

## DUM č. 2 v sadě

### 37. Bi-2 Cytologie, molekulární biologie a genetika

Autor: Martin Krejčí

Datum: 02.06.2014

Ročník: 6AF, 6BF

Anotace DUMu: meióza-redukční dělení jádra, význam, princip, průběh - jednotlivé fáze, geneticky významné důsledky meiózy - náhodná segregace, rekombinace. Balance a srovnání mitózy a meiózy.

Materiály jsou určeny pro bezplatné používání pro potřeby výuky a vzdělávání na všech typech škol a školských zařízení. Jakékoliv další využití podléhá autorskému zákonu.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# meiÓza

Redukční dělení jádra

# historie

## ◎ 1883: Edouard Van Beneden

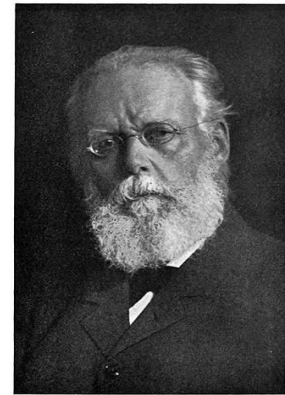
- belgický zoolog
- Odhalil rozdíly v počtu chromozomů u gamet a zygoty u škrkavek (*r. Ascaris*).



[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Edouard\\_van\\_Beneden.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Edouard_van_Beneden.jpg)

## ◎ 1890 : August Weismann

- německý biolog
- Popsal význam meiózy pro reprodukci a dědičnost.
- „ pro zachování diploidního počtu chromozomů po splynutí gamet je nezbytný průběh dvou buněčných, po sobě následujících, přičemž z jedné diploidní buňky vznikají čtyři haploidní



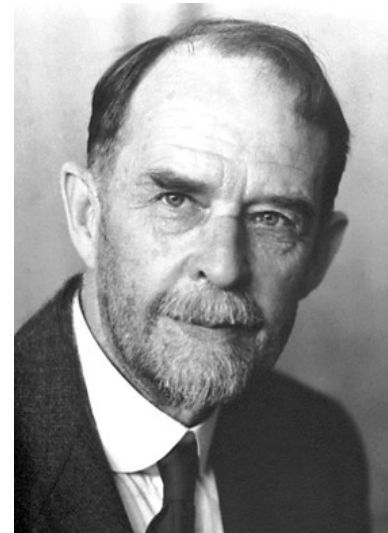
*August Weismann*

<http://powerofthegene.com/joomla/images/AugustWeismann.jpg>

# historie

## ◎ 1911: Thomas Hunt Morgan

- americký genetik
- pozoroval proces rekombinace „crossing over“ u octomilky obecné *Drosophila melanogaster* v průběhu meiózy.
- Jako první vyslovil předpoklad, že geny jsou přenášeny na chromozomech.



[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1933/morgan\\_postcard.jpg](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1933/morgan_postcard.jpg)

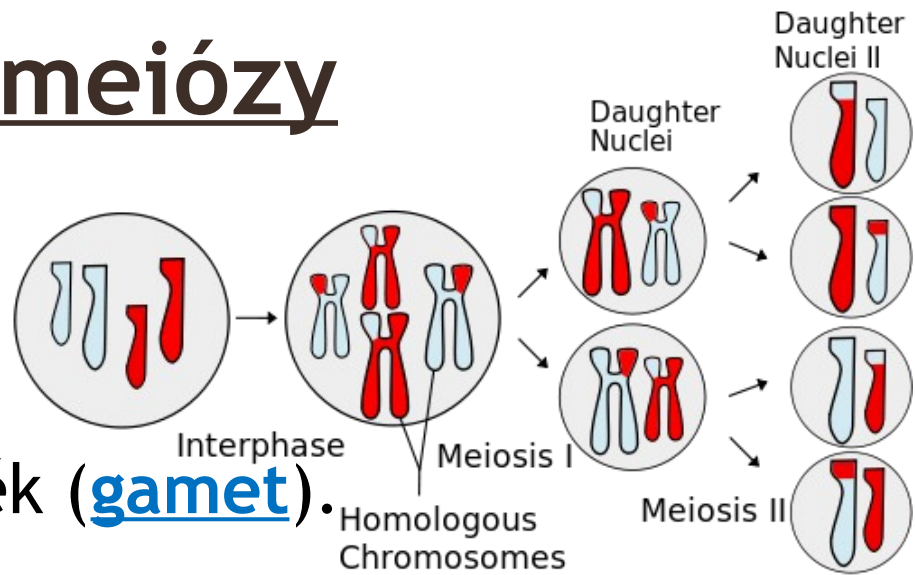
## ◎ 1905: John Edmund Sharrock Moore

+ J.B. Farmer

- Zavedli název meióza pro redukční dělení jádra.

# Charakteristika meiózy

- Typ jaderného dělení (karyokineze), které je typické pro vznik pohlavních buněk (gamet).



- Nutnost při vzniku zygoty docílit **diploidie** ( $2n$ ) ↗

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9a/Meiosis\\_Overview.svg/500px-Meiosis\\_Overview.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9a/Meiosis_Overview.svg/500px-Meiosis_Overview.svg.png)

gamety musí být **haploidní** ( $n$ ). Během meiózy probíhá snížení počtu chromozomových sad z  $2n$  na  $n$  ↗ redukční dělení jádra.

- Meióza patří i k důležitým prostředkům zvýšení **variability genomu** (viz. mutace) ↗ proces **REKOMBINACE** (*Crossing over*) ↗ vznik genových kombinací, které by nevznikly principem volné kombinovatelnosti vloh (viz. Vazba vloh).

# Princip meiózy

- ◉ V průběhu meiózy buňka podléhá dvěma po sobě těsně následujícím dělením.

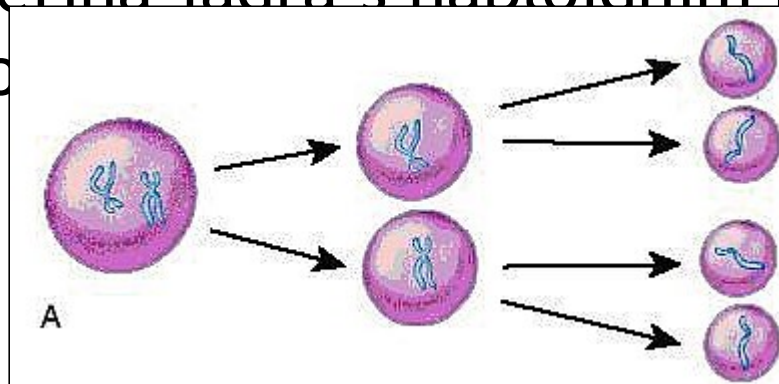
## první redukční (HETEROTYPICKÉ) dělení

(první zrací dělení)

## druhé ekvační (HOMEOTYPICKÉ) dělení

(druhé zrací dělení)

- ◉ Meiózou vznikají z jednoho diploidního jádra ( $2n$ ) 4 dceřiná jádra s haploidním počtem chromozomů



<http://www.synevo.ro/wp-content/uploads/2010/05/meioza.jpg>

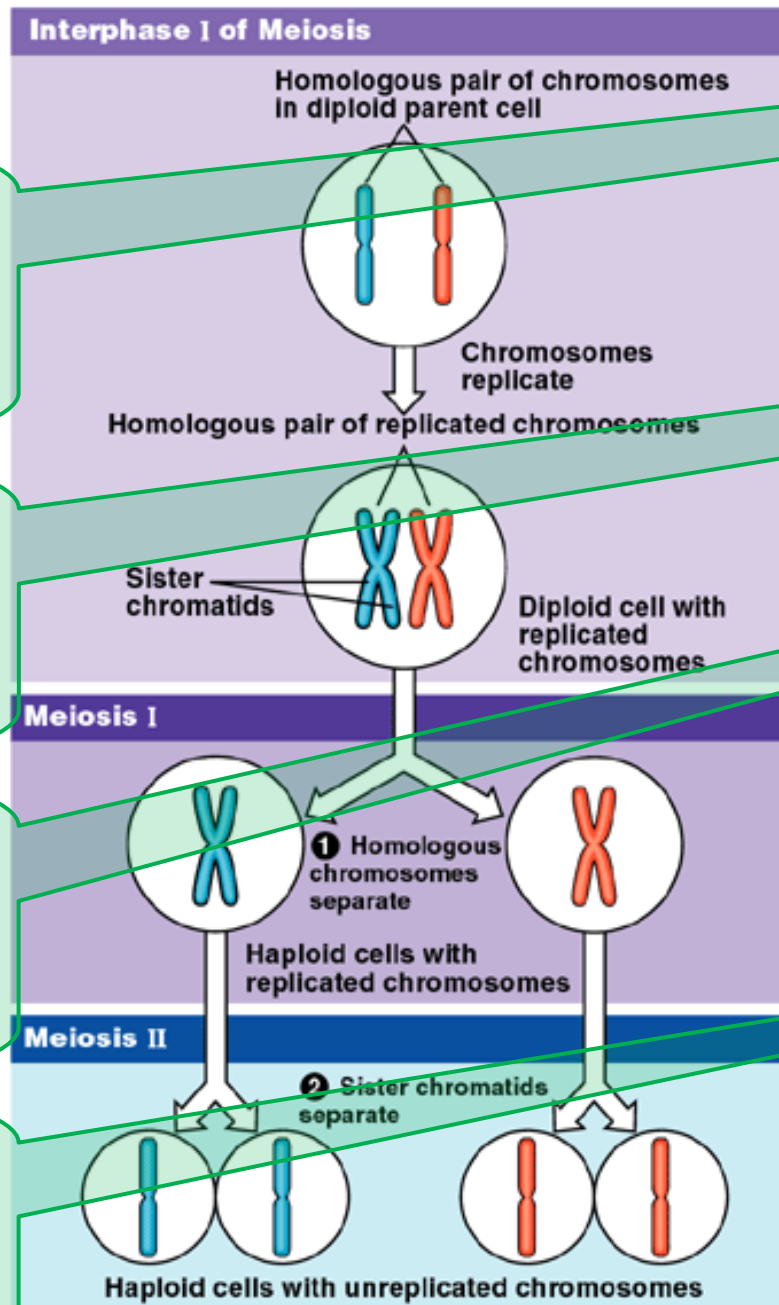
# Meióza - přehled

Mateřské jádro obsahuje  $2n$  chromozomů. Vždy dva **HOMOLOGNÍ** nesou stejné geny. Jeden chromozom z páru pochází od otce a druhý od matky.

V S-fázi dochází k replikaci dsDNA, každý chromozom tvořen dvěma sesterskými chromatidami. Každá obsahuje identickou dsDNA. Chromozomy dvouchromatidové.

Po meióze I. Dochází k segregaci celých dvouchromatidových chromozomů. Počet chromozomů se redukuje v každém jádře na  $n$ . Každý tvořen dvěma sesterskými chromatidami.

Při meióze II. Se chromozomy podélně dělí a rozcházejí se jednochromatidové chromozomy. Každá ze dvojice sesterských chromatid putuje do jednoho dceřiného jádra



# Meióza - fáze

## ○ Heterotypické dělení meiózy

### 1) Profáze

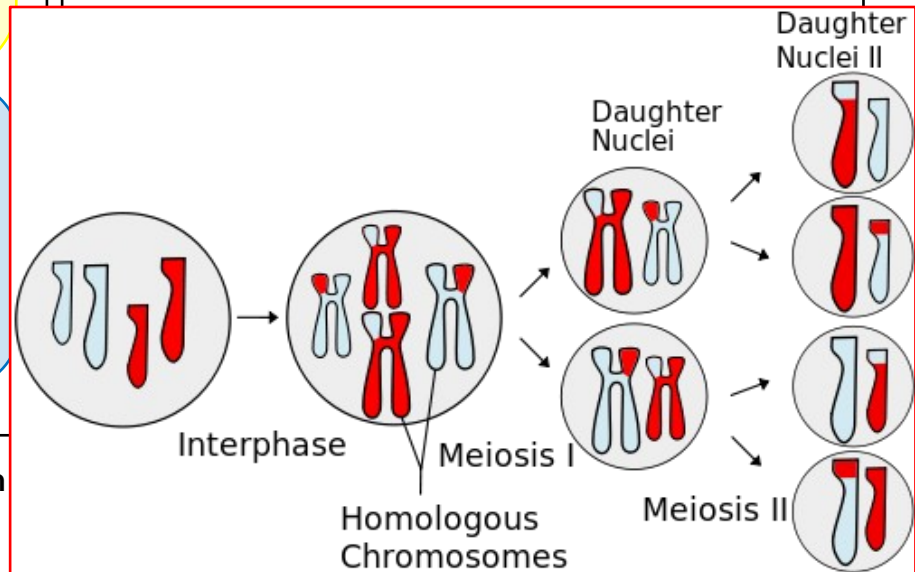
1. Leptotene
2. Zygotene
3. Pachytene

4. Diplotene
5. Diakineze

### 2) Metafáze

## ○ Homeotypické dělení meiózy

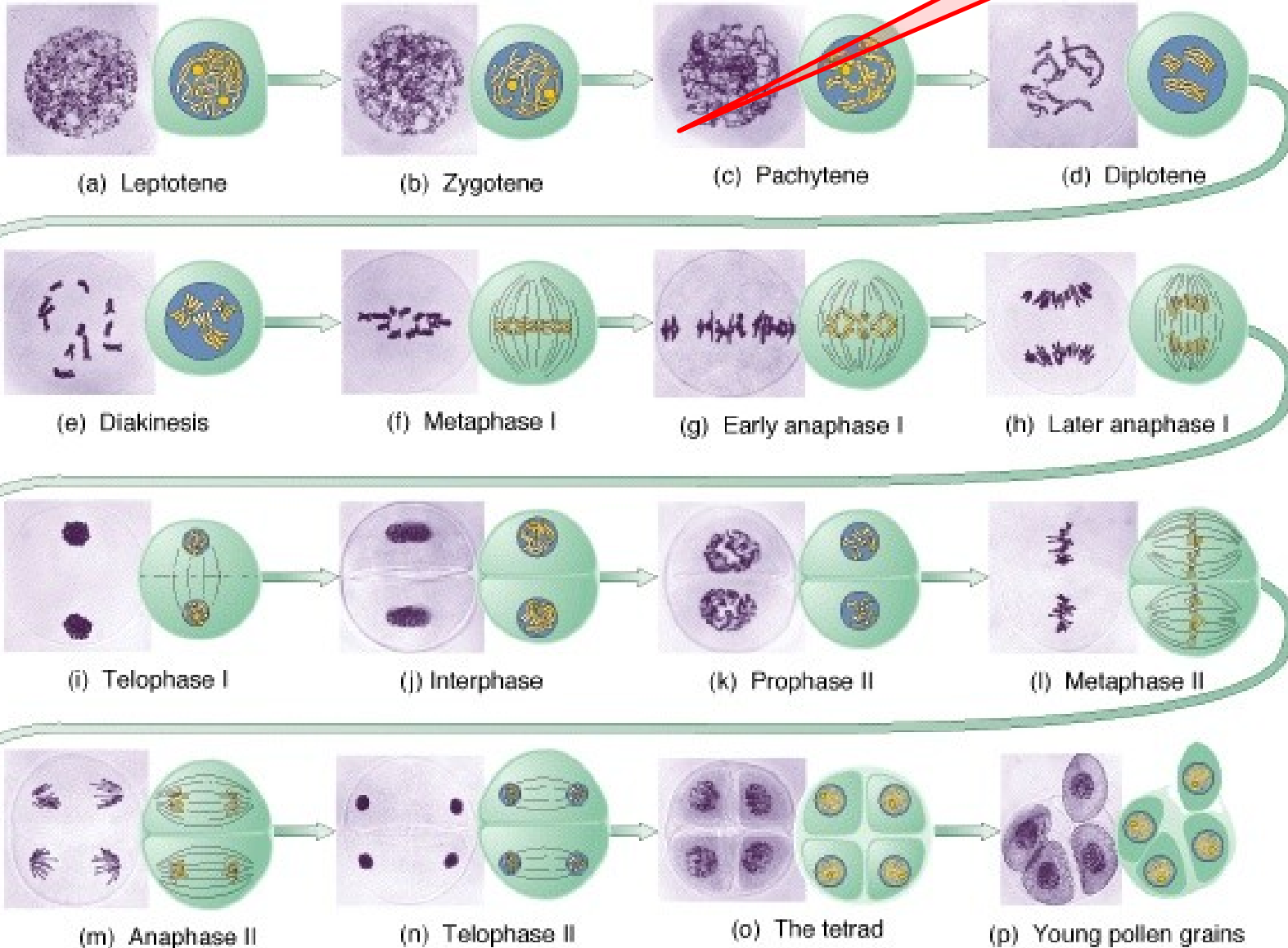
- 1) Profáze
- 2) Metafáze
- 3) Anafáze
- 4) Telofáze





# Fáze Meiózy

PROFÁZE I.



# Meióza - profáze i.

## leptotene

- ◉ Chromozomy málo spiralizované - začátek kondenzace.
- ◉ Počet chromozomů diploidní, **uspořádány polárně**, směřují svými konci k pólům jaderné membrány, kde se nalézá dosud **nerozdělený centrozom**.



Leptotene

10 μm

## ZYGotene

- ◉ Pokračuje spiralizace.
- ◉ Homologické chromozomy, se k sobě **paralelně přikládají** a šroubovitě se kolem sebe otáčejí. Vytvářejí vláknitý útvar označovaný jako **bivalent**.

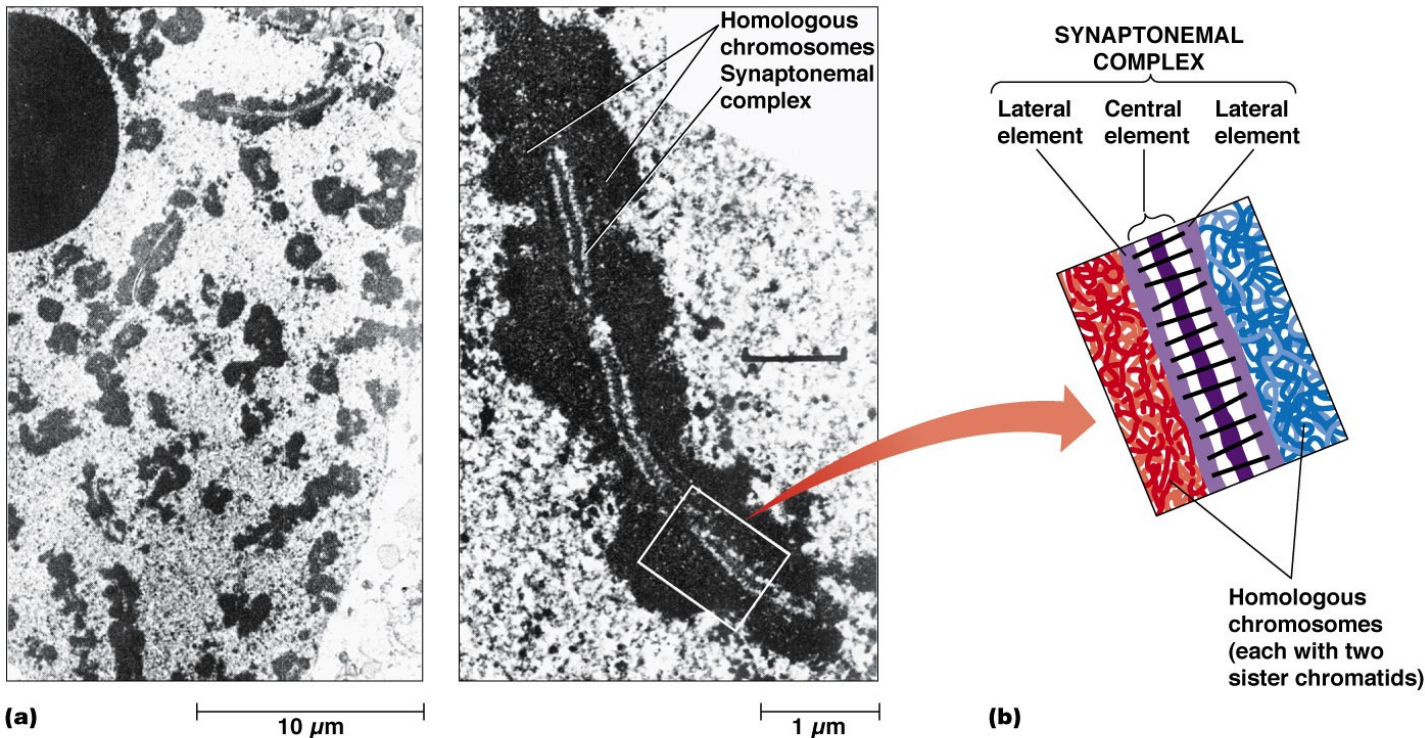


Zygotene

# Meióza - profáze i.

## ZYGotene

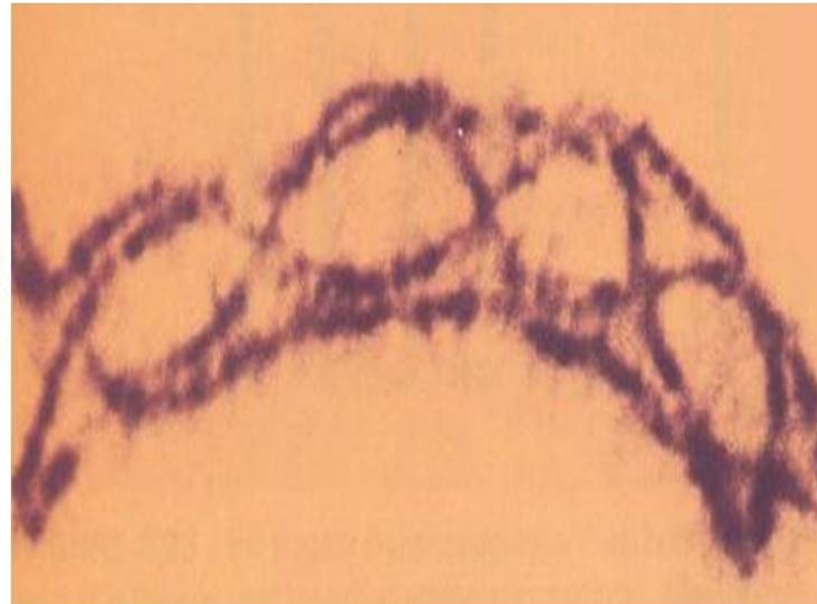
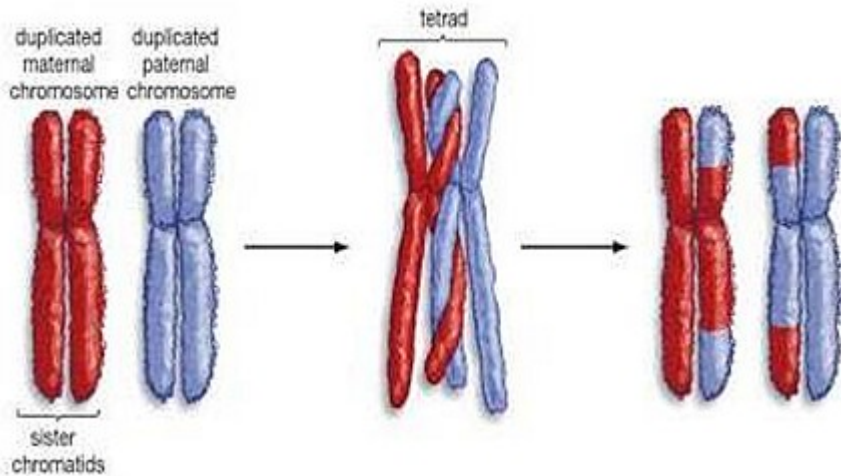
- Homologní chromozomy v bivalentu drženy **synaptonemálním komplexem**. Ten je tvořen proteinovou kostrou, ke které je z každé strany přiložen jeden z homologních chromozomů.



# Meióza - profáze i.

## Crossing over (rekombinace)

- ◉ Proces při kterém může být část maternální chromatidy zaměněna za odpovídající fragment homologní paternální chromatidy.
- ◉ Proces zvyšující genetickou variabilitu u sexuálně se rozmnožujících organismů.



# Meióza - profáze i.

## pachytene

- ◉ Bivalent se dále **pokračující spiralizací chromozomů zkracuje a stlušťuje.**
- ◉ Lze pozorovat dvouchromatidovou strukturu chromozomů v bialentech.
- ◉ Bivalent tvořen čtyřmi chromatidami - **chromatidová tetráda**. Dvě vždy sesterské (patří k témuž chromozomu a jsou spojeny společnou a nerozdělenou centromerou).
- ◉ Nesesterské chromatidy synaptovaných chromozomů se kolem se obtácejí a proplétají se mezi sebou.

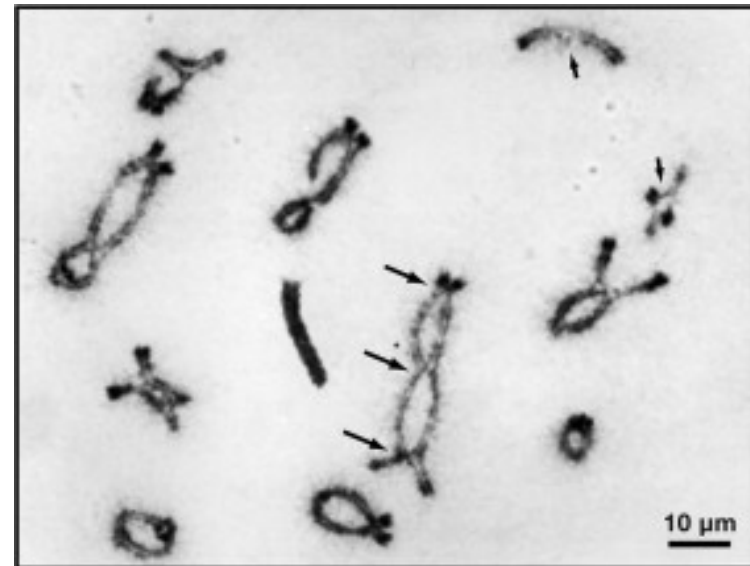


Pachytene

# Meióza - profáze i.

## diplotene

- Odpuzování chromozomů v bivalentu mimo místa, kde jsou vlákna DNA vzájemně překřížena. Tato místa se nazývají **chiasmata** (podle písmene řecké abecedy s názvem chí  $\Gamma$ ).
- Každý pár chromozomů může být překřížen jednou nebo vícekrát. Bivalenty nyní v jádře zaujímají co nejvzdálenější postavení blízko jaderné blány.

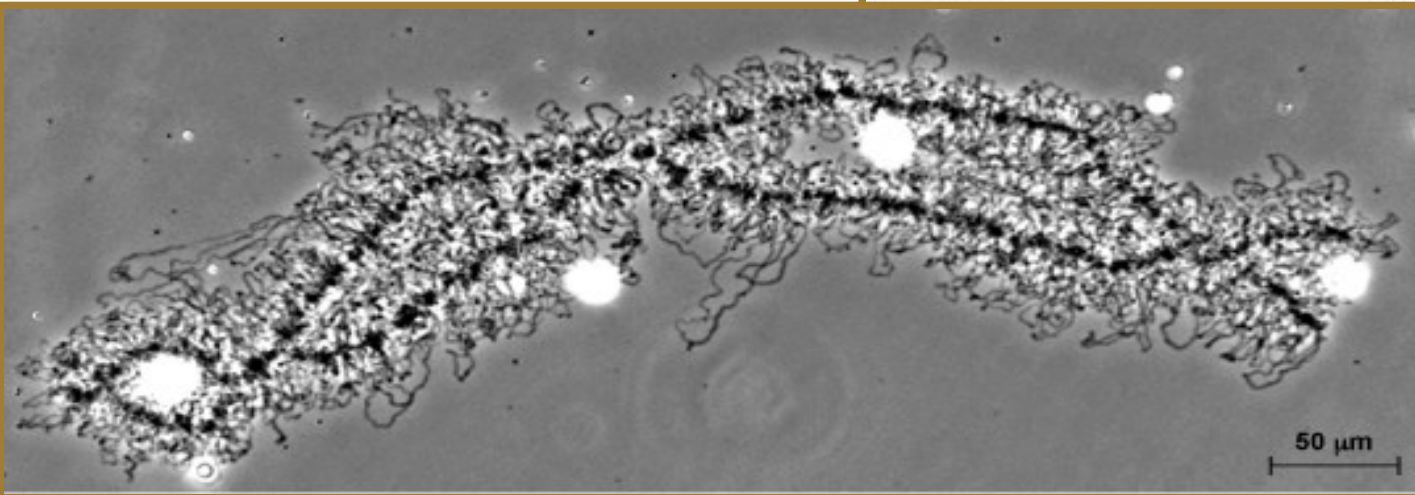
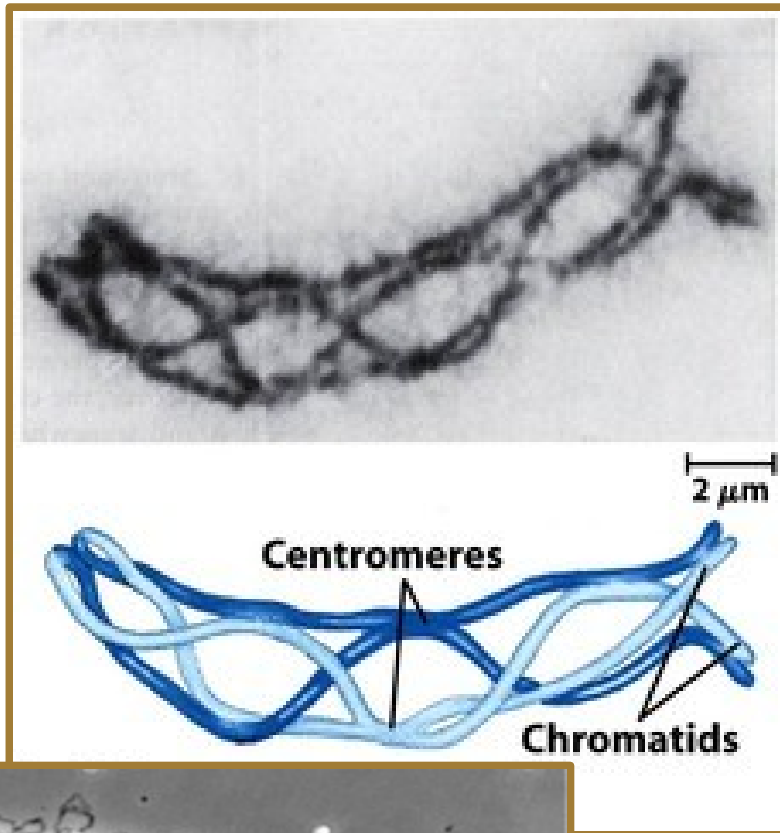


# chiasmata



<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/C/Chiasmata013.jpg>

[http://o.quizlet.com/zdQID.a-oL5oBu-x965H8w\\_m.jpg](http://o.quizlet.com/zdQID.a-oL5oBu-x965H8w_m.jpg)



<http://www.specialneedsdigest.com/2012/11/short-dna-strands-in-genome-may-be-key.html>

# Meióza - profáze i.

## DIAKINEZE

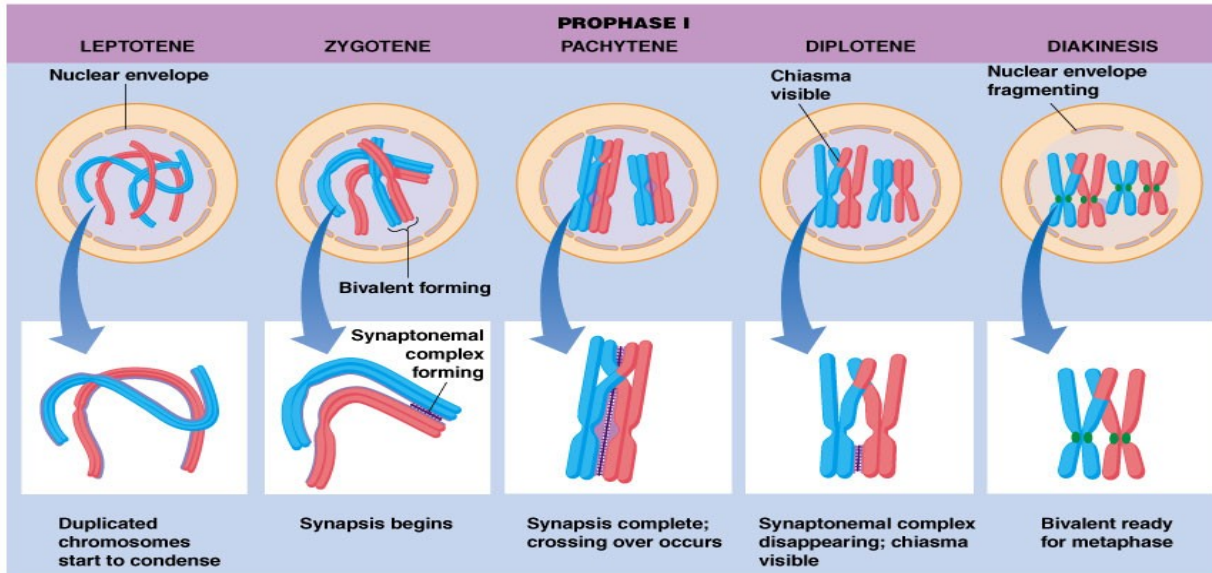
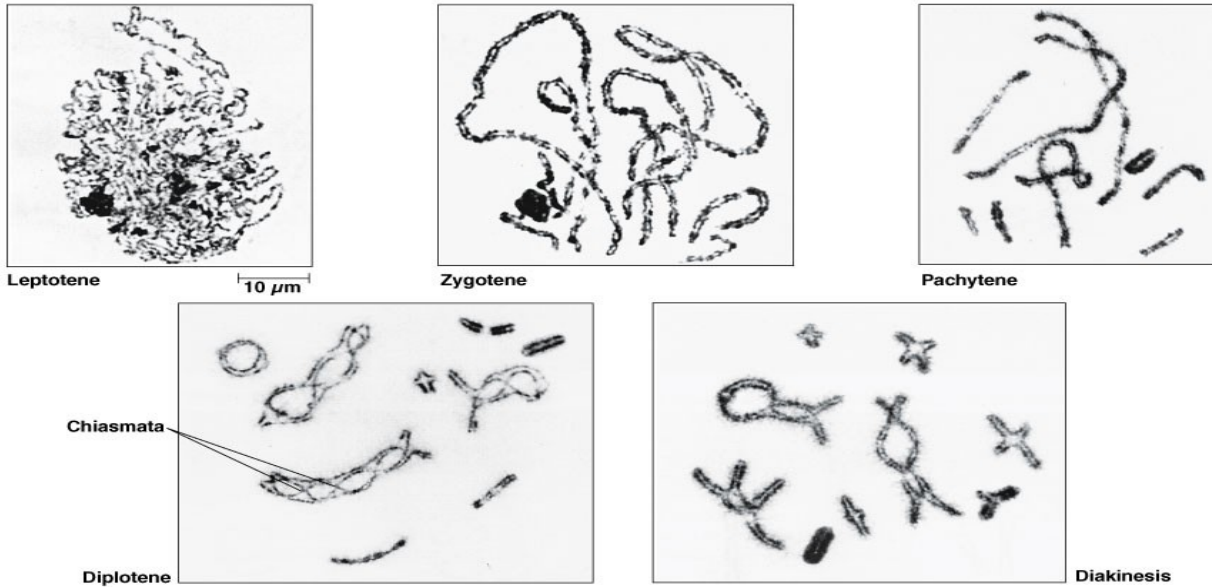
- ⊙ Postupně se oddalují centromerické oblasti homologních chromozomů, chiazmata se posouvají ke koncům chromatid - **terminalizace chiazmat**.
- ⊙ **Bivalenty** s maximálně terminalizovanými chiazmaty se **rozcházejí** ze středu k okraji jádra.
- ⊙ Jadérka mizí, jaderná membrána se rozpadá do váčků ER a vytváří se meiotické dělicí vřeténko.



Diakinesis

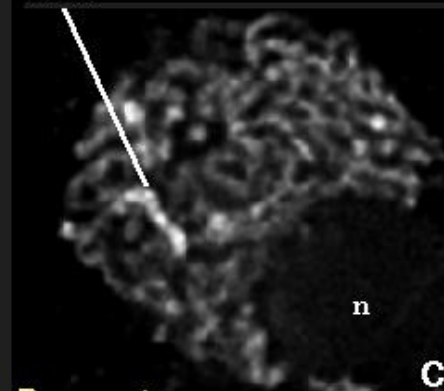
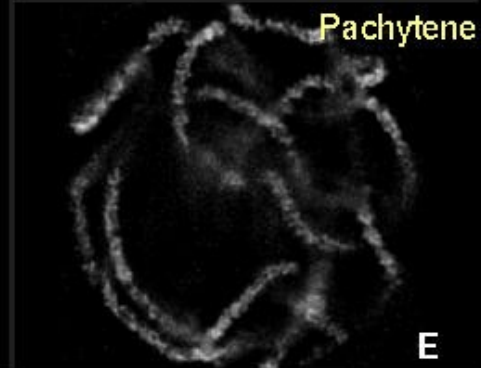
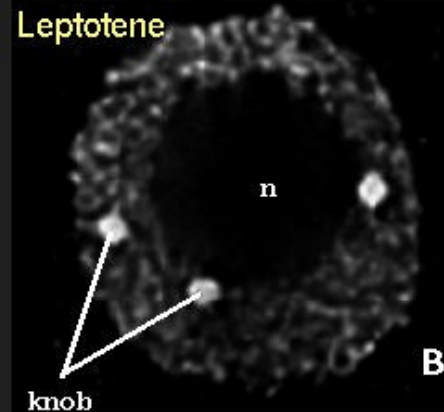
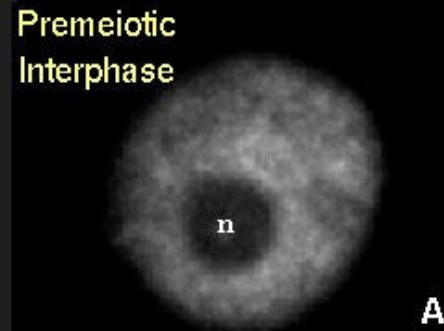


# Profáze I. - souhrn



# Profáze I. - souhrn

DAPI-Stained, Formaldehyde-Fixed Maize Male Meiotic Nuclei.  
Single Optical Sections After 3-D Deconvolution

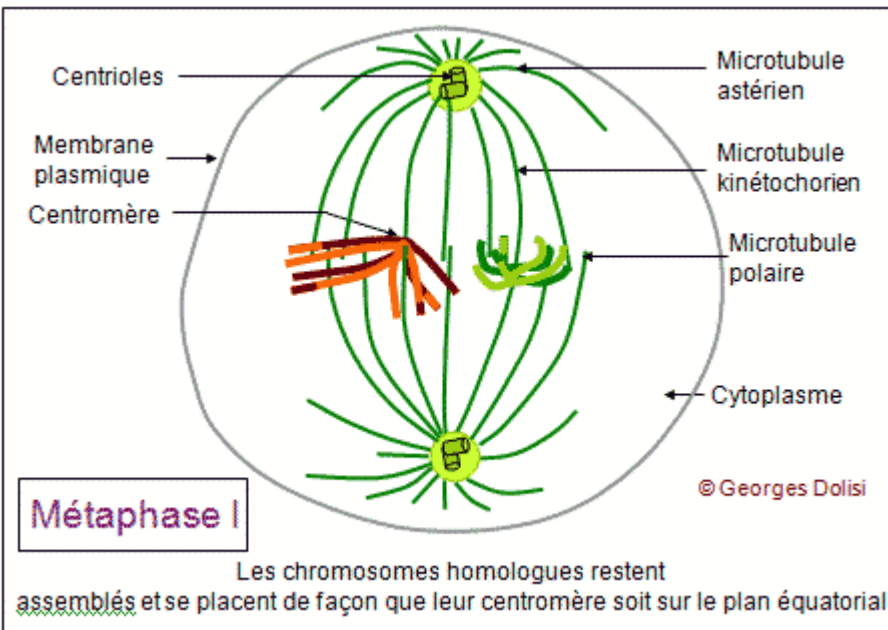


[http://preuniversity.grkraj.org/html/2\\_CELL\\_DIVISION.htm](http://preuniversity.grkraj.org/html/2_CELL_DIVISION.htm)

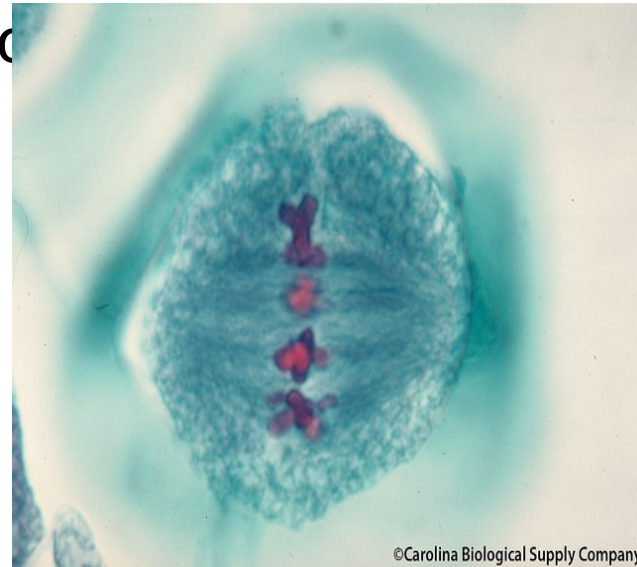
Hank W. Bass & R. Kelly Dawe  
Sedat & Cande Labs

# Meióza - metafáze i.

- ◉ Chromozomy jsou seřazeny v **ekvatoriální rovině**, **homologní chromozomy stále v bivalentech**.
- ◉ Kinetochorové mikrotubuly jednoho centrozomu jsou napojeny ke kinetochoru jednoho z homologních chromozomů, mikrotubuly druhého centrozomu jsou připevněny ke kinetochoru

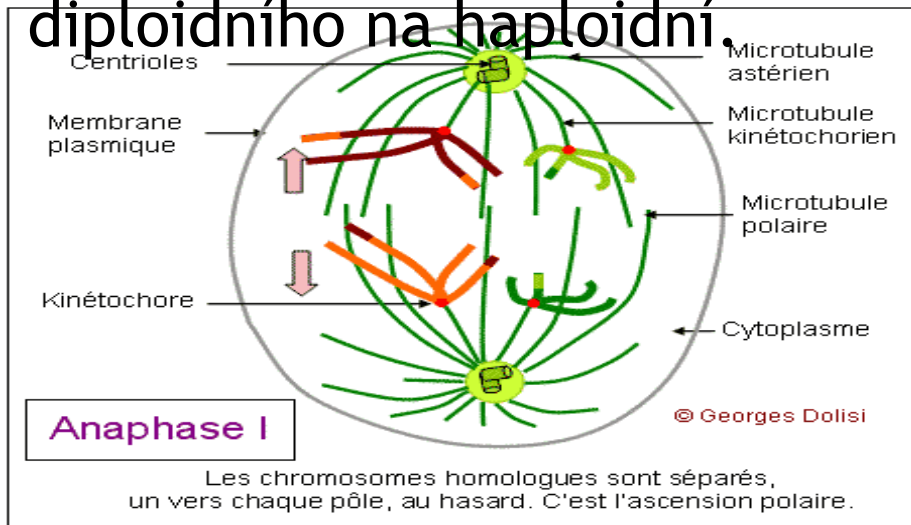


chro



# Meióza - ANAfáze i.

- ◉ **Dvouchromatidové homologní chromozomy** v bivalentech, napojené na kinetochorové mikrotubuly, se uvolní.
- ◉ Jednotlivé **chromozomy se podélně nerozdělují** (rozdíl od mitózy). Celé chromozomy se rozestupují k protilehlým pólům dělicího vřeténka.
- ◉ U každého pólu se tedy shromažďuje poloviční počet chromozomů. Nastala redukce počtu chromosomů z diploidního na haploidní.

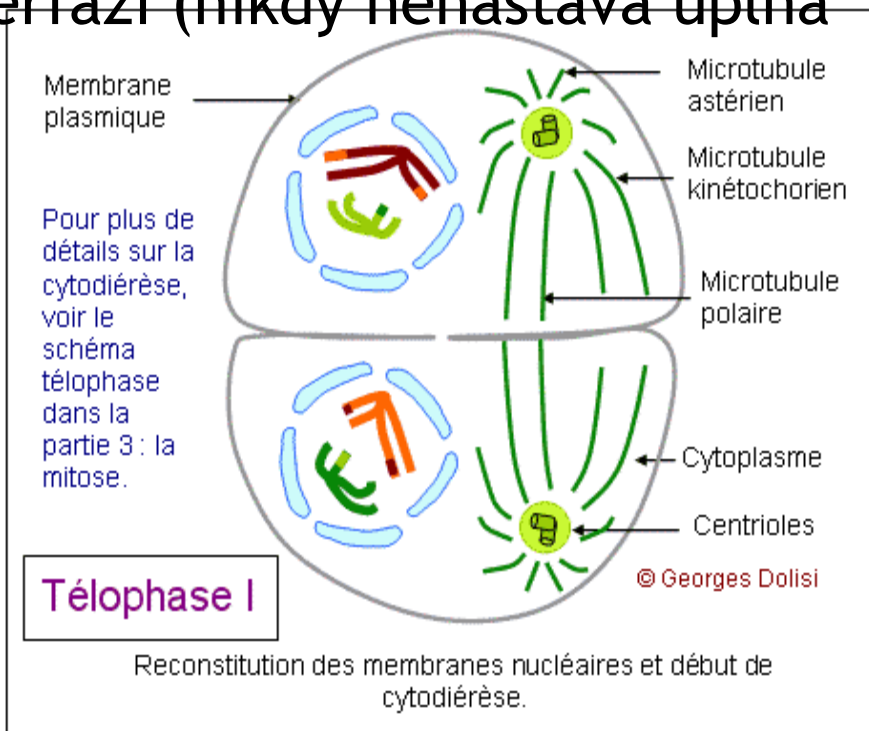
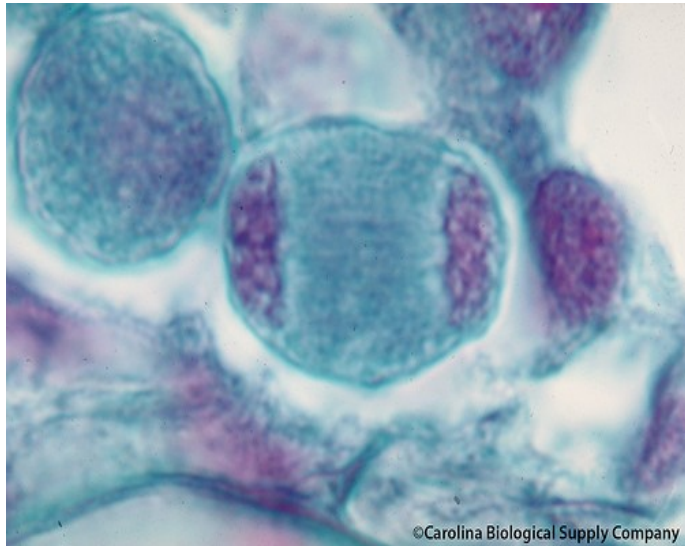


<https://c1.staticflickr.com/7/6152/>

[6240924955\\_245bd6b25d\\_z.jpg](https://c1.staticflickr.com/7/6152/6240924955_245bd6b25d_z.jpg)

# Meióza - telofáze i.

- ◉ Chromozomy se částečně despiralizují, objeví se jadérko i jaderná membrána.
- ◉ Vznikají dvě jádra, a tím i dvě buňky s **haploidním počtem chromozomů**. Většinou na pozdní anafázi navazuje přímo profáze homeotypického dělení. Někdy jsou obě fáze odděleny interfází (nikdy nenastává úplná despiralizace chromosomů).



# meiÓza I - souhrn

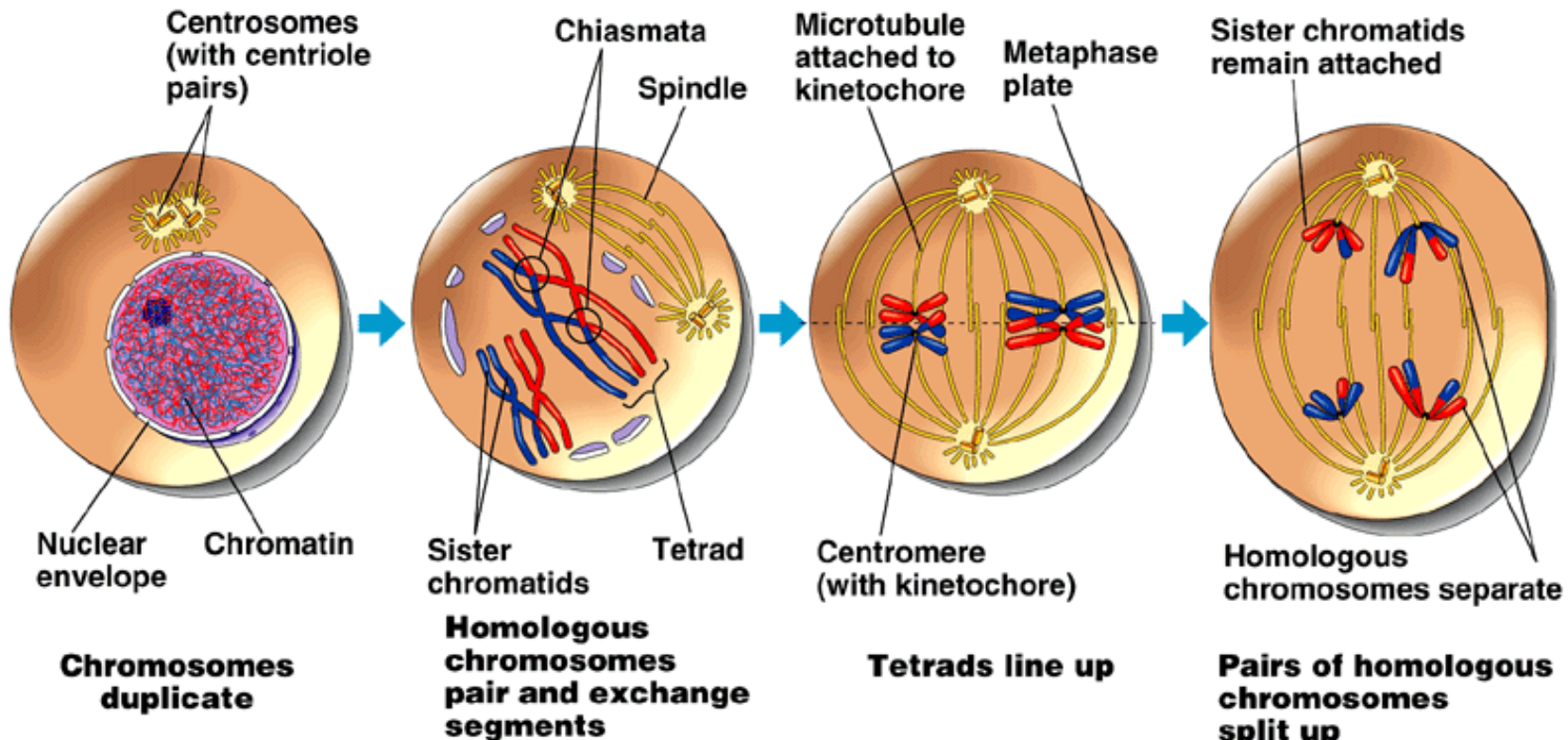
## MEIOSIS I: Separates homologous chromosomes

INTERPHASE

PROPHASE I

METAPHASE I

ANAPHASE I



# Meióza - profáze II.

- ◉ Mizí jadérka i jaderné membrány.
- ◉ **Spiralizace chromozomů** - zkrácení a ztlušťování chromatid.
- ◉ **Centrioly** se přesunují k opačným pólům buňky, **tvorba dělicího vřeténka** pro druhé meiotické dělení.

# Meióza - metafáze II.

- ◉ Centromery **dvouchromatidových** chromozomů obsahují dva kinetochory, které se napojují k kinetochorovým mikrotubulům dělicího vřeténka.
- ◉ Řadí se v **ekvatoriální rovině**, která je otočena o 90° stupňů ve srovnání s meiózou I.



©Carolina Biological Supply Company

[http://farm7.static.flickr.com/6049/6240929921\\_be2626d0c1.jpg](http://farm7.static.flickr.com/6049/6240929921_be2626d0c1.jpg)



©Carolina Biological Supply Company

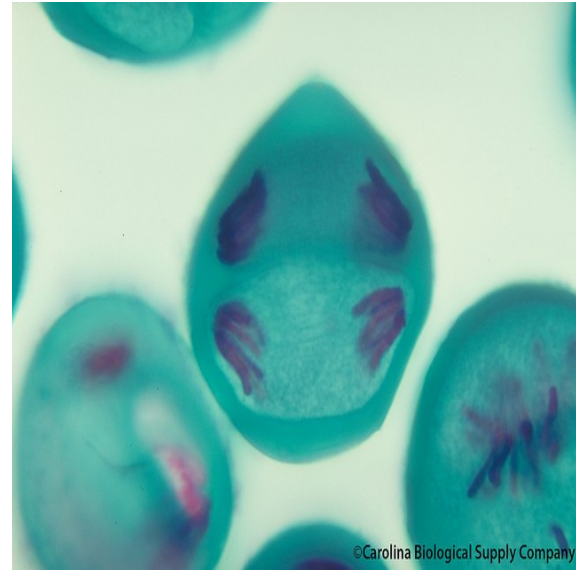
[https://c1.staticflickr.com/7/6214/6241444992\\_6f1beeb3bb\\_z.jpg](https://c1.staticflickr.com/7/6214/6241444992_6f1beeb3bb_z.jpg)

# Meióza - ANAfáze II.

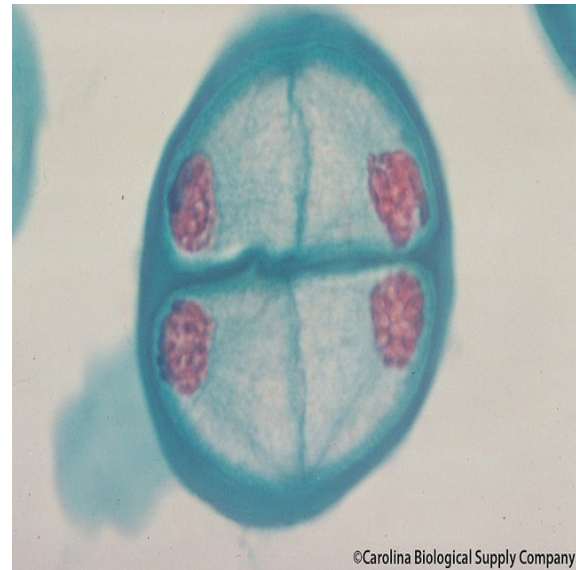
- ◉ Chromozomy se v oblasti centromer **podélně dělí.**
- ◉ Kinetochorové mikrotubuly napojené ke kinetochorům táhnou sesterské chromatidy od sebe.
- ◉ Sesterské chromatidy, nyní už sesterské chromozomy se rozcházejí k pólům dělicího vřeténka.

# Meióza - telofáze II.

- ◉ Despiralizace chromozomů, zánik dělicího vřeténka.
- ◉ Novotvorba jaderné membrány.
- ◉ Cytokinezí vznik celkem čtyř dceřiných buněk, každá s haploidní chromozomální výbavou.



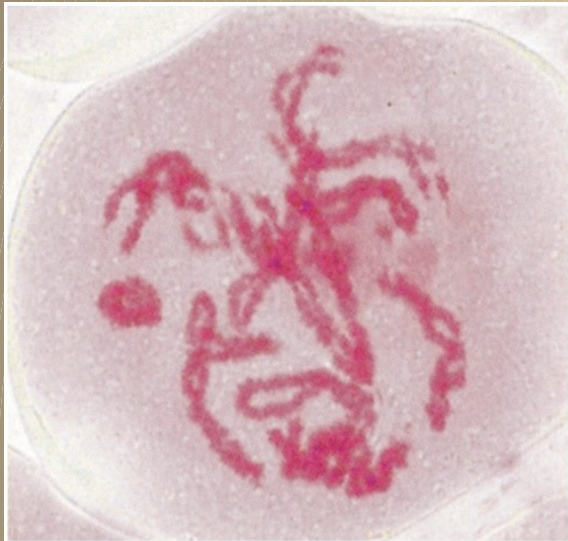
[https://c1.staticflickr.com/7/6170/6241450806\\_d6665d806d\\_z.jpg](https://c1.staticflickr.com/7/6170/6241450806_d6665d806d_z.jpg)



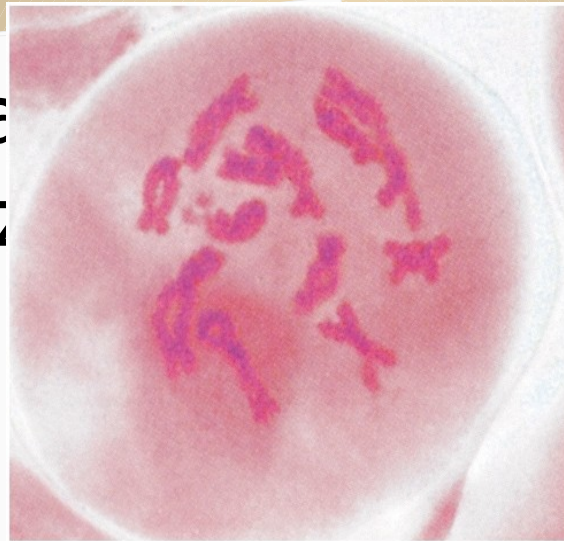
<https://c1.staticflickr.com/7/6093/>



# Meióza – heterotypické dělení



© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service



© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service



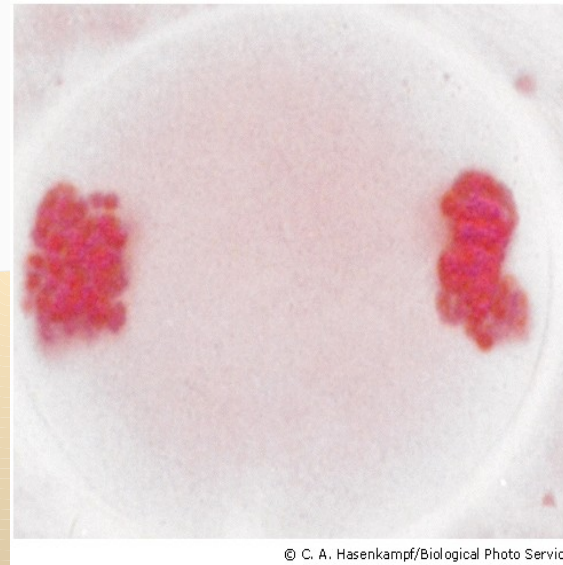
© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service

profáze I.

metafáze I.



© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service



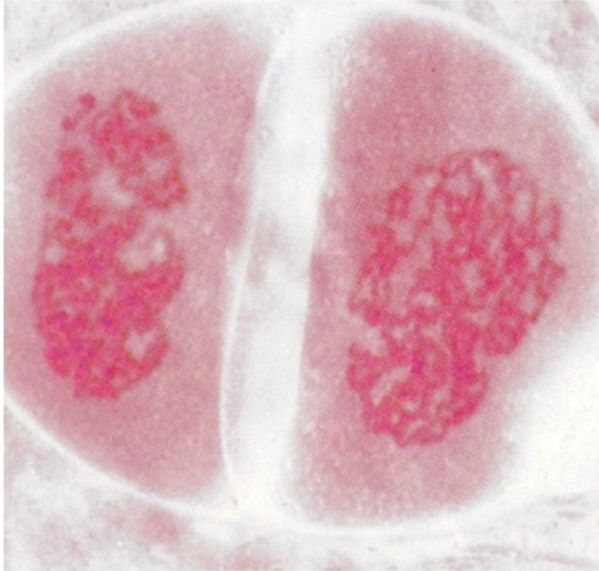
© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service

<https://smartsite.ucdavis.edu/access/content/user/0002950/bis10v/week4/13meiosis events.html>

anafáze I.

telofáze I.

# Meióza – homeotypické dělení



a ikonu  
zek.

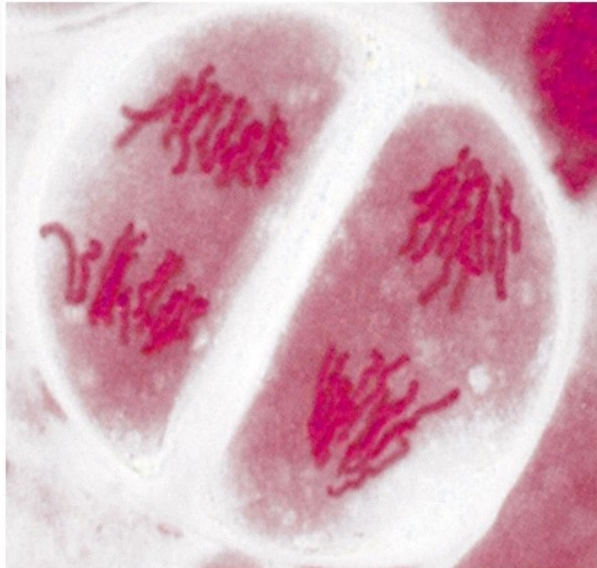
profáze II.

© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service



metafáze II.

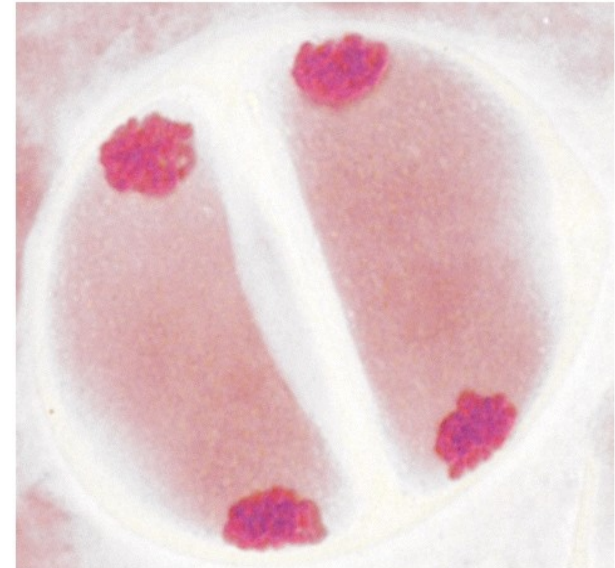
© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service



[https://smartsite.ucdavis.edu/access/content/user/0002950/bis10v/week4/13meiosis\\_events.html](https://smartsite.ucdavis.edu/access/content/user/0002950/bis10v/week4/13meiosis_events.html)

anafáze II.

© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service



telofáze II.

© C. A. Hasenkampf/Biological Photo Service

# meiÓza II - souhrn

## MEIOSIS II: Separates sister chromatids

TELOPHASE I  
AND CYTOKINESIS

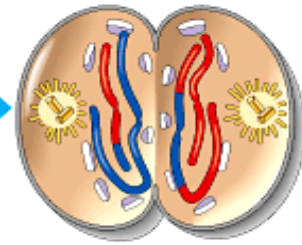
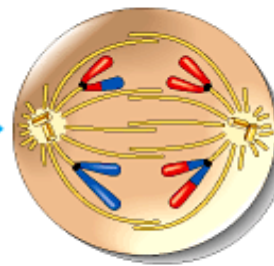
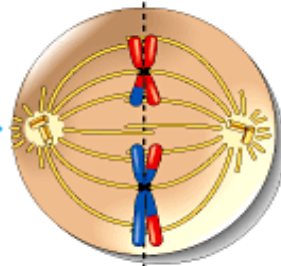
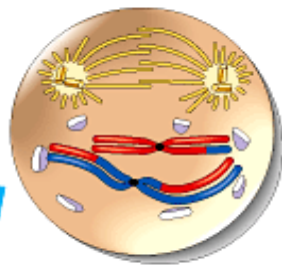
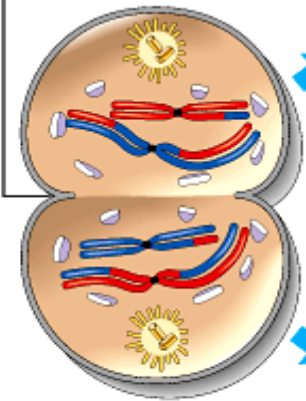
PROPHASE II

METAPHASE II

ANAPHASE II

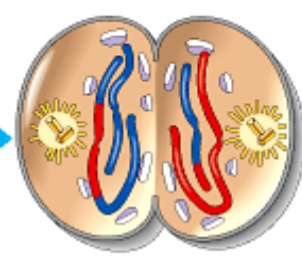
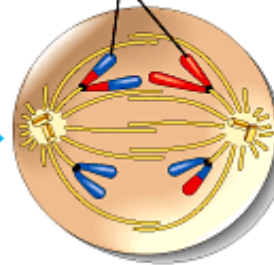
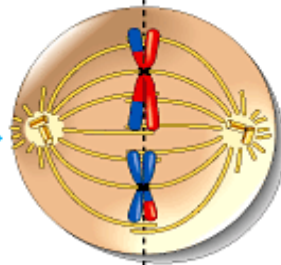
TELOPHASE II  
AND CYTOKINESIS

Cleavage  
furrow



Sister chromatids  
separate

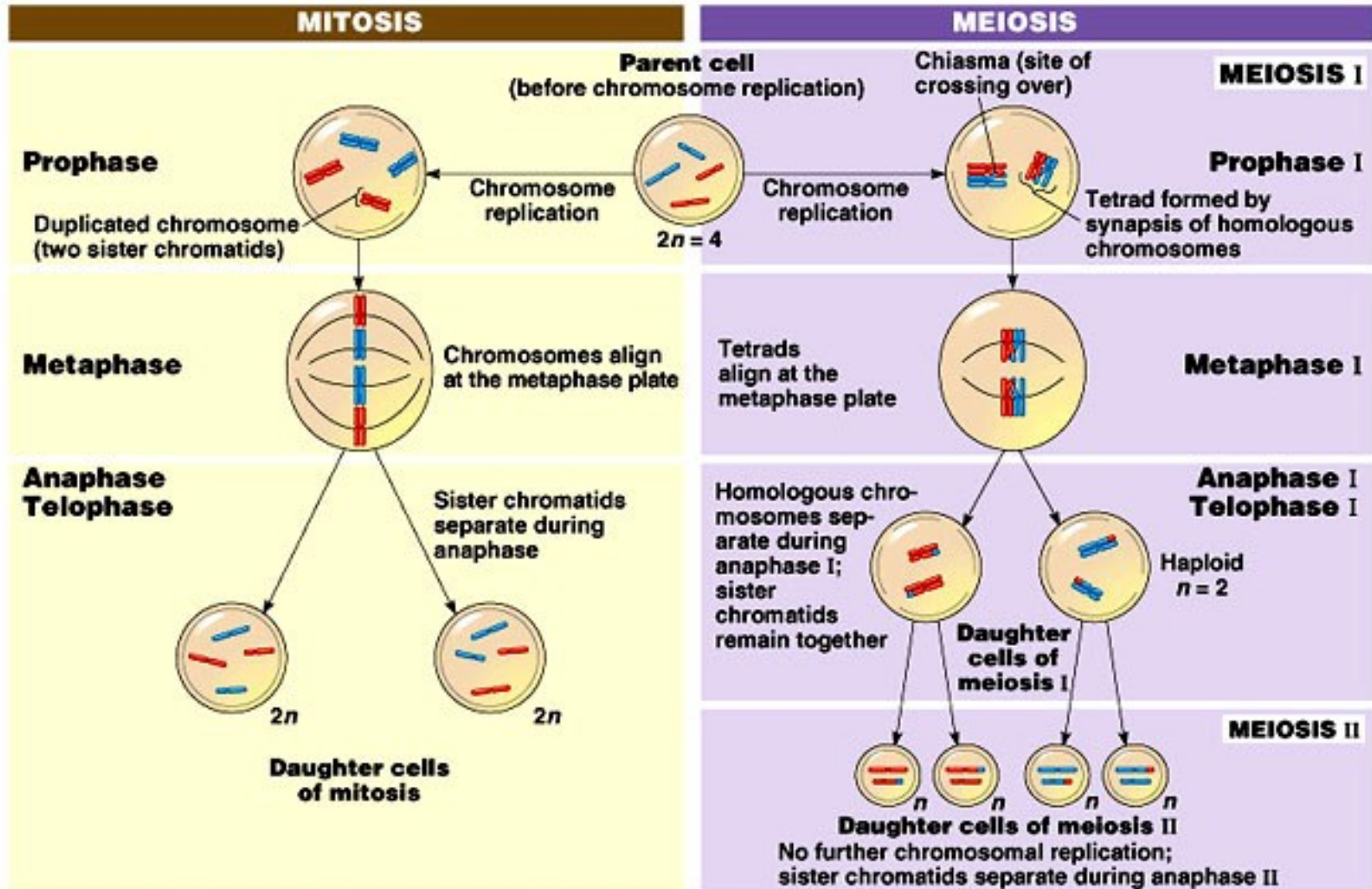
Haploid daughter  
cells forming



Two haploid cells  
form; chromosomes  
are still double

During another round of cell division, the sister chromatids finally separate; four haploid daughter cells result, containing single chromosomes

# Srovnání mitózy a meiózy



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.