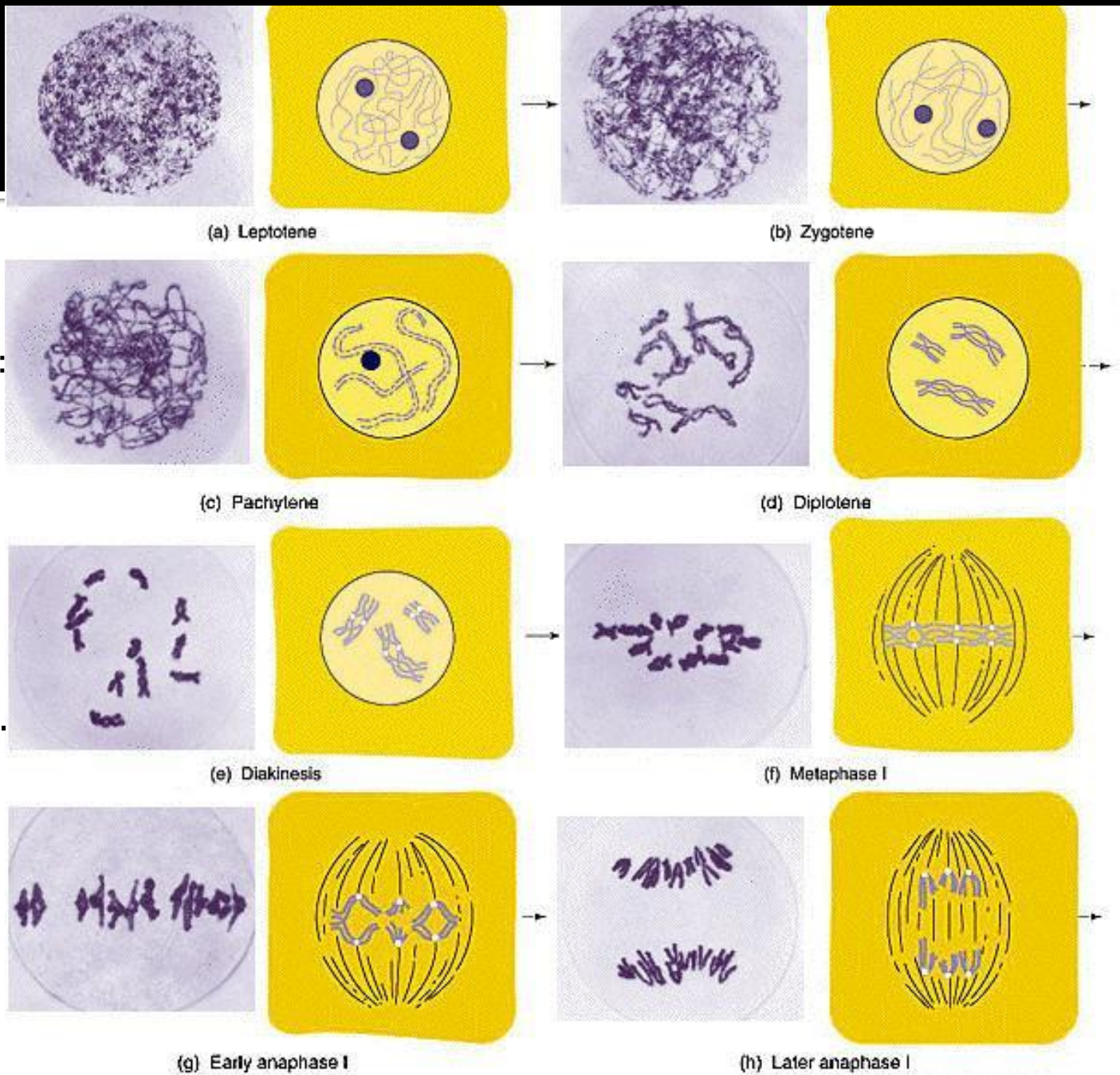
# Особые случаи: мейоз

- Мейоз происходит в особых клетках – материнских клетках. При этом образуются СПОРЫ
- Гаметы, наоборот, образуются в результате митоза в гаметофите.



# Мейоз

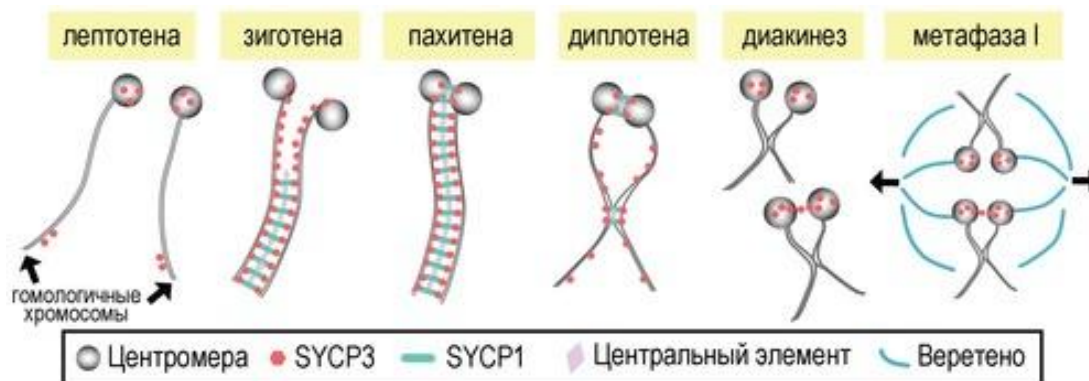
Профаза мейоза сильно отличается от профазы митоза: помимо обычной подготовки, в ней происходит конъюгация и кроссинговер. В профазе выделяют 5 стадий.





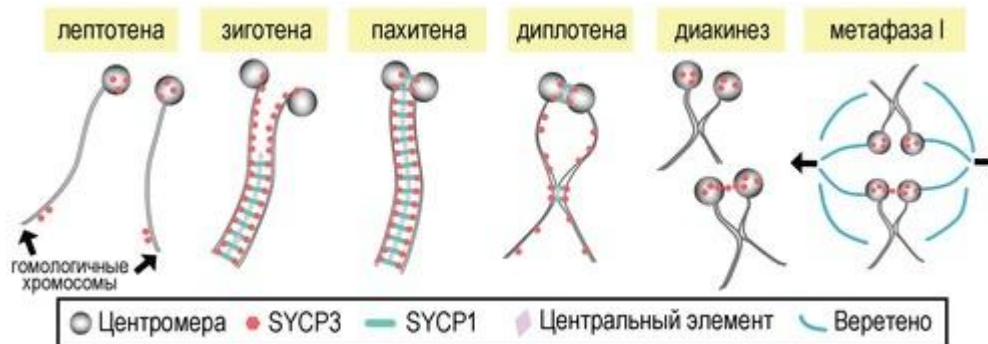
# Профаза мейоза

- **Лептотена** – упаковка хромосом, конденсация ДНК с образованием хромосом в виде тонких нитей (хромосомы укорачиваются).
- **Зиготена** – происходит конъюгация — соединение гомологичных хромосом с образованием структур, состоящих из двух соединённых хромосом, называемых тетрадами или бивалентами и их дальнейшая компактизация.
- **Пахитена** – в некоторых местах гомологичные хромосомы плотно соединяются, образуя хиазмы. В них происходит кроссинговер



# Профаза мейоза

- **Диплотена** - происходит частичная деконденсация хромосом, при этом часть генома может работать, происходят процессы транскрипции (образование РНК), трансляции (синтез белка); гомологичные хромосомы остаются соединёнными между собой.
- **Диакинез** - ДНК снова максимально конденсируется, синтетические процессы прекращаются, растворяется ядерная оболочка; центриоли расходятся к полюсам; гомологичные хромосомы остаются соединёнными между собой.



# Как это выглядит на самом деле?

- <https://wikispaces.psu.edu/display/Biology/Mitosis-Cell+Cycle+Regulation>
- <http://5e.plantphys.net/article.php?ch=&id=225>
- [http://plantphys.info/plant\\_physiology/cellcycle.shtml](http://plantphys.info/plant_physiology/cellcycle.shtml)
- <http://www.nature.com/nrm/journal/v6/n11/full/nrm1746.html>

