

## Μέρος III

## ΤΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΤΗΣ ΦΑΣΗΣ Μ

**ΓΕΝΙΚΑ:** Στη φάση Μ του κυτταρικού κύκλου αναδιοργανώνονται οι περισσότερες κυτταρικές δομές μέσω Cdk1/κυκλίνης Β

- Στην Μίτωση ή Διάρθρωση του Πυρήνα (Μ):
  - α. τα χρωμοσώματα συμπυκνώνονται
  - β. ο πυρηνικός φάκελλος αποσυναρμολογείται
  - γ. ο κυτταροσκελετός (κυτταρόπλασμα) αναδιοργανώνεται για σχηματισμό της μιτωτικής ατράκτου
  - δ. τα χρωμοσώματα μετακινούνται σε αντίθετους πόλους
  - ε. ο χρωμοσωμικός διαχωρισμός ακολουθείται από κυτταρική διάρθρωση ή την κυτταροκίνηση

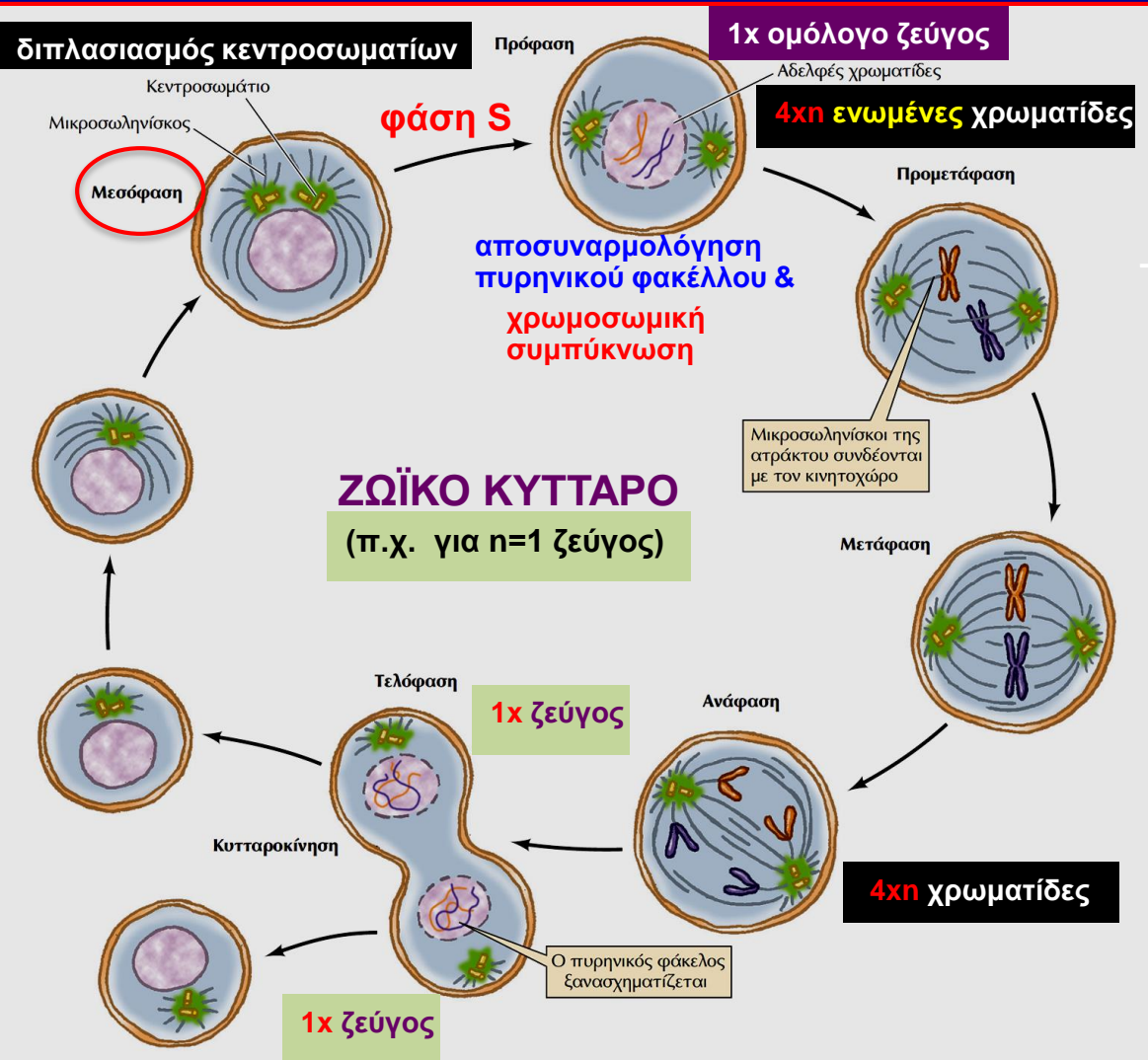
### Τα χαρακτηριστικά & Στάδια της Μίτωσης

- Ο αριθμός χρωμοσωμάτων στους ευκαρυώτες είναι  $2n$ , αλλά μετά την S είναι  $4n$
- Με τη Μίτωση τα κύτταρα διαιρούνται αλλά ο τελικός αριθμός χρωμοσωμάτων παραμένει  $2n$
- Μετά τη S τα διπλασιασμένα χρωμοσώματα & ενωμένα στο κεντρομερές, ονομάζονται χρωματίδες
- Στους ευκαρυώτες, οι διαδικασίες διαχωρισμού των αδελφών χρωματίδων είναι συντηρημένες

- Η Μίτωση διακρίνεται από 4 Στάδια:
  1. Την Πρόφαση
  2. Την Μετάφαση
  3. Την Ανάφαση &
  4. Την Τελόφαση

- Στην ΑΡΧΗ της ΠΡΟΦΑΣΗΣ: τα χρωμοσώματα είναι **συμπυκνωμένα** με **2 αδελφές χρωματίδες** (θυγατρικά μόρια DNA της φάσης S), **συνδεδεμένες στο ΚΕΝΤΡΟΜΕΡΕΣ**

- Στο **κεντρομερές προσδέονται πρωτεΐνες** για τον σχηματισμό του Κινητοχώρου, θέση πρόσφυσης των **μικροσωληνίσκων της μιτωτικής ατράκτου**



- Τα **Κεντροσωμάτια** διαχωρίζονται & μετακινούνται σε αντίθετους πόλους (*είχαν διπλασιασθεί στη Μεσόφαση*)

- Με τα κεντροσωμάτια σχηματίζεται η **άτρακτος**, στο τέλος της Πρόφασης

**Στη ΠΡΟΜΕΤΑΦΑΣΗ:**

- Οι χρωμοσωμικοί **κινητοχώροι** προσανατολίζονται στους πόλους & συνδέονται με μικροσωληνίσκους

- Τα χρωμοσώματα **στοιχίζονται στη Μεταφασική πλάκα**, στο μέσο της ατράκτου

Τα στάδια Μίτωσης ζωϊκών κυττάρων

## Στη ΜΕΤΑΦΑΣΗ

- Τα κύτταρα παραμένουν για λίγο χρόνο στον ισημερινό πριν εισέλθουν στην Ανάφαση
- Η μετάβαση στην Ανάφαση: αρχίζει με τη **διάσπαση των συνδέσμων** των αδελφών χρωματίδων

## Στην ΑΝΑΦΑΣΗ

- Οι αδελφές χρωματίδες **μετακινούνται στους αντίθετους πόλους**

## Στη ΤΕΛΟΦΑΣΗ

- Ολοκληρώνεται η Μίτωση
- Οι πυρήνες **ανασχηματίζονται** & τα χρωμοσώματα **αποσυμπυκνώνονται**

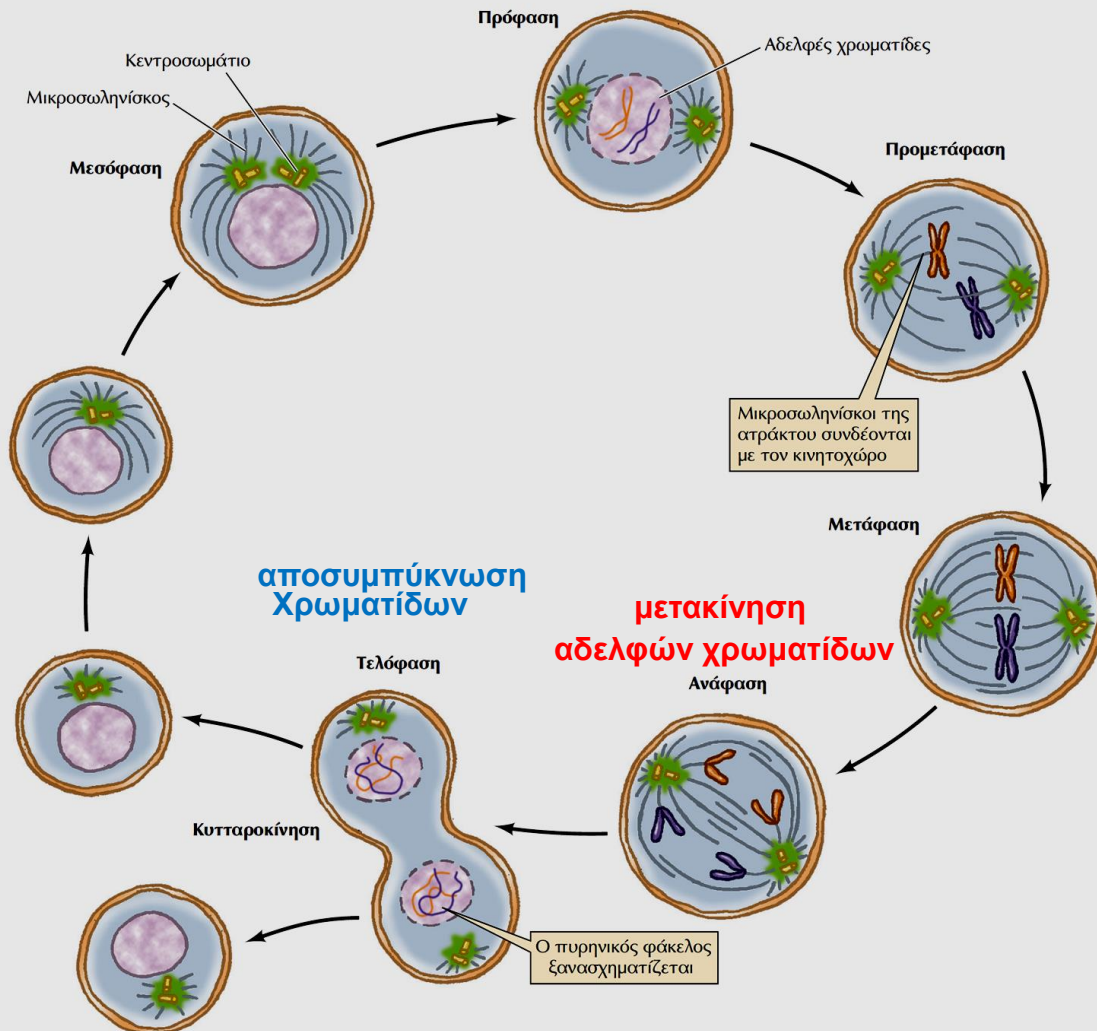
## Η ΚΥΤΤΑΡΟΚΙΝΗΣΗ

- Αρχίζει** στο τέλος της Ανάφασης & **ολοκληρώνεται** στο τέλος της Τελόφασης

- Με την κυτταροκίνηση σχηματίζονται **2 μεσοφασικά θυγατρικά κύτταρα**

- Τα κύτταρα **αναδιοργανώνονται**

Τα στάδια Μίτωσης ζωικών κυττάρων



# Τα στάδια της Μίτωσης με μικροσκοπία Φθορισμού

## Μίτωση κυττάρων πνεύμονα Τρίτωνα

### ΔΟΜΕΣ

Χρωματίνη: μπλέ

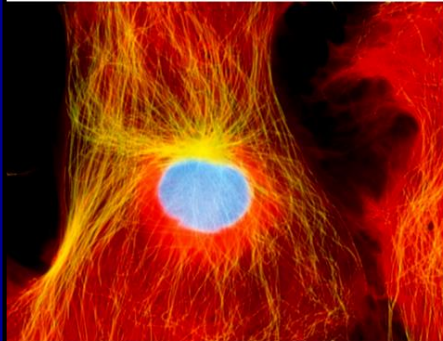
Κερατίνη: κόκκινη  
(κυτταροσκελετός)

Μικροσωληνίσκοι: πράσινοι

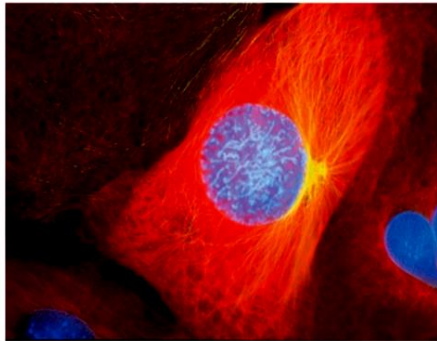
(κίτρινοι σε κόκκινο περιβάλλον)

### Μίτωση

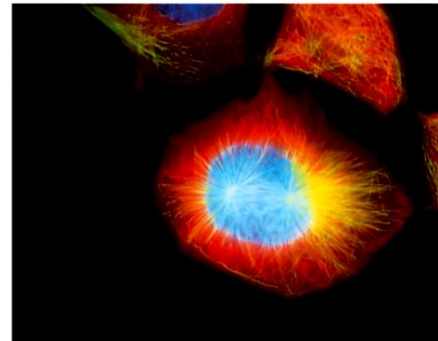
#### Μεσόφαση



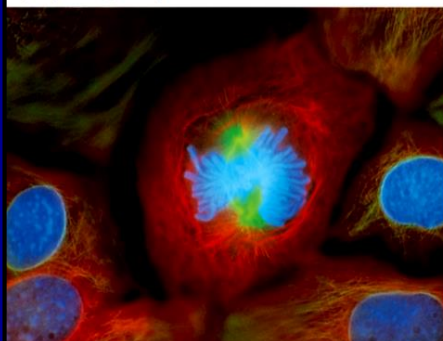
#### Αρχή πρόφασης



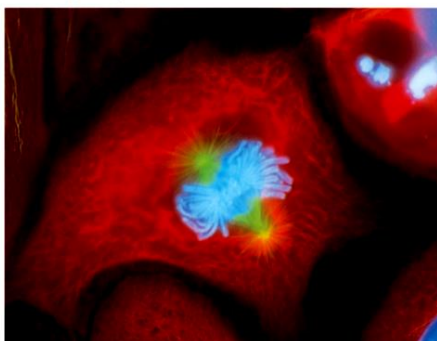
#### Προχωρημένη πρόφαση



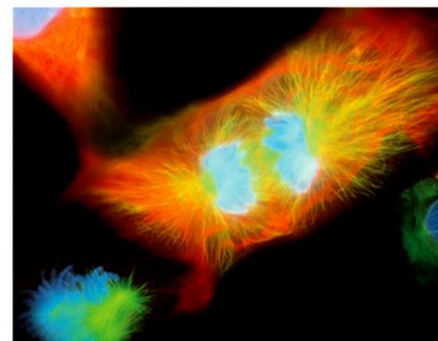
#### Προμετάφαση



#### Μετάφαση



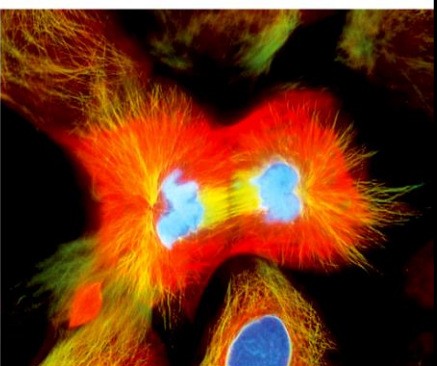
#### Αρχή ανάφασης



#### Προχωρημένη ανάφαση



#### Τελόφαση



Τρίτωνα: Αλπικό αμφίβιο (δράκος)



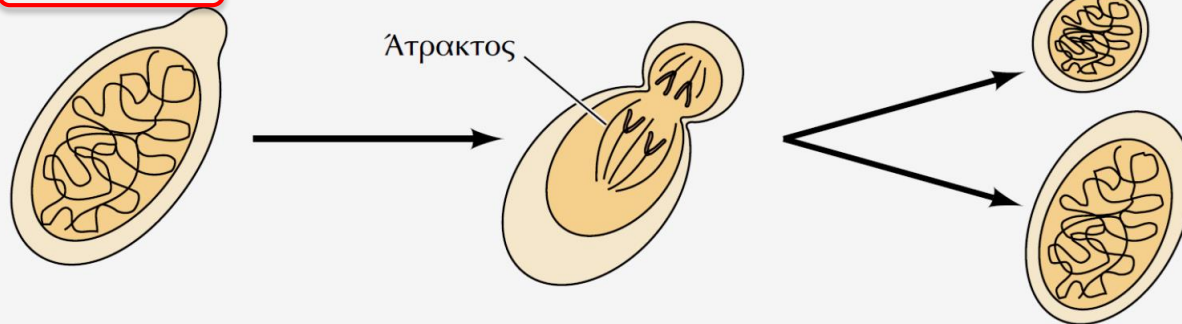
## Τύποι Μίτωσης σε Ευκαρυωτικούς οργανισμούς

-Ωρισμένοι μονοκύτταροι οργανισμοί (π.χ. Ζυμομύκητες) παρουσιάζουν **Κλειστή Μίτωση**

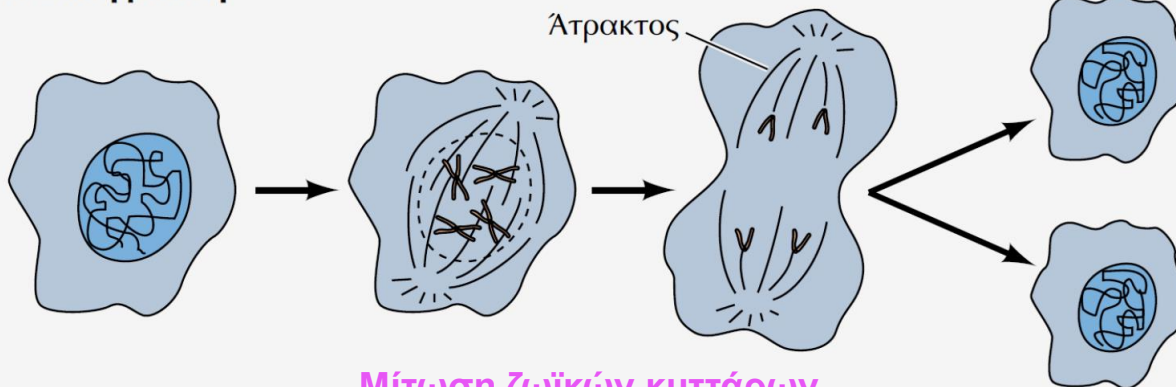
### Στη Κλειστή Μίτωση:

1. Ο Πυρηνικός φάκελλος διατηρείται **ανέπαφος**
2. Τα θυγατρικά χρωμοσώματα μετακινούνται στους **αντίθετους πόλους**
3. Τα **πολικά σωμάτια** (πόλοι ατράκτου) είναι **ενσωματωμένα στο πυρηνικό φάκελλο**
4. Ο πυρήνας διαιρείται μετά τη **μετανάστευση των χρωμοσωμάτων** στους πόλους της ατράκτου

Κλειστή μίτωση



Ανοικτή μίτωση



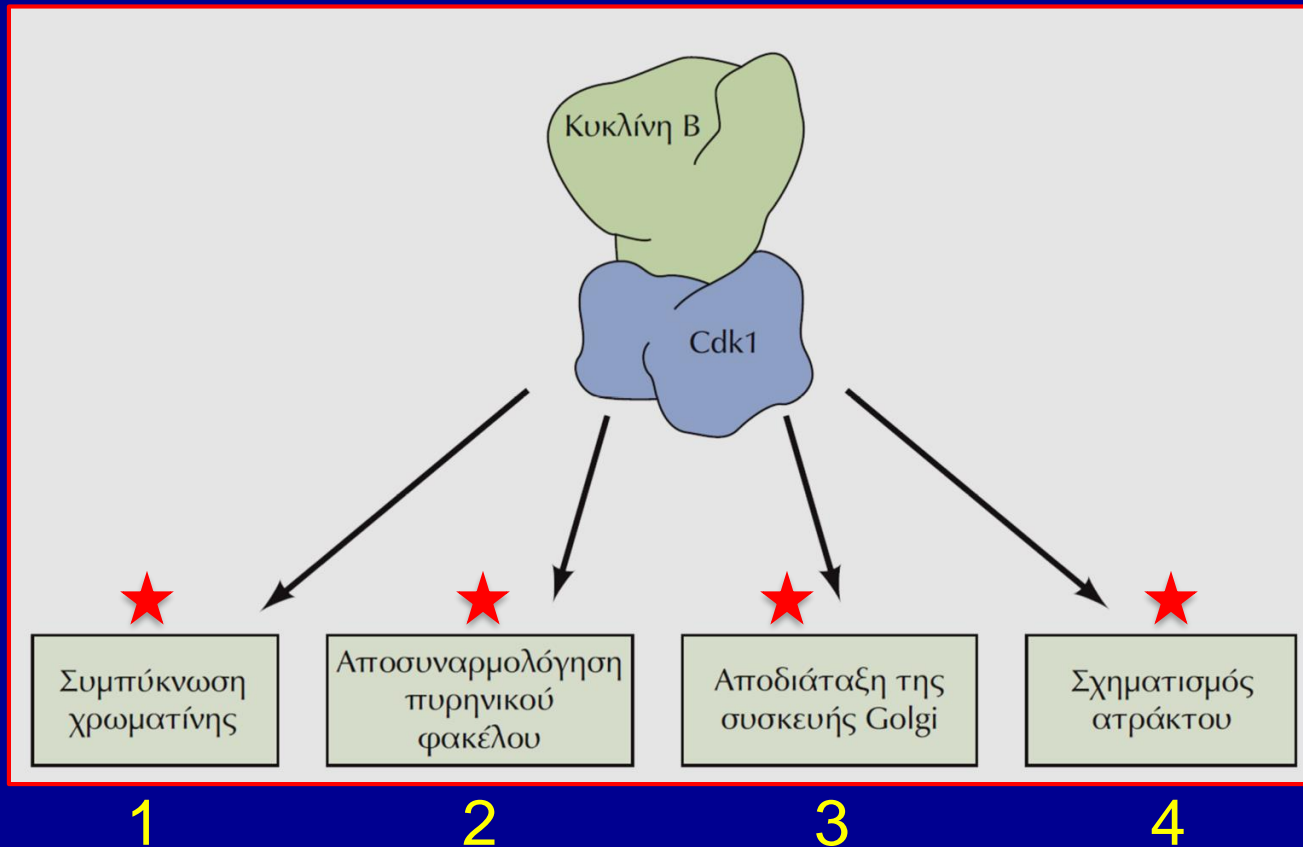
Μίτωση ζωικών κυττάρων

Αναπαράσταση  
Κλειστής & Ανοικτής Μίτωσης

## Το σύμπλοκο Cdk1/Κυκλίνης Β (MPF) & η Πρόοδος της Μίτωσης

- Στη Μίτωση ολόκληρη η κυτταρική δομή αλλάζει και αναδιοργανώνεται
- Όλες οι αλλαγές ξεκινούν με την ενεργοποίηση της πρωτεϊνικής κινάσης Cdk1/κυκλίνης Β (MPF)
- Το σύμπλοκο Cdk1/κυκλίνης Β δρά ως κύριος ρυθμιστής της μετάβασης στην φάση Μ

Η δράση του συμπλόκου Cdk1/κυκλίνης Β αφορά 4 βασικές διαδικασίες:

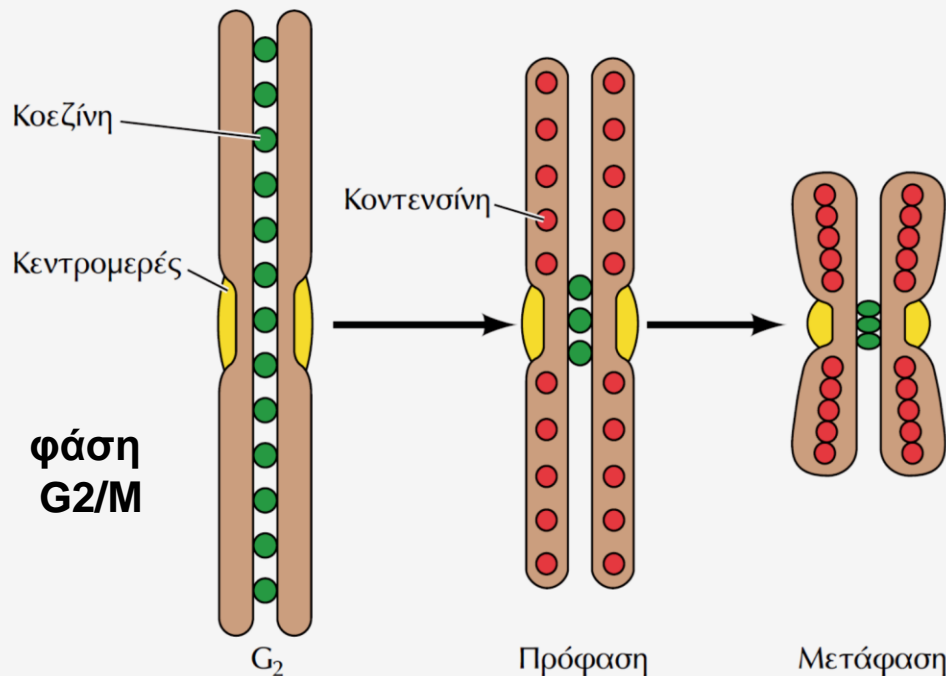


★  
Γεγονότα  
Φωσφορυλιώσεων σε  
όλες τις διαδικασίες

# 1. Η συμπύκνωση της Μεσοφασικής Χρωματίνης

- Η χρωματίνη είναι **βασική δομή των χρωμοσωμάτων** και αποτελείται: από **δίκλωνο DNA & ΙΣΤΟΝΙΚΕΣ** και **μη-ΙΣΤΟΝΙΚΕΣ** πρωτεΐνες
- Η **συμπύκνωση της χρωματίνης** συμβάλλει στο σχηματισμό των **συμπυκνωμένων χρωμοσωμάτων**, για τη **σταθερότητα & μετακίνησή** τους κατά μήκος της ατράκτου **χωρίς θραύσεις**
- Η **μεσοφασική χρωματίνη** καθίσταται **1.000-φορές πιο συμπυκνωμένη** και **δεν μεταγράφεται**
- Ο μηχανισμός συμπύκνωσης **δεν είναι γνωστός** αλλά επιτυγχάνεται από **τις Κοντενσίνες**

Οι Κοεζίνες και οι Κοντενσίνες συνεισφέρουν στο διαχωρισμό των χρωμοσωμάτων:



-Στην **S/G<sub>2</sub>**: οι **Κοεζίνες** προσδένονται στο DNA & διατηρούν τις **χρωματίδες ενωμένες**

-Στη **φάση M** ενεργοποιούνται οι **Κοντενσίνες**, που:

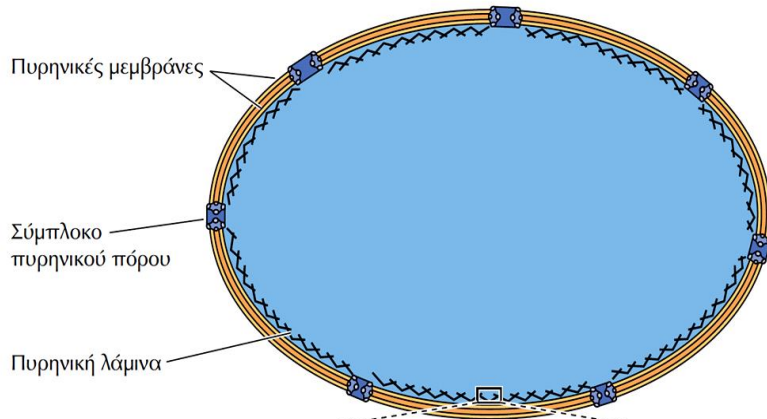
α. **αντικαθιστούν** τις **Κοεζίνες**, που διατηρούνται πλέον **μόνο** στο **ΚΕΝΤΡΟΜΕΡΕΣ**

β. **συμπυκνώνουν** την **χρωματίνη** για το σχηματισμό **μεταφασικών χρωμοσωμάτων**

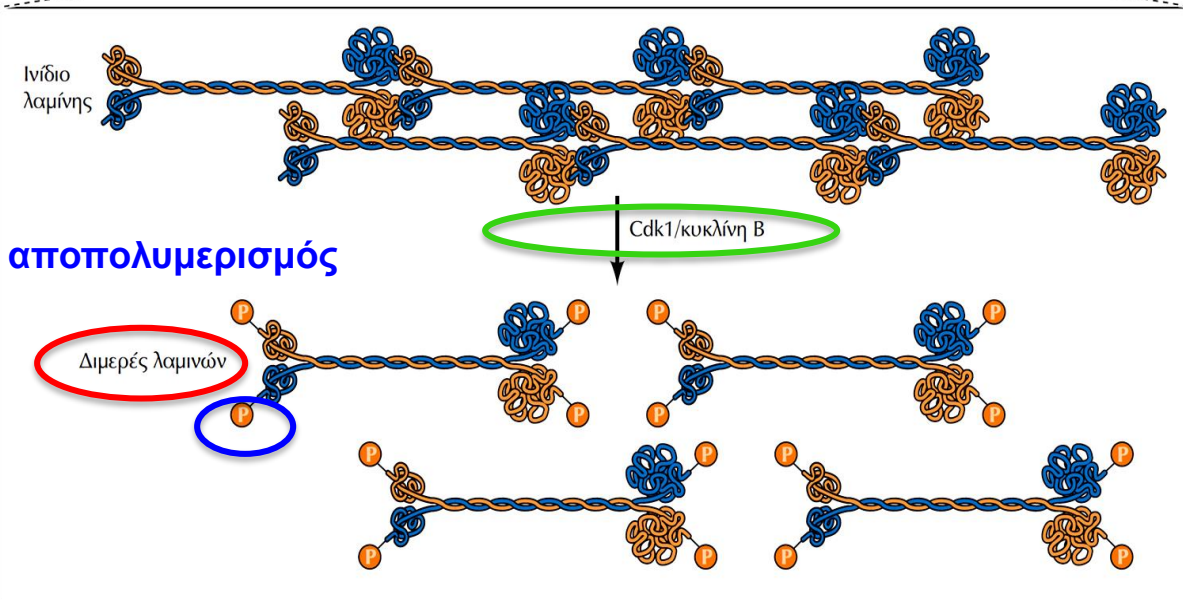


## 2. Η αποσυναρμολόγηση του Πυρηνικού Φακέλου

-Στη Μίτωση αποδιοργανώνονται & τροποποιούνται όλα τα συστατικά του Πυρηνικού Φακέλου: κατακερματίζονται οι πυρηνικές μεμβράνες, αποσυναρμολογούνται οι πυρηνικοί πόροι & αποπολυμερίζεται η πυρηνική λάμινα



### Δομή ινιδίου λάμινας



1. Ο αποπολυμερισμός της ΛΑΜΙΝΑΣ: γίνεται με φωσφορυλίωση από την Cdk1/κυκλίνη B

Η φωσφορυλίωση προκαλεί την διάσπαση των ινιδίων λάμινας σε ελεύθερα διμερή (δηλ. άμεσο αποπολυμερισμό της λάμινας)

2. Η Cdk1 φωσφορυλιώνει επίσης: πρωτεΐνες της εσωτερικής μεμβράνης & των ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Αυτό οδηγεί σε:

- αποσυναρμολόγηση των πόρων
- αποσύνδεση της εσωτερικής Πυρηνικής μεμβράνης από τις Λαμίνες & τη Χρωματίνη

### 3. Η αποδιάταξη της συσκευής Golgi

Η συσκευή Golgi είναι τμήμα του Ενδοπλασματικού δικτύου που πακετάρει πρωτεΐνες & λιπίδια

Στη Μίτωση, η συσκευή Golgi διασπάζεται σε μικρά κυστίδια που είτε:

α. απορροφούνται από το ενδοπλασματικό δίκτυο ή β. διανέμονται στα θυγατρικά κύτταρα

- Η αποδιάταξη της συσκευής Golgi προκαλείται με φωσφορυλίωση των πρωτεϊνών του, από την κινάση Cdk1 & άλλες κινάσες που ενεργοποιούνται κατά τη Μίτωση

#### Ο μηχανισμός αποδιάταξης της συσκευής Golgi

- Οι πρωτεΐνες GM130 & GRASP-65 είναι απαραίτητες για την συγχώνευση κυστιδίων με την μεμβράνη του Golgi, αλλά η φωσφορυλίωσή τους από Cdk1 αποτρέπει τη συγχώνευσή τους και έτσι προκαλείται η αποδιάταξη της συσκευής

#### 4. Ο σχηματισμός της Ατράκτου - I

- Αποτελεί κορυφαίο γεγονός της Μίτωσης:

##### A. Στη αρχή της Πρόφασης:

1. Η ενεργοποιημένη Cdk1 **επάγει** το διαχωρισμό των κεντροσωματίων (διπλασιασμένα στη S)
2. Τα κεντροσωμάτια μετακινούνται στις αντίθετες πλευρές του Πυρήνα & ωριμάζουν αυξάνοντας σε μέγεθος & δεσμεύοντας γ-τουμπουλίνη & πρωτεΐνες συγκρότησης της Ατράκτου
3. Στην ωρίμανση των κεντροσωματίων & την συγκρότηση της Ατράκτου δρούν οι κινάσες **Aurora** & οι κινάσες τύπου **Polo** που **εντοπίζονται στα κεντροσωμάτια** και παίζουν ρόλο:  
α. στο σχηματισμό της ατράκτου, β. την λειτουργία του κινητοχώρου & γ. την κυτταροκίνηση

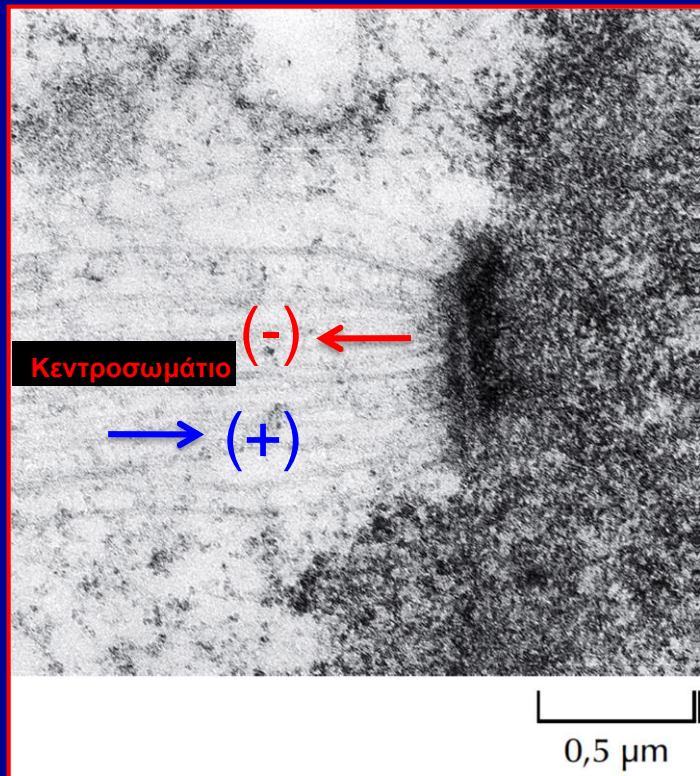
##### B. ΓΕΝΙΚΑ στη Μίτωση:

- Ο **ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ** των μικροσωληνών των κεντροσωματίων αυξάνεται 5-10 φορές
  - Η αυξημένη ανακύκλωση μικροσωληνών είναι αποτέλεσμα φωσφορυλίωσης πρωτεϊνών που συνδέονται με τους μικροσωληνούς και φωσφορυλιώνονται από τη Cdk1 ή Aurora & Polo
- Τελικά: ο **ΑΡΙΘΜΟΣ** μικροσωληνών των κεντροσωματίων αυξάνεται σημαντικά
- Οι **μεσοφασικοί μικροσωληνίσκοι** αντικαθίσταται από μεγάλο αριθμό μικροσωληνίσκων που έχουν μικρό μήκος & εκφύονται ακτινωτά από τα κεντροσώματα

## 4. Ο σχηματισμός της Ατράκτου - II

### Γ. Στη Προμετάφαση

-Η αποδιοργάνωση του πυρηνικού φακέλλου **επιτρέπει την ΣΥΝΔΕΣΗ** των μικροσωλήνων με τους **χρωμοσωμικούς κινητοχώρους** & **αρχίζει η μετακίνηση** των χρωμοσωμάτων στη Προμετάφαση

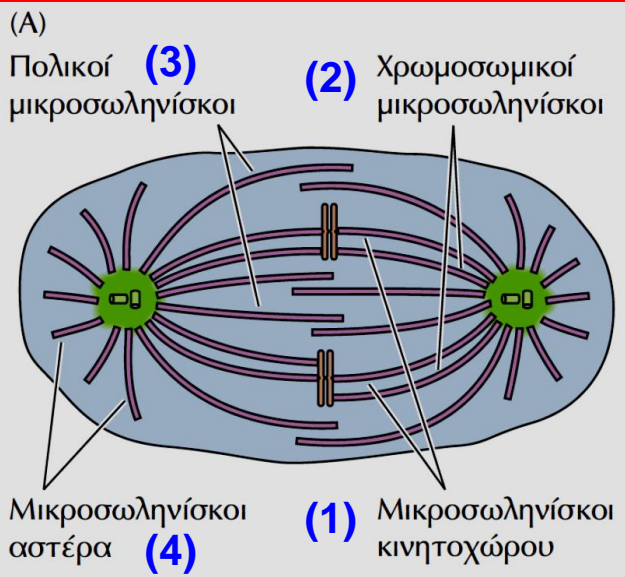


Σύνδεση μικροσωλήνων/κινητοχώρου  
με **ENA** χρωμόσωμα

Στη **ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ** εμπλέκονται **2 είδη** πρωτεϊνών του **ΚΙΝΗΤΟΧΩΡΟΥ**:

1. Οι κινητήριες πρωτεΐνες των μικροσωλήνων, **συνδεδεμένων με το κεντροσωμάτιο**, για κίνηση προς τα **ΑΡΝΗΤΙΚΑ** άκρα της ατράκτου (τους πόλους)
  2. Οι κινητήριες πρωτεΐνες που **αντιτίθενται & κατευθύνονται** προς τα **θετικά άκρα της ατράκτου** (επιμήκυνση μικροσωλήνων)
- Οι **αντίρροπες δυνάμεις**, μετακινούν τα χρωμοσώματα **παλινδρομικά** μεταξύ των κεντροσωματίων **στη ΜΕΣΗ** της ατράκτου

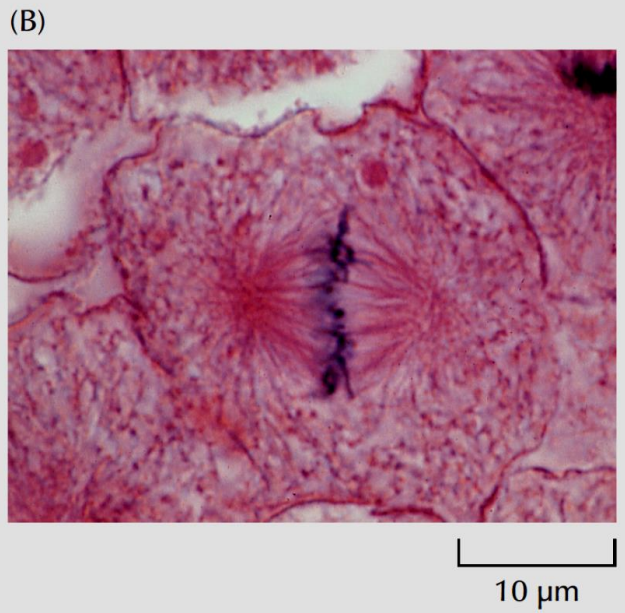
-Τελικά οι μικροσωλήνες των αντίθετων πόλων συνδέονται με τους 2 κινητοχώρους, των αδελφών χρωματίδων, που έχουν **ΑΝΤΙΘΕΤΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ**



- Η εξισορόπηση των έλξεων των μικροσωλήνων «στοιχίζει» τα χρωμοσώματα στη **Μεταφασική πλάκα**, στη μέση της ατράκτου

- Η **μεταφασική άτρακτος**, αποτελείται από 4 τύπους μικροσωλήνων:

1. του κινητοχώρου (συνδεδεμένοι με το κεντρομερές)
2. των χρωμοσωμάτων (σε περιοχές χρωμοσωμάτων)
3. οι πολικοί (μεγάλου μήκους μικροσωλήνες)
4. του αστέρα / κεντροσωματίου (μικρού μήκους μικροσωλήνες)



Κύτταρο σε Μετάφαση (Ψάρι Κορήγονος, των Salmonidae)

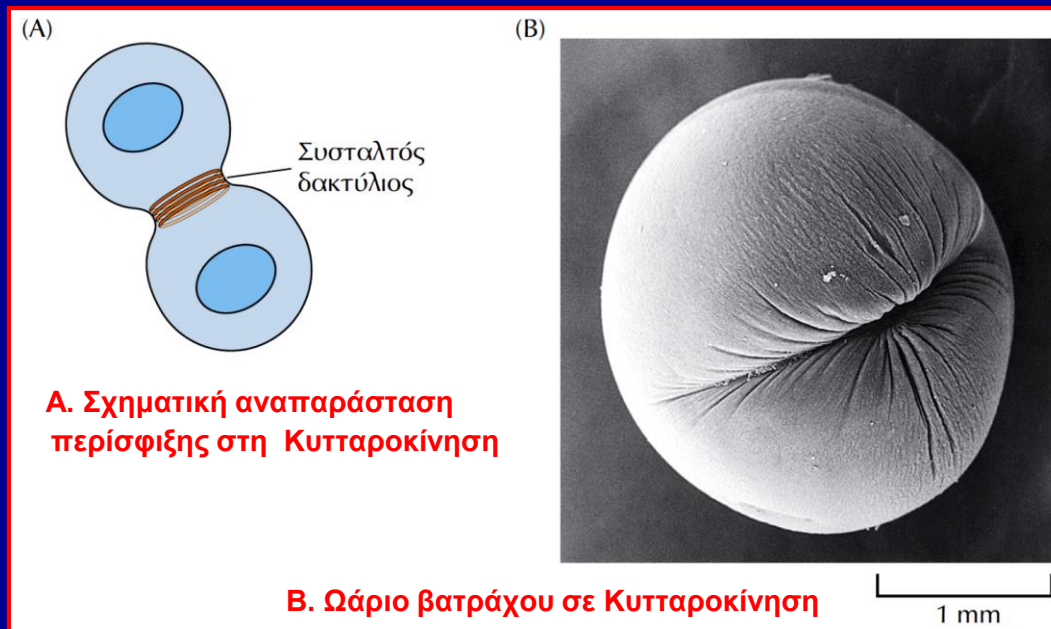
## ΟΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΑΣΗ:

- Πρίν την έναρξη της Ανάφασης όλα τα χρωμοσώματα πρέπει να είναι στοιχισμένα στη Μεταφασική Πλάκα. Αυτό διασφαλίζεται από το Σημείο Ελέγχου Συγκρότησης της Ατράκτου
- Η μετάβαση από τη Μετάφαση στη Ανάφαση γίνεται με ρυθμιζόμενη πρωτεόλυση & ουβικιτινίωση: από το Σύμπλοκο Προώθησης της Ανάφασης/Κυκλόσωμα (APC/C). Αυτό ενεργοποιείται μέσω του συμπλόκου Cdk1/κυκλίνης B, που μετά καταστρέφεται (Αυτοκαταστροφή)
- Το APC/C είναι κατεσταλμένο μέχρι το κύτταρο να διέλθει από το Σημείο Ελέγχου Συγκρότησης της ατράκτου
- Η ενεργοποίηση του APC/C παρεμποδίζεται ακόμα και εάν ΜΟΝΟ ένα χρωμόσωμα δεν έχει συνδεθεί ή τοποθετηθεί σωστά στον ισημερινό της ατράκτου
- Η λειτουργία του Σημείου Ελέγχου βασίζεται στο Σύμπλοκο πρωτεϊνών Mad/Bub που καταστέλλει τη πρωτεΐνη Cdc20, απαραίτητο συστατικό του APC/C

\* *Ανωμαλίες χρωμοσωμικού διαχωρισμού λόγω μη-φυσιολογικού Σημείου Ελέγχου της ατράκτου είναι συνηθισμένες σε καρκινικά κύτταρα, ευθυνόμενα για την ανάπτυξη όγκων*

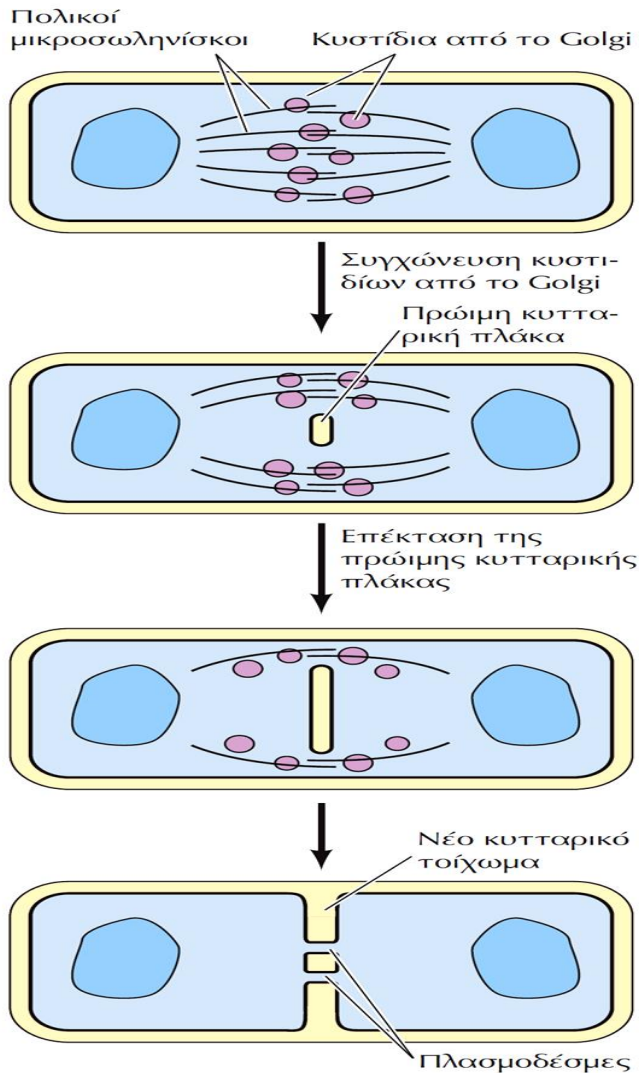
## Η Κυτταροκίνηση στα ΖΩΪΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

- Αποτελεί το τέλος της Μίτωσης για το σχηματισμό 2 θυγατρικών κυττάρων
- Αρχίζει λίγο μετά την αρχή της Ανάφασης και πυροδοτείται με την ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ της Cdk1
- Στους Ζυμομύκητες & τα Ζωϊκά κύτταρα επιτυγχάνεται με την δράση ενός Συσταλτού Δακτυλίου που αποτελείται από ινίδια ακτίνης & μυοσίνης II, κάτω από τη κυτταροπλασματική μεμβράνη
- Η θέση του Δακτυλίου: καθορίζεται από τη μεταφασική πλάκα που είναι κάθετη προς την άτρακτο
- Ο συσταλτός δακτυλίου διαίρει το κύτταρο με περίσφιξη, προς τα μέσα, μέχρι το διαχωρισμό
- Η σύνδεση θυγατρικών κυττάρων αποκόπτεται και η κάθε κυτταροπλασματική μεμβράνη κλείνει



## Η Κυτταροκίνηση στα ΦΥΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

- Ο μηχανισμός Κυτταροκίνησης είναι διαφορετικός στα ανώτερα φυτά
- Τα θυγατρικά κύτταρα **δεν** διαχωρίζονται με συσταλτό δακτύλιο, αλλά σχηματίζουν νέα κυτταρικά τοιχώματα μέσα στο κύτταρο



### Ο μηχανισμός

1. Κυστίδια Golgi μεταφέρουν συστατικά κυτταρικού τοιχώματος, που συνδέονται με μικροσωληνίσκους, στη μεταφασική πλάκα
2. Η σύντηξη των κυστιδίων δημιουργεί δομή δίσκου-πλάκας
3. Η πλάκα συγχωνεύεται με τη κυτταροπλασματική μεμβράνη
4. Τα θυγατρικά κύτταρα μετά από διαχωρισμό παραμένουν συνδεδεμένα με πλασμοδέσμες



## Μέρος IV

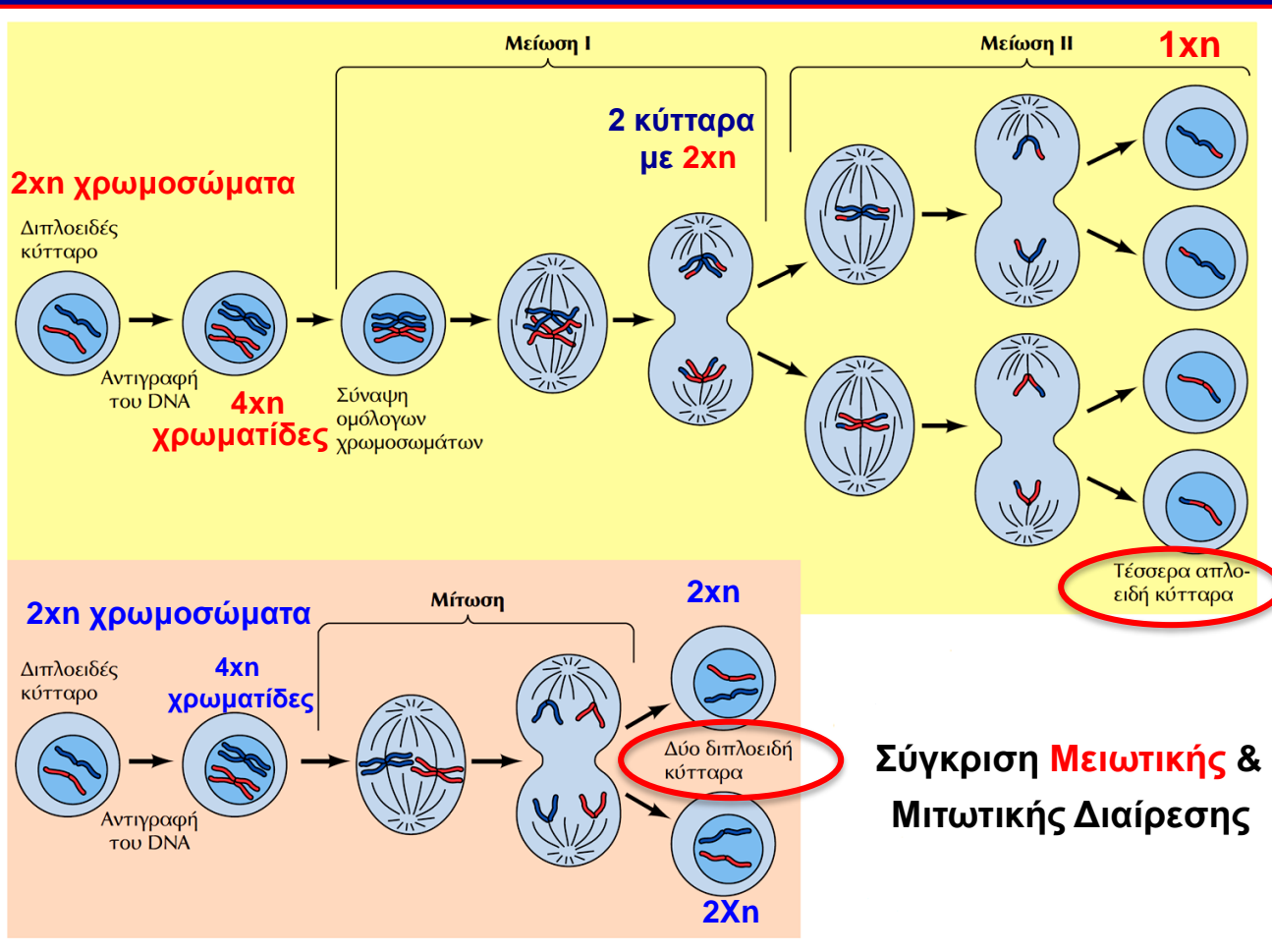
# ΜΕΙΩΣΗ & ΓΟΝΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

-Με το κυτταρικό κύκλο, η **Μίτωση** των σωματικών κυττάρων οδηγεί σε **δύο διπλοειδή (2xn) θυγατρικά κύτταρα**

-Η **Μείωση** είναι ιδιαίτερος κυτταρικός κύκλος, όπου παράγονται **απλοειδή (1xn) θυγατρικά κύτταρα**

Η Μείωση διακρίνεται στη **Μείωση I** & **Μείωση II**:

1. Ο διπλοειδής σακχαρομύκητας **αναπαράγεται με Μίτωση** αλλά σε στρες υφίσταται **Μείωση**



Σύγκριση **Μειωτικής** & **Μιτωτικής Διαίρεσης**

2. Στα **Φυτά & Ζώα**:

α. τα **σωματικά** κύτταρα πολλαπλασιάζονται με **Μίτωση** ενώ,

β. τα **γαμετικά** υφίστανται **Μείωση** για τη παραγωγή **απλοειδών γαμετών**, δηλ.

**Σπερματοζώαρια** ή **Ωάρια**

γ. η **ανάπτυξη** του απόγονου οργανισμού αρχίζει με τη **Γονιμοποίηση**

## Η διαδικασία της Μείωσης - A

Με τη Μειωτική Διάρθρωση κάθε απόγονο κύτταρο (ΓΑΜΕΤΗΣ) διαθέτει μόνο ένα μέλος από κάθε ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων του αρχικού διπλοειδούς κυττάρου

- Η μείωση χρωμοσωμάτων γίνεται σε 2 διαδοχικούς κύκλους: πυρηνικής & κυτταρικής διάρθρωσης
- Υπάρχει μόνο ένας κύκλος αντιγραφής DNA & η Μείωση I αρχίζει μετά την φάση S
- Αρχικά στην Μείωση I: τα ομόλογα χρωμοσώματα: συνάπτονται, συμβαίνουν ανασυνδυασμοί & μετά διαχωρίζονται σε 2 κύτταρα αλλά οι αδελφές χρωματίδες παραμένουν συνδεδεμένες
- Στη Μείωση II οι αδελφές χρωματίδες διαχωρίζονται σε θυγατρικά κύτταρα (σύνολο:  $2 \times 2 = 4$  κύτταρα)

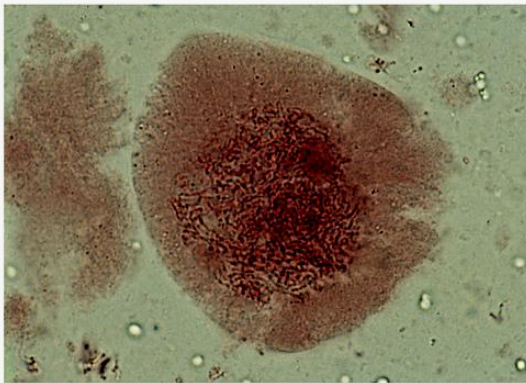


## Η διαδικασία της Μείωσης – Β

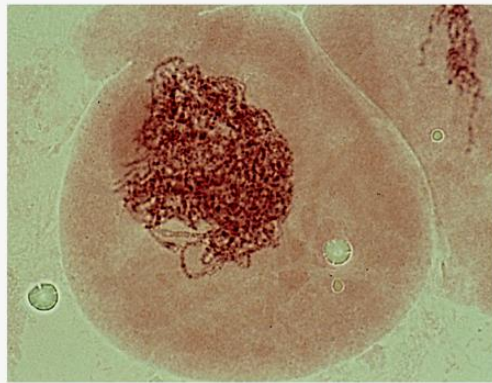
-Μετά την αντιγραφή του DNA συμβαίνουν **ΣΥΝΑΨΕΙΣ** μεταξύ ομόλογων χρωμοσωμάτων  
Έτσι, ο διαχωρισμός των χρωμοσωμάτων στη Μείωση I δημιουργεί **Γενετικούς Ανασυνδυασμούς**

-Ο **Ανασυνδυασμός** των ομόλογων χρωμοσωμάτων συμβαίνει μεταξύ χρωμοσωμάτων **Πατρικής & Μητρικής προέλευσης** στη διάρκεια **μιας παρατεταμένης Πρόφασης της Μείωσης I**, που διακρίνεται σε **5 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ** στάδια:

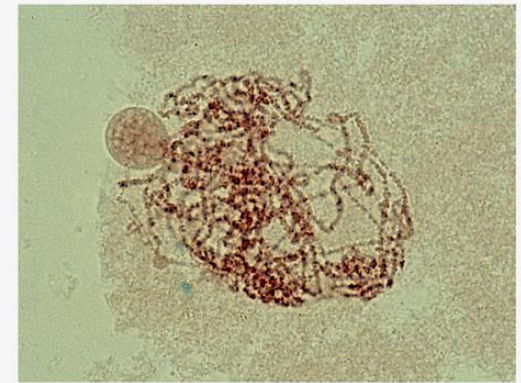
Λεπτοταινία



Ζυγοταινία



Παχυταινία



Διπλοταινία



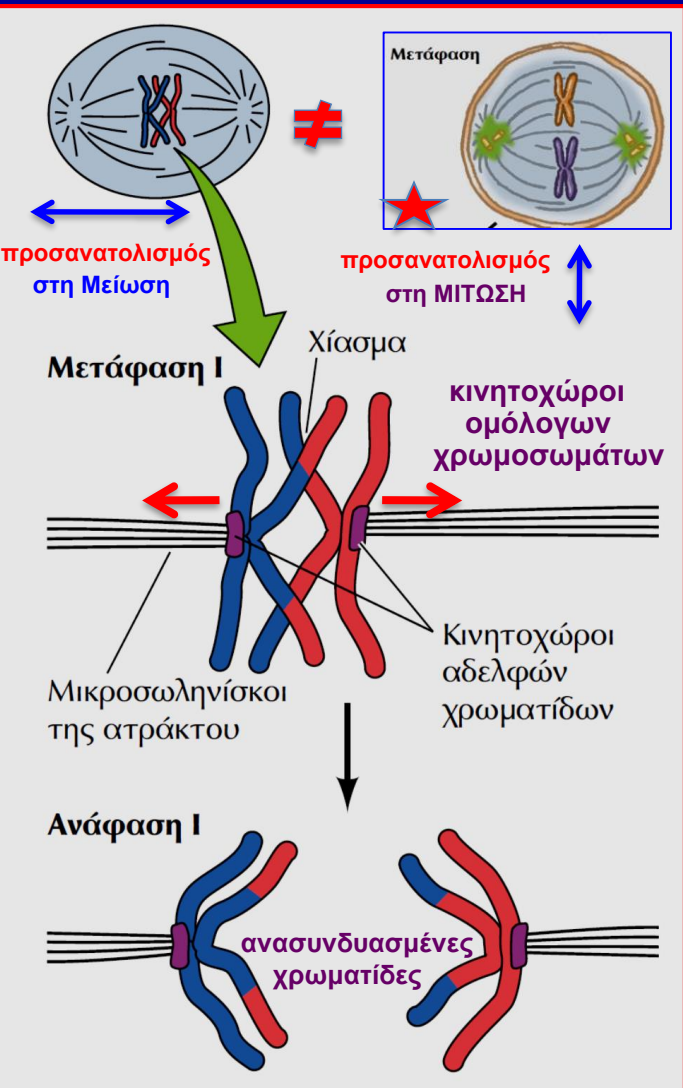
Διακίνηση



Τα 5 χρωμοσωμικά μορφολογικά  
στάδια της **Πρόφασης** στη Μείωση I

1. Τα **δισθενή χρωμοσώματα** στοιχίζονται στην άτρακτο, αλλά οι **κινητοχώροι των ΑΔΕΛΦΩΝ ΧΡΩΜΑΤΙΔΩΝ** βρίσκονται **ο ένας ΔΙΠΛΑ στον άλλο** (όχι ευθυγραμμισμένοι όπως στη Μίτωση)

(\*η ευθυγράμμιση αποτρέπει ανασυνδυασμούς-βλέπε ένθετο) ★



2. Οι **κινητοχώροι των αδελφών χρωματίδων** είναι προσανατολισμένοι προς την **ΙΔΙΑ** κατεύθυνση, ενώ
3. Οι **κινητοχώροι των ομόλογων χρωμοσωμάτων «βλέπουν»** προς τους αντίθετους πόλους της ατράκτου
4. Οι **μικροσωλήνες**: από τον **ίδιο πόλο** συνδέονται **και** με τις αδελφές **χρωματίδες-χιασμάτων**, ενώ εκείνοι **των αντίθετων πόλων** με τα ομόλογα χρωμοσώματα
5. Στην Ανάφαση I: **θραύονται** τα χιάσματα, τα ομόλογα χρωμοσώματα **διαχωρίζονται** ενώ οι **αδελφές χρωματίδες παραμένουν ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ** στα **κεντρομερή**

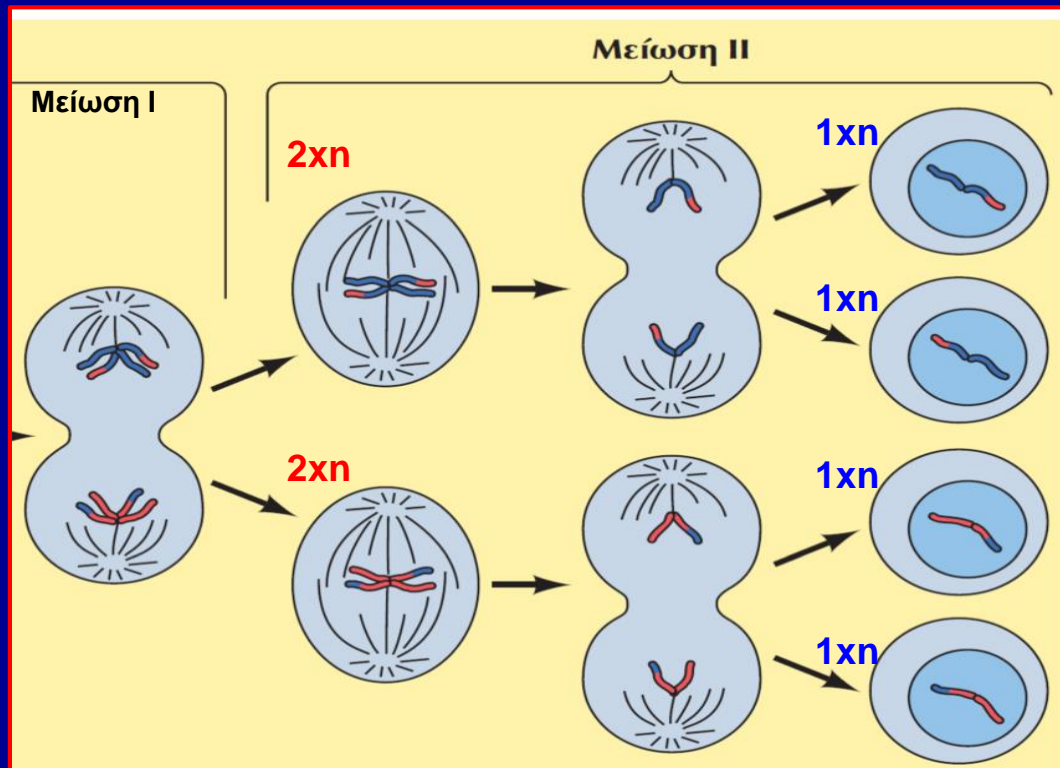
**ΣΥΝΟΛΙΚΑ:**

Στο τέλος της Μείωσης I κάθε θυγατρικό κύτταρο έχει: **χρωμοσώματα με δύο αδελφές χρωματίδες** από **κάθε ομόλογο ζεύγος** (από τα 2<sup>χ<sub>n</sub></sup>) χρωμοσωμάτων

## Η διαδικασία της Μείωσης - Z

### Η Μείωση II:

- αρχίζει αμέσως μετά την κυτταροκίνηση & πριν την πλήρη αποσυμπύκνωση των χρωμοσωμάτων
- μοιάζει με τη **ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΜΙΤΩΣΗ**: τα χρωμοσώματα «στοιχίζονται» κάθετα στην άτρακτο με τους με τους κινητοχώρους των αδελφών χρωματίδων να συνδέονται με τους μικροσωλήνες των αντίθετων πόλων της άτρακτου
- Η σύνδεση των κεντρομερών των αδελφών χρωματίδων **αναιρείται** στην Ανάφαση II & οι αδελφές χρωματίδες (ως χρωμοσώματα πλέον) διαχωρίζονται σε αντίθετους πόλους



- Με κυτταροκίνηση προκύπτουν 4 θυγατρικοί **απλοειδείς** ( $1xn$ ) - **γαμέτες**

# Η Ρύθμιση της Μείωσης στα Ωοκύτταρα - I

Ο κυτταρικός κύκλος είναι σημαντική διεργασία και η ρύθμισή του έχει σπουδαία βιολογική σημασία

Ένα σημαντικό μοντέλο μελέτης του κυτταρικού κύκλου είναι τα ωοκύτταρα λόγω του ότι έχουν:

- α. μεγάλο μέγεθος, & β. εύκολο πειραματικό χειρισμό

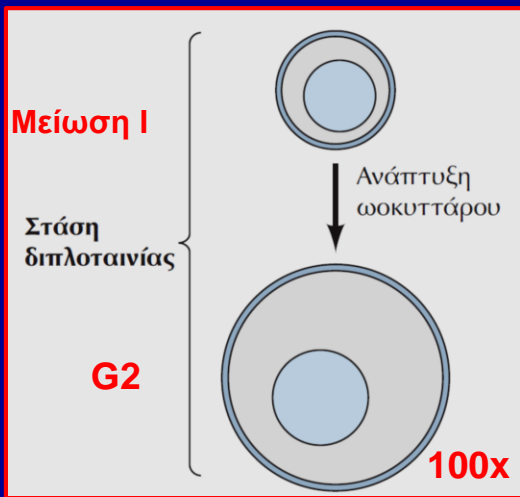
Η Μείωση των περισσότερων ειδών ωοκυττάρων ρυθμίζεται σε 2 σημεία του κυτταρικού κύκλου:

## Η ρύθμιση στο 1<sup>ο</sup> Σημείο: η ορμονική διέγερση

- Η ρύθμιση γίνεται κατά την Διπλοταινία (1<sup>η</sup> Μειωτική Διαίρεση)

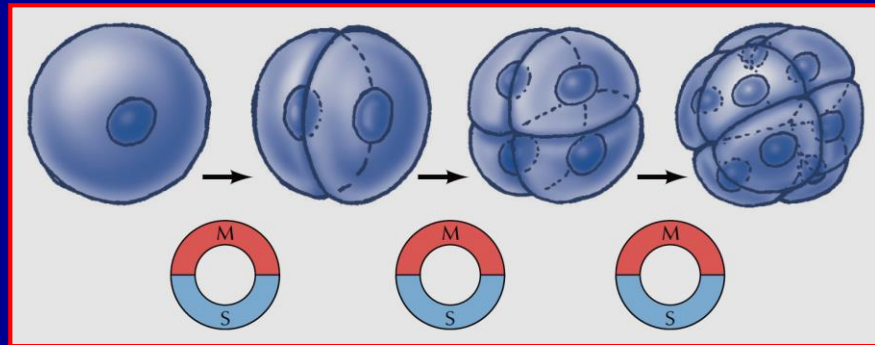
Τα ωοκύτταρα παραμένουν σε αυτή τη ΣΤΑΣΗ (G2), μέχρι & 50 χρόνια (άνθρωπος)

Τα χρωμοσώματα αποσυμπυκνώνονται & μεταγράφονται, που οδηγεί σε τεράστια ανάπτυξη (100x μεγαλύτερα από ένα σωματικό κύτταρο)



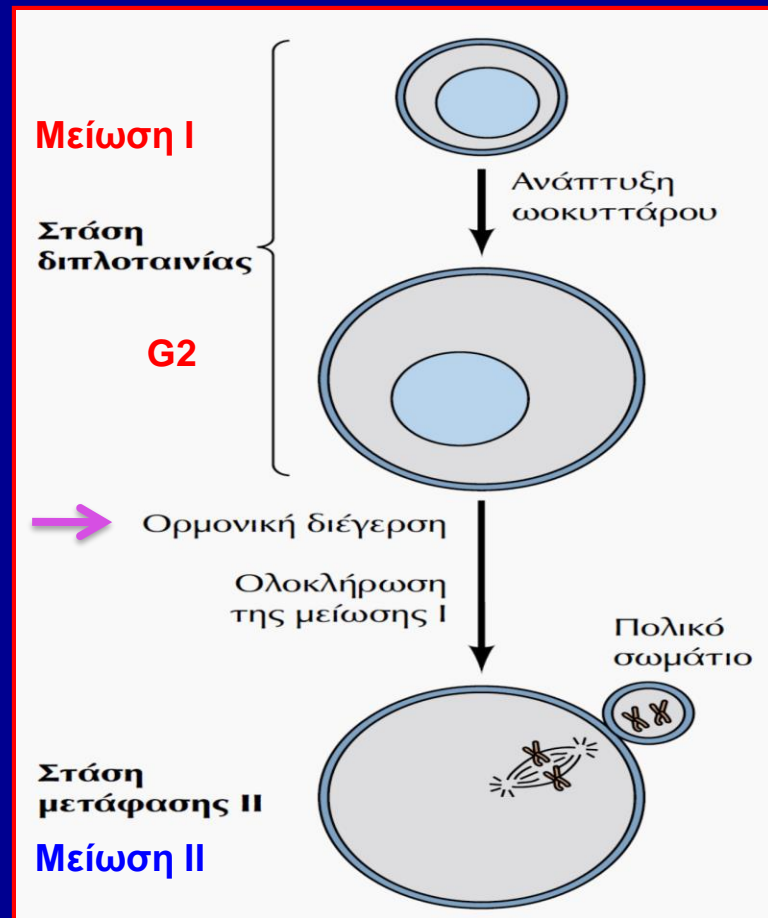
\* (Συσσωρεύουν υλικά για την ανάπτυξη του πρώιμου εμβρύου: γρήγορες διαιρέσεις, για παραγωγή συνεχώς μικρότερων κυττάρων)

Πολλαπλασιασμός μετά από γονιμοποίηση:  
→ εναλλασόμενες σύντομες φάσεις S & M



## Ο ρόλος της προγεστερόνης

- Στα σπονδυλωτά (ποντικός, άνθρωπος) η Μείωση I συνεχίζεται ως απόκριση σε ορμονική διέγερση από Προγεστερόνη και ολοκληρώνεται πριν τη γονιμοποίηση με ασύμμετρη διαίρεση

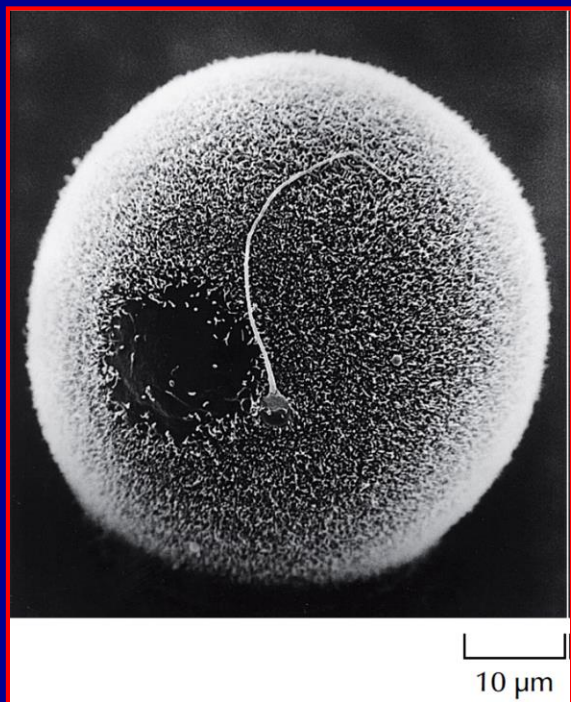


- Από την ασύμμετρη διαίρεση της Μείωσης I προκύπτουν:
  - α. ένα μικρό πολικό σωματίο &
  - β. ένα ωοκύτταρο μεγάλου μεγέθους
- Στη συνέχεια το ωοκύτταρο εισέρχεται στη Μείωση II, αλλά χωρίς σχηματισμό πυρήνα & χωρίς χρωμοσωμική αποσυμπύκνωση
- Τα περισσότερα ωοκύτταρα των σπονδυλωτών σταματούν πάλι στην Μετάφαση II, μέχρι τη Γονιμοποίησή τους
- \*\* Συνολικά, στα Ωοκύτταρα παρατηρούνται 2 στάσεις: μία στη διπλοταινία της Μείωσης I (ορμονική έλλειψη) & μία στη μετάφαση II (μετά από ορμονική διέγερση)



## Η Γονιμοποίηση

- Γονιμοποίηση είναι η **συνένωση των απλοειδών γαμετών**: ωαρίου & σπερματοζωαρίου για τη παραγωγή ενός νέου διπλοειδούς οργανισμού
- ΕΝΑ** σπερματοζωάριο προσδένεται σε υποδοχέα της επιφάνειας του ωαρίου & συγχωνεύεται με τη κυτταροπλασματική του μεμβράνη
- Η γονιμοποίηση οδηγεί στην: **ανάμειξη χρωμοσωμάτων πατέρα / μητέρας**, **ολοκλήρωση Μείωσης II του ωοκυττάρου** & **έναρξη μιτώσεων στο πρώιμο έμβρυο**
- Καθοριστικό σήμα** μετά την γονιμοποίηση είναι: η **αύξηση συγκέντρωσης ιόντων  $Ca^{++}$**  που επάγει **μεμβρανικές τροποποιήσεις**, **αποτρέποντας** την είσοδο πολλαπλών σπερματοζωαρίων στο ωάριο (κάθε εκσπερμάτιση υγιούς άνδρα: **120-600 εκ.** & **400 δισ.** στη ζωή του)



- Οι μεμβρανικές τροποποιήσεις από  $Ca^{++}$  γίνονται μέσω **εξωκυττάρωσης εκκριτικών κοκκίων** στη περιφέρεια του ωοκυττάρου
- Το **περιεχόμενο των κοκκίων τροποποιεί το κάλυμα** του ωαρίου ώστε να **εμποδίζεται η είσοδος** άλλων σπερματοζωαρίων

\*Για μη-γόνιμα ζευγάρια εφαρμόζεται η *In Vitro Fertilization (IVF)*:

1. Λήψη ωαρίων μετάφασης II, σπερματοζωαρίων & in vitro γονιμοποίηση
2. Επανατοποθέτηση γονιμοποιημένων ωαρίων στους αγωγούς ή μήτρα