

Το Κύτταρο Μια Μοριακή Προσέγγιση
Έβδομη Έκδοση

Κεφάλαιο 7


Αντιγραφή, διατήρηση
και αναδιατάξεις του
γονιδιωματικού DNA

Geoffrey M. Cooper • Robert E. Hausman

Ακαδημαϊκές
Εκδόσεις



David Sadava
David M. Hillis
H. Craig Heller
Sally D. Hacker



Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Γενική Βιολογία · Γενετική · Εξέλιξη

Κεφάλαιο 13

Το DNA και ο Ρόλος του στην
Κληρονομικότητα

Πρώτη ελληνική έκδοση
Ενδέκατη αμερικανική Έκδοση

Επιστημονική επιμέλεια
της ελληνικής έκδοσης
Μαρία Γαζούλη



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

Κεφάλαιο 13

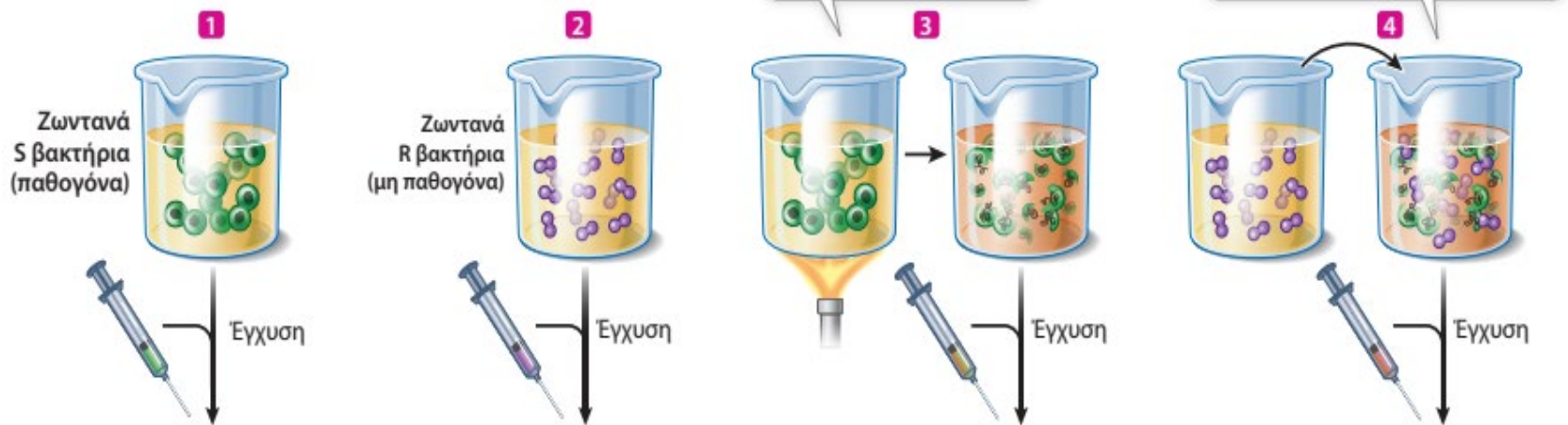
Το DNA και η αντιγραφή του

**copyright @
2023 ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΠΑΠΑΖΗΣΗ**

Εικόνα 13.1 Γενετικός Μετασχηματισμός.

Πρωτότυπη Εργασία: Griffith, F. 1928. The significance of pneumococcal types. *Journal of Hygiene* 27: 113–159. Τα πειράματα του Γκρίφιθ έδειξαν ότι κάτι μέσα στο παθογόνο στέλεχος του πνευμονιόκοκκου μετασχημάτιζε το μη παθογόνο στέλεχος R του βακτηρίου σε θανατηφόρο μορφή, ακόμα και όταν τα βακτήρια στελέχους S είχαν θανατωθεί με υψηλές θερμοκρασίες. **ΥΠΟΘΕΣΗ** ► Υλικό από τα νεκρά βακτηριακά κύτταρα μπορεί να μετασχηματίσει γενετικά ζωντανά βακτήρια.

ΜΕΘΟΔΟΣ



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



1 Ο ποντικός πεθαίνει
Ζωντανά S βακτήρια εντοπίζονται στο αίμα



2 Ο ποντικός ζει
Δεν υπάρχουν βακτήρια στο αίμα



3 Ο ποντικός ζει
Δεν υπάρχουν βακτήρια στο αίμα



4 Ο ποντικός πεθαίνει
Ζωντανά S βακτήρια εντοπίζονται στο αίμα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ► Μια χημική ουσία από ένα κύτταρο είναι ικανή να μετασχηματίσει γενετικά ένα άλλο κύτταρο.

Εικόνα 13.2 Γενετικός Μετασχηματισμός μέσω DNA.

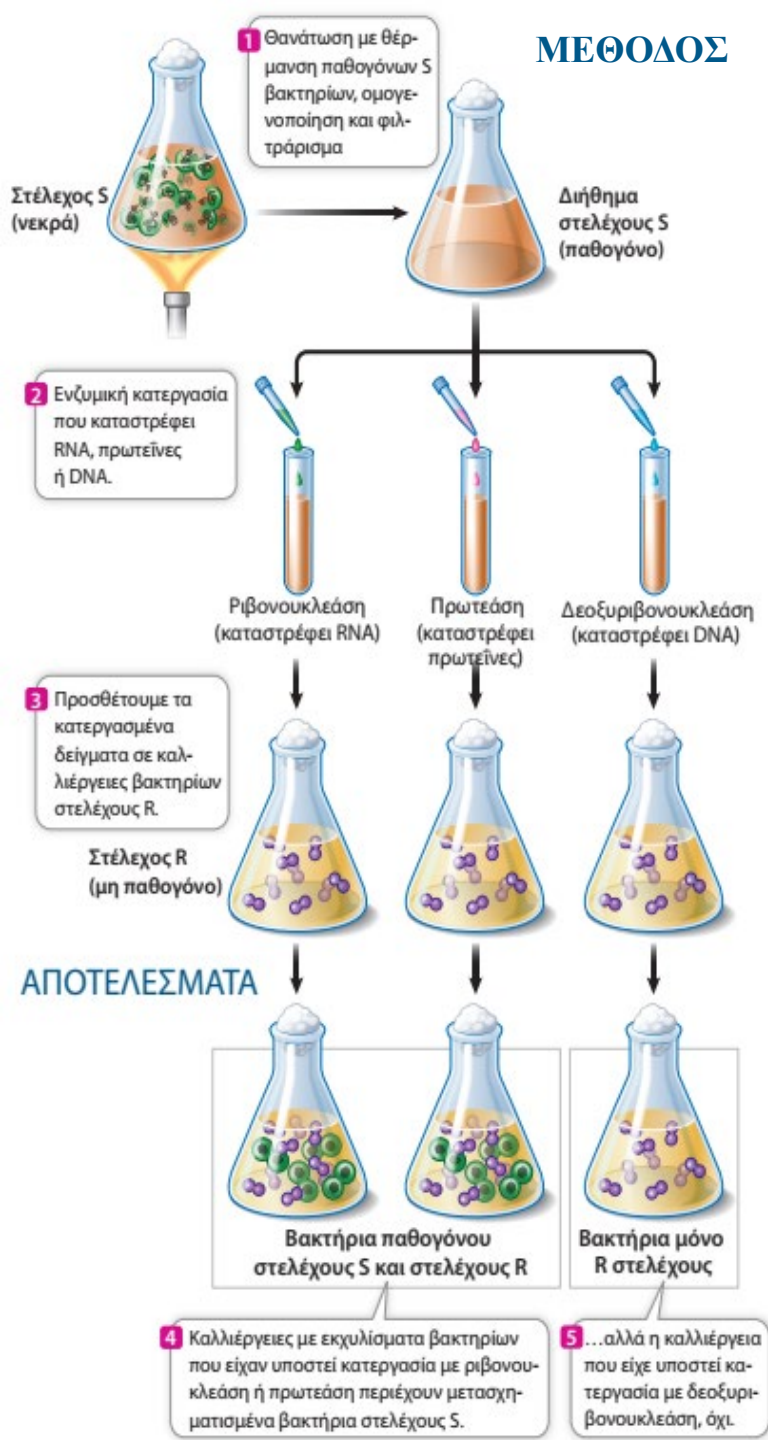
Πρωτότυπη Εργασία: Avery, O. T., C. M. MacLeod and M. McCarty. 1944. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of the pneumococcal types. *Journal of Experimental Medicine* 79: 137–158.

Πειράματα από τον Έιβερν και τους συνεργάτες του έδειξαν ότι το DNA από το παθογόνο στέλεχος S του πνευμονιόκοκκου ήταν υπεύθυνο για τον μετασχηματισμό στα πειράματα του Γκρίφιθ (βλ. Εικόνα 13.1).

ΥΠΟΘΕΣΗ ► Η χημική φύση της ουσίας μετασχηματισμού από τον πνευμονιόκοκκο είναι DNA.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ► Λόγω του ότι μόνο η δεοξυριβονουκλεάση κατέστρεψε την ουσία μετασχηματισμού, η ουσία αυτή πρέπει να είναι DNA.

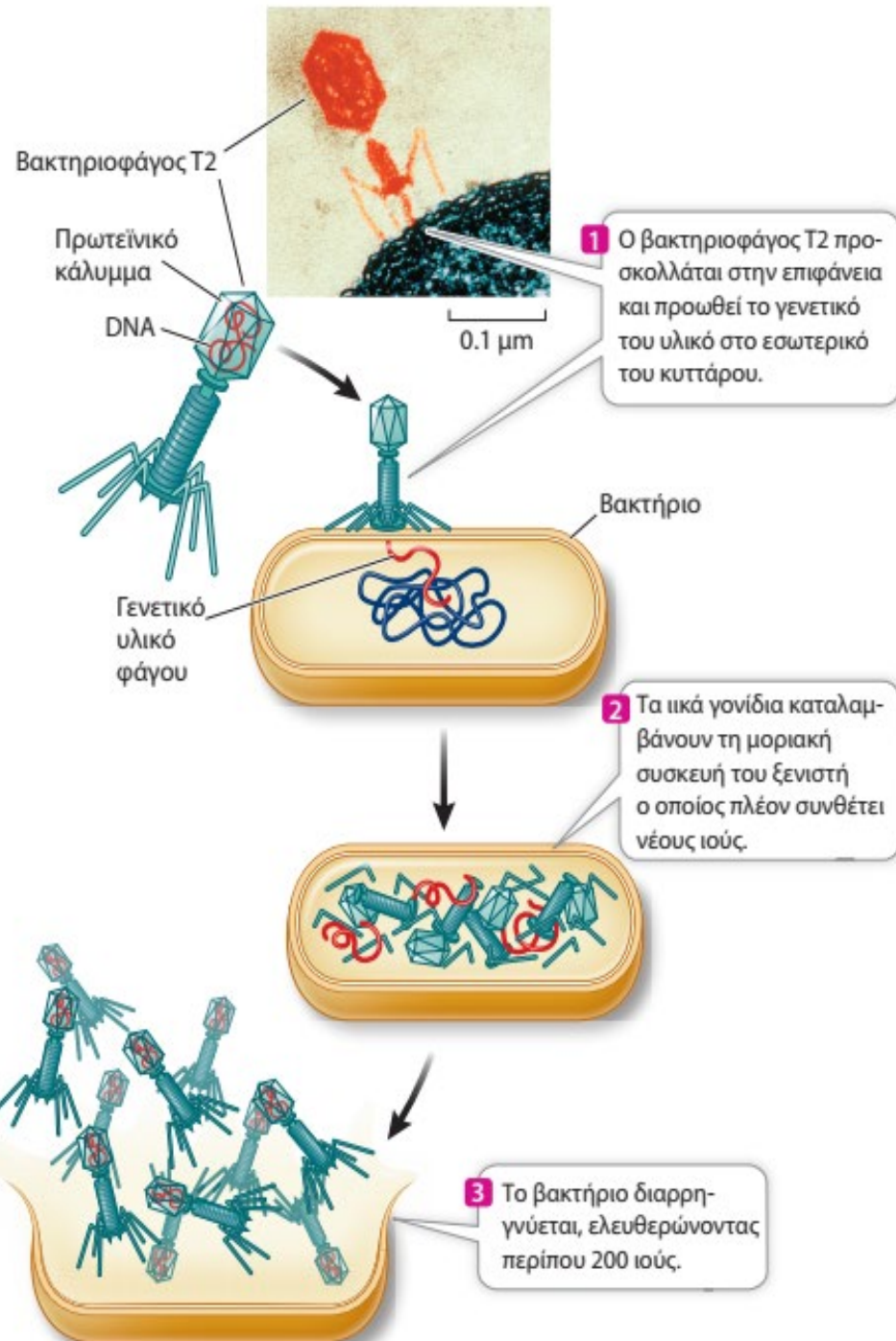
copyright @ 2023 ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΠΑΠΑΖΗΣΗ

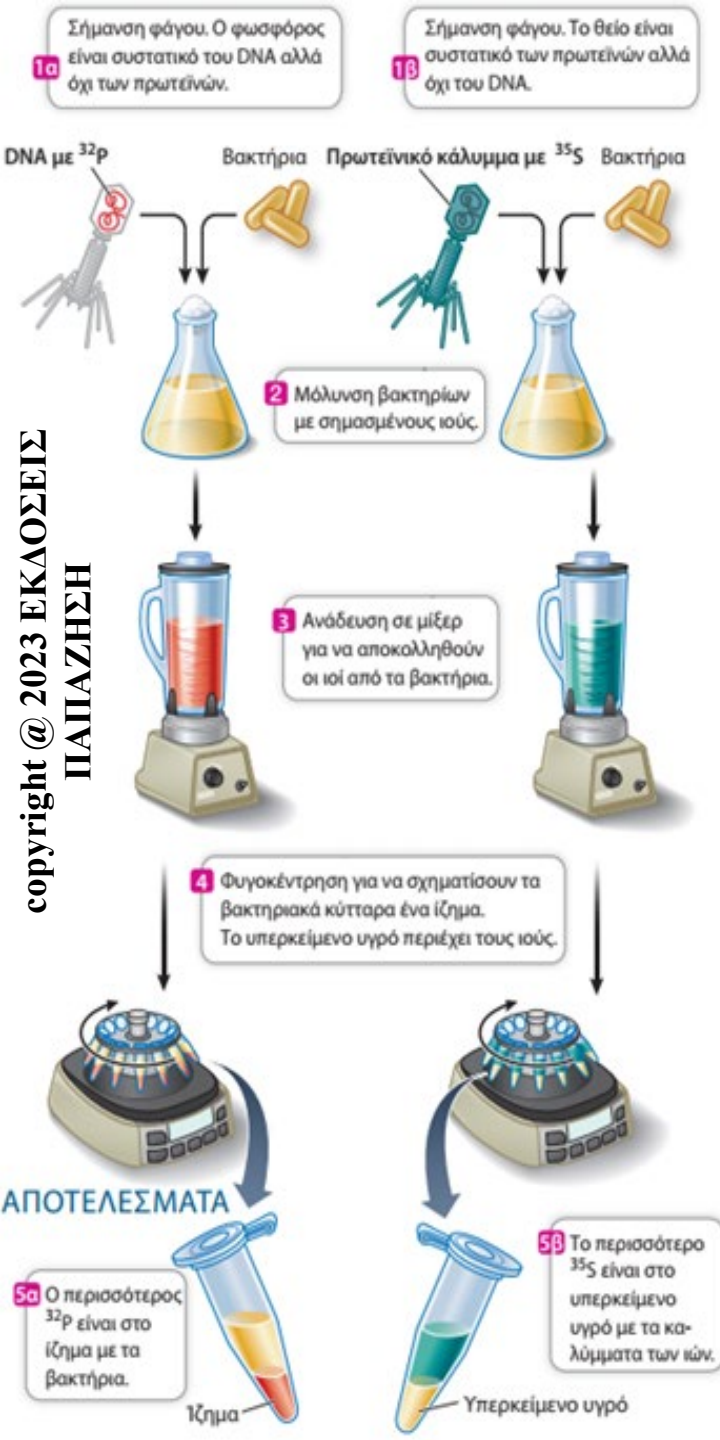


Εικόνα 13.3 Βακτηριοφάγος T2:

Αναπαραγωγικός Κύκλος.

Ο βακτηριοφάγος T2 αναπτύσσεται στην *E. coli* και εξαρτάται από το βακτήριο για να παράγει νέους ιούς. Οι εξωτερικές δομές του βακτηριοφάγου T2 αποτελούνται αποκλειστικά από πρωτεΐνη. Το DNA βρίσκεται μέσα στο πρωτεϊνικό κάλυμμα. Όταν ο ιός προσβάλλει το βακτήριο και προωθεί το γενετικό του υλικό μέσα σε αυτό.





Εικόνα 13.4 Το Πείραμα των Χέρσεϋ-Τσείς.

Πρωτότυπη Εργασία: Hershey, A. D. and M. Chase. 1952. Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *The Journal of General Physiology* 36: 39–56.

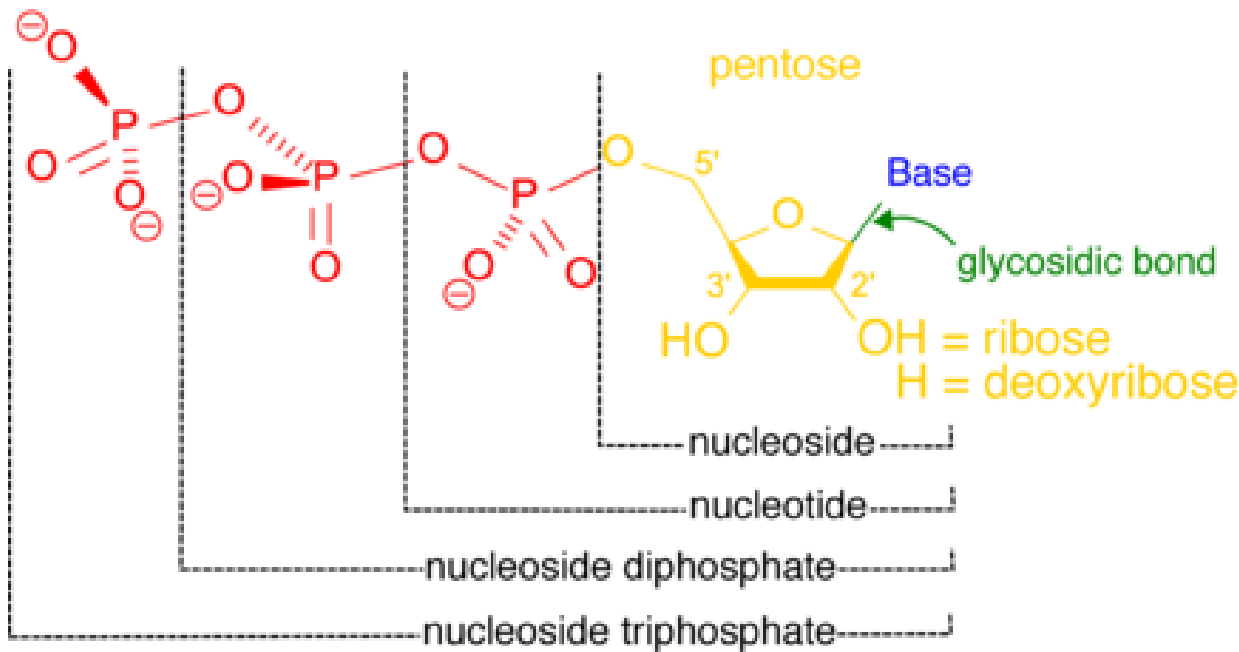
Chase. 1952. Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *The Journal of General Physiology* 36: 39–56. Οι Χέρσεϋ και Τσείς μόλυναν βακτηριακά κύτταρα με ραδιενεργά σημασμένους βακτηριοφάγους T2 για αρκετό χρόνο ώστε να δημιουργηθούν νέοι φάγοι, αλλά χωρίς να σπάσουν τα κύτταρα. Τα μολυσμένα κύτταρα αναδεύτηκαν ώστε να αποχωριστούν οι φάγοι από τα βακτήρια. Το μείγμα φυγοκεντρήθηκε, τα βακτήρια συγκεντρώθηκαν ως ίζημα, οι φάγοι στο υπερκείμενο.

Η ραδιενεργός πρωτεΐνη (από φάγους) παρέμεινε στο υπερκείμενο. Ραδιενεργό DNA βρέθηκε μόνο μέσα στα βακτηριακό ίζημα. Αυτό υπέδειξε ότι το DNA, και όχι οι πρωτεΐνες, είναι το γενετικό υλικό.

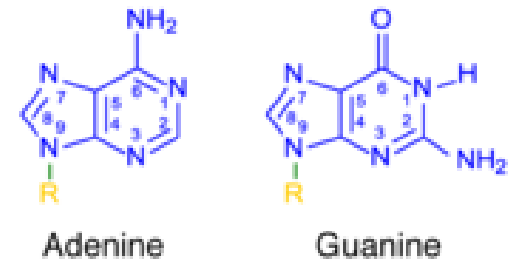
ΥΠΟΘΕΣΗ ▶ Οποιοδήποτε συστατικό του βακτηριοφάγου –DNA ή πρωτεΐνη– μπορεί να αποτελεί κληρονομικό υλικό το οποίο εισέρχεται στο βακτηριακό κύτταρο για να **κατευθύνει τη συναρμολόγηση νέων ιικών σωματιδίων.**

A. Τριφωσφορικά δεοξυριβονουκλεοτίδια και ο πολυμερισμός αυτών

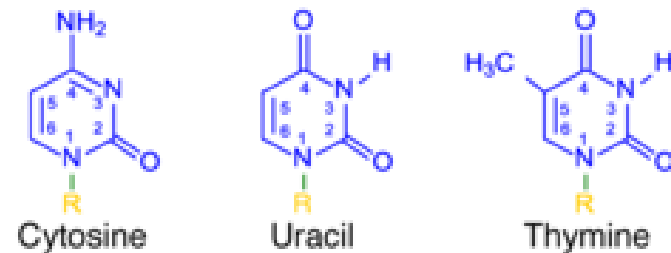
A. 1.Τριφωσφωρικά ριβονουκλεοτίδια

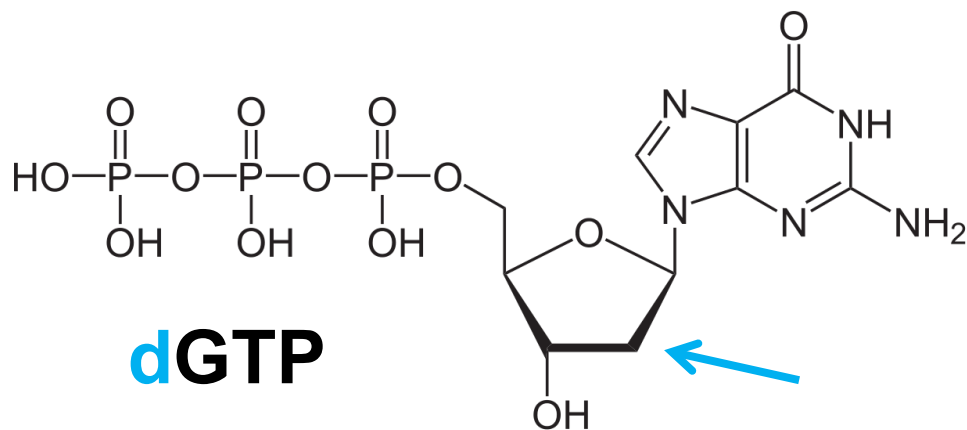
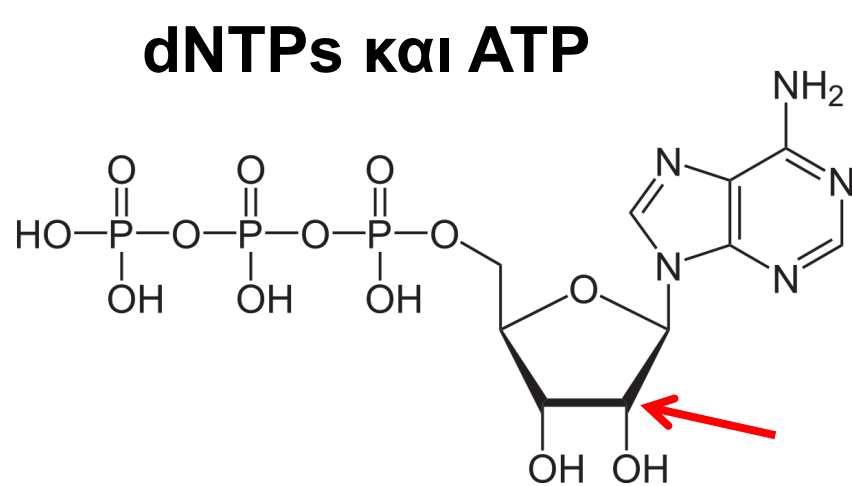
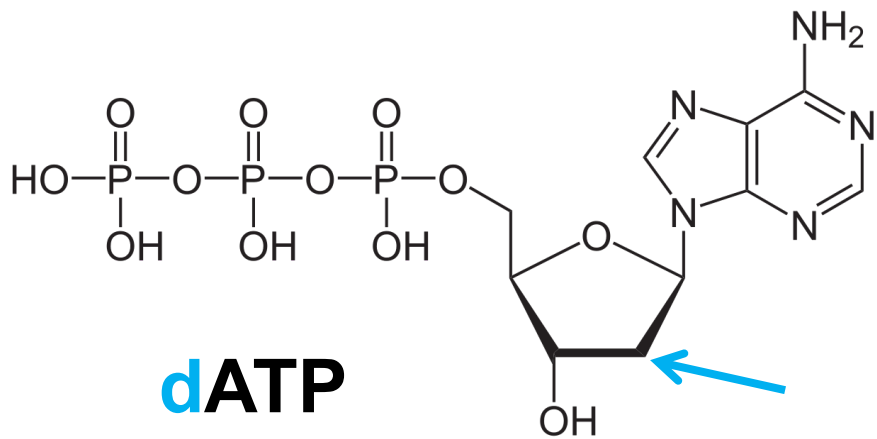


Purines

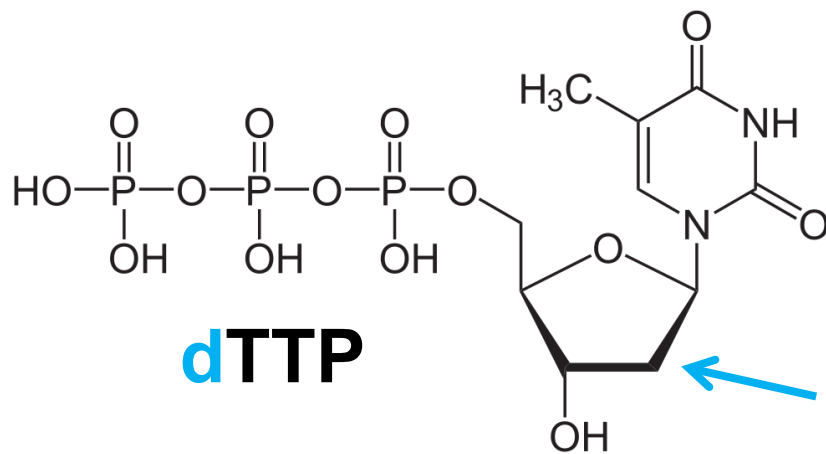
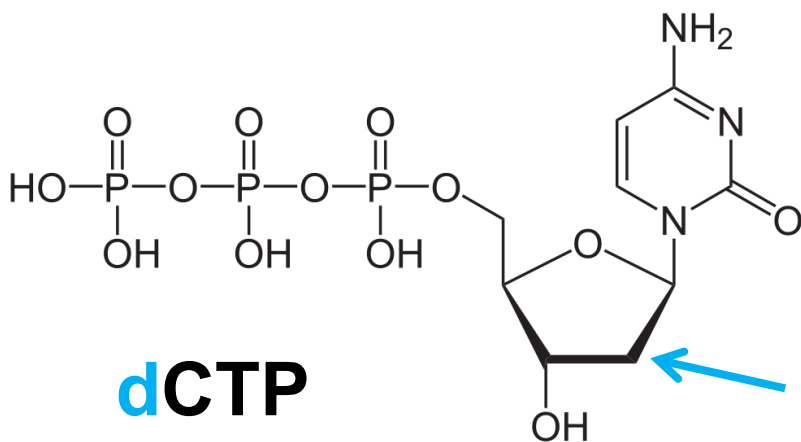


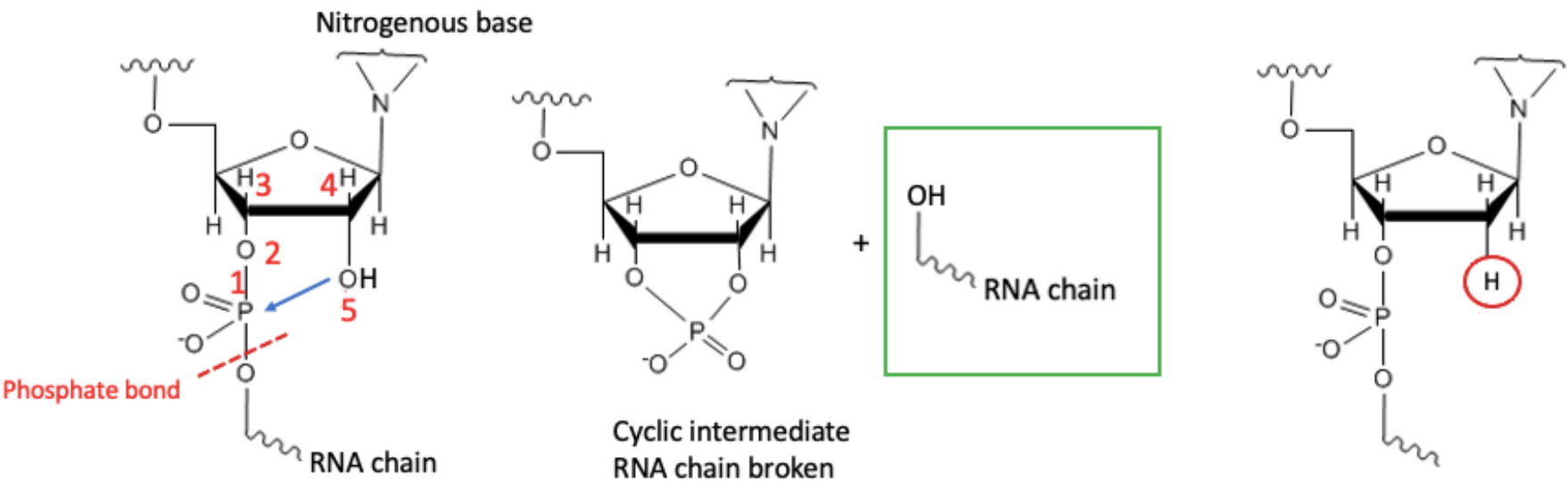
Pyrimidines





**Τριφωσφορική αδενοσίνη
(ATP)**

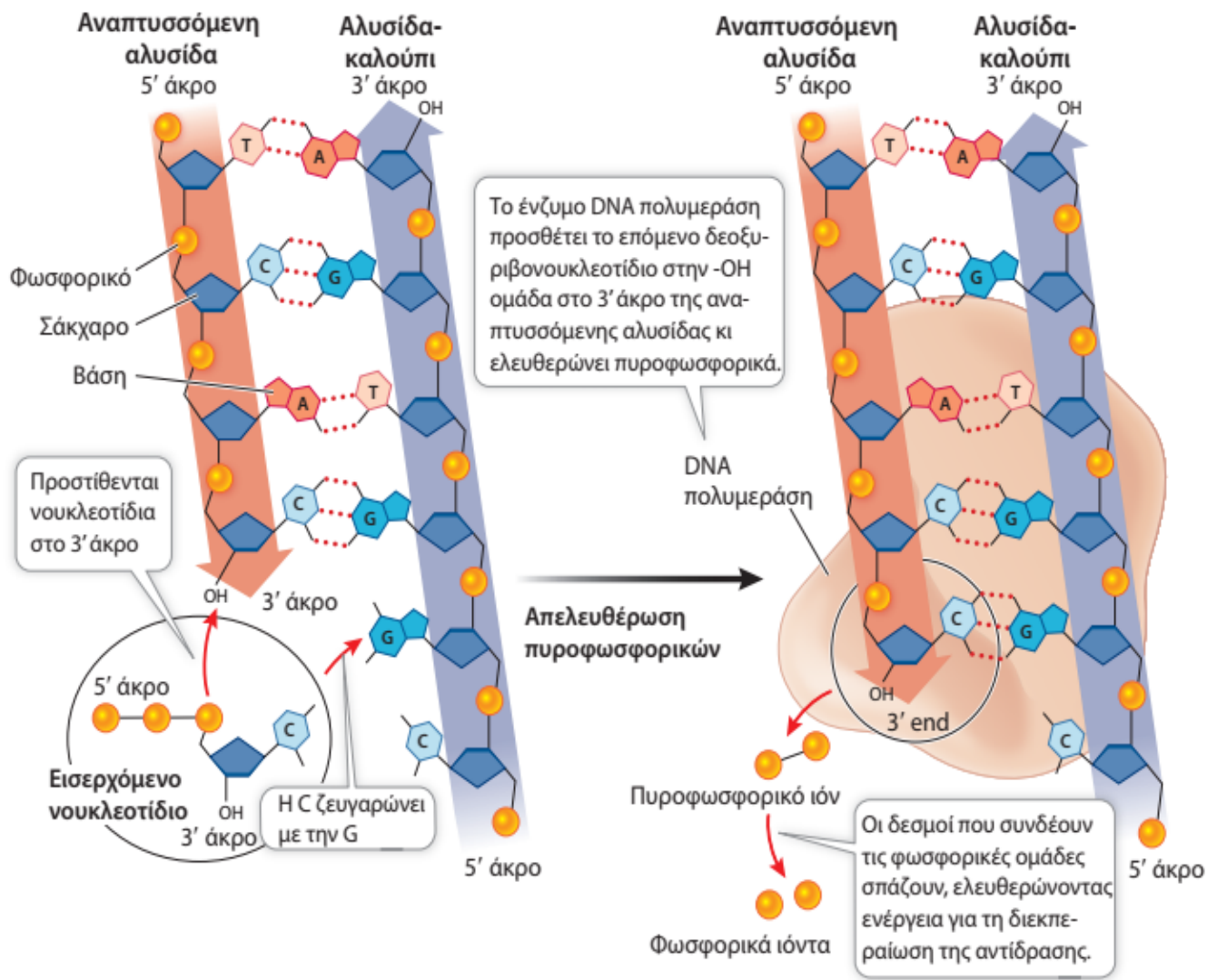




RNA Less Stable

DNA More Stable

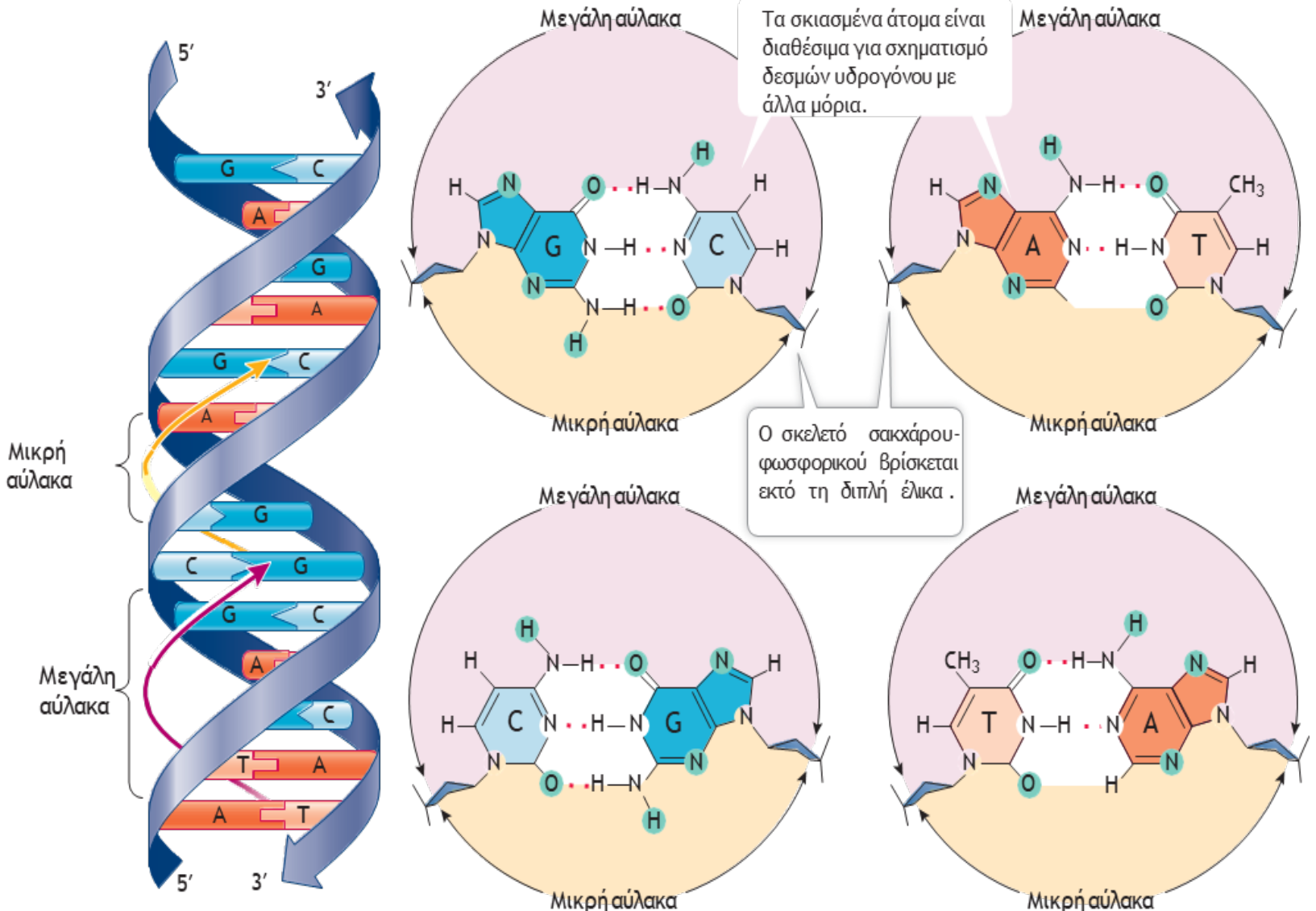
Γιατί το DNA είναι πιο σταθερό μόριο από το RNA;



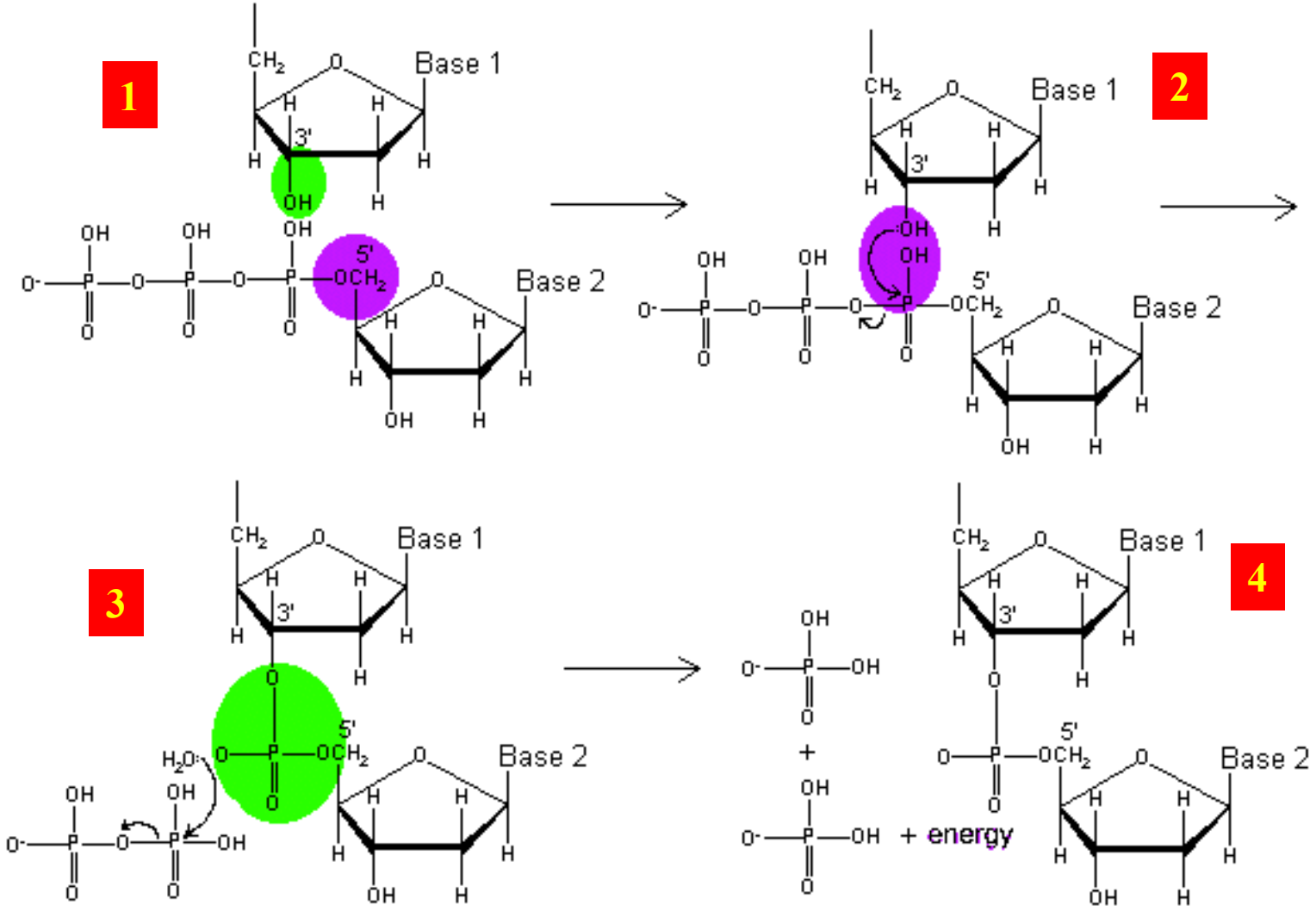
Εικόνα 13.9 Κάθε Νέα Αλυσίδα Αναπτύσσεται από το 5' στο 3' Άκρο της.

Η αλυσίδα DNA στα δεξιά (μπλε) είναι το καλούπι για τη σύνθεση της συμπληρωματικής αλυσίδας η οποία αναπτύσσεται στα αριστερά (ροζ). Εδώ προστίθεται dCTP (σε κύκλο).

Εικόνα 13.7 Τα Ζεύγη Βάσεων στο DNA Μπορούν να Αλληλεπιδρούν με Άλλα Μόρια. Αυτά τα σχεδιαγράμματα παρουσιάζουν τις τέσσερις πιθανές διαμορφώσεις των ζευγών βάσεων εντός της διπλής έλικας. Τα σκιασμένα με πράσινο χρώμα άτομα είναι διαθέσιμα για σχηματισμό δεσμών υδρογόνου με άλλα μόρια, όπως πρωτεΐνες.



copyright @ 2023 ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ



Η υδρόλυση ενός τριφωσφορικού νουκλεοτιδίου ευνοεί την αντίδραση πολυμερισμού από θερμοδυναμικής απόψεως

B. Ενεργειακοί παράγοντες πολυμερισμού των δεοξυριβονουκλεοτιδίων

Ενέργεια που απελευθερώνεται από την υδρόλυση φωσφοεστερικών δεσμών υψηλής ενέργειας

Reaction	ΔG [kJ/mol]
$\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$	-30.5
$\text{ADP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AMP} + \text{P}_i$	-30.5
$\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AMP} + \text{PP}_i$	-40.6
$\text{PP}_i + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{P}_i$	-31.8

Η ενέργεια που απελευθερώνεται από την υδρόλυση του ATP

ισούται με

-72,4 kJ/mol

Γιατί ευνοείται η υδρόλυση του ATP και κατ' επέκταση **όλων** των τριφωσφορικών δεοξυριβονουκλεοτιδίων;

1. Διότι υπάρχει **ηλεκτροστατική απώθηση** των αρνητικά φορτισμένων φωσφορικών ομάδων που ευνοεί την υδρόλυση των εστερικών δεσμών.
2. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την υδρόλυση σταθεροποιούνται με **συντονισμό**. Καθώς οι εστερικοί δεσμοί σπάνε, σχηματίζονται φωσφορικά με αυξημένη σταθερότητα λόγω συντονισμού.

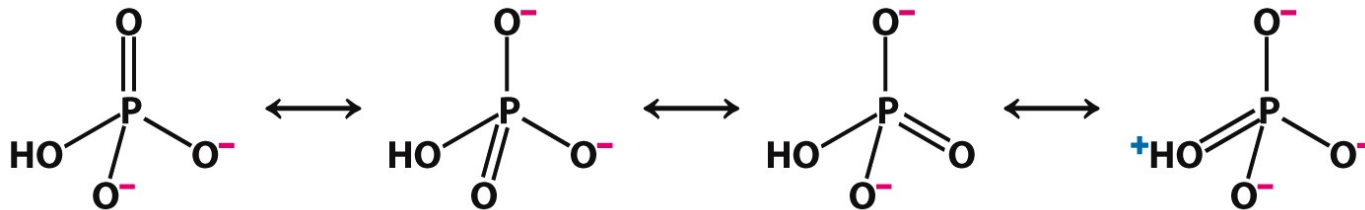


Figure 15.4
Biochemistry, Seventh Edition
© 2012 W. H. Freeman and Company

3. Η **εντροπία** αυξάνεται.

Ελεύθερη ενέργεια (G) ενός συστήματος: $G=H-TS$

H: η ενθαλπία (θερμικό περιεχόμενο)

T: η θερμοκρασία

S: η εντροπία (βαθμός αταξίας)

Μεταβολή ελεύθερης ενέργειας (ΔG) ενός συστήματος:

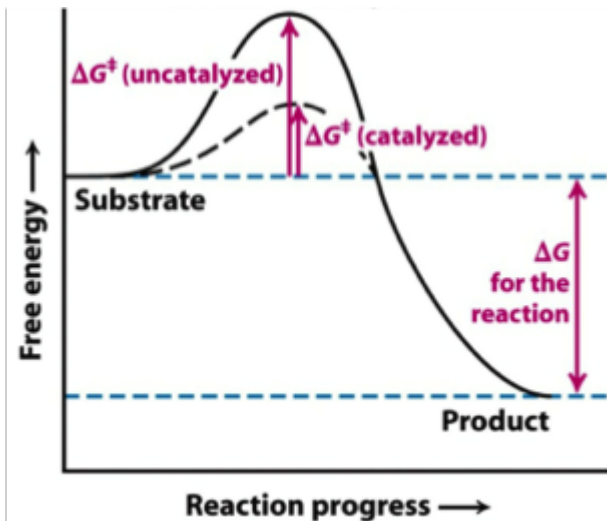
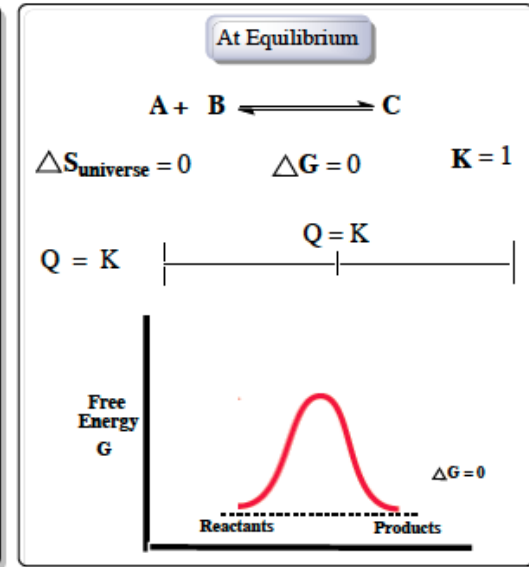
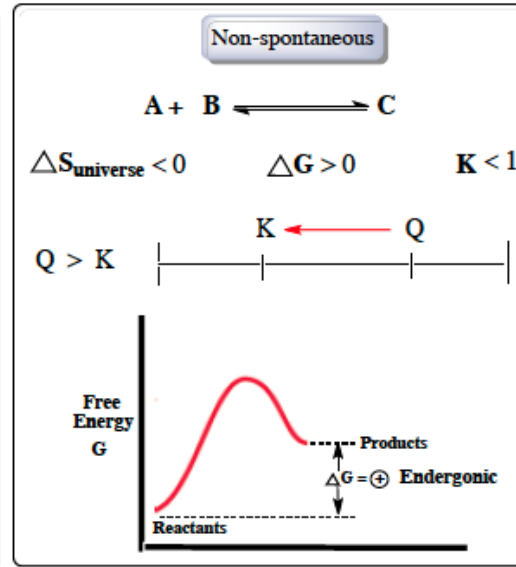
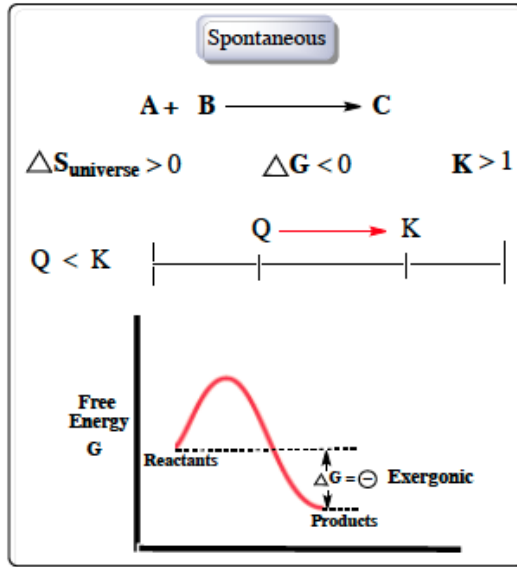
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Αν μια αντίδραση ευνοείται από θερμοδυναμικής απόψεως ($\Delta G < 0$), αυτό δεν σημαίνει ότι η αντίδραση θα συμβεί αυθόρμητα:

υπάρχει το ενεργειακό φράγμα από την ελεύθερη ενέργεια ενεργοποίησης (G^\ddagger).

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Book: Chem1 \(Lowe r\)/15: Thermodynamics of Chemical Equilibria/23.4: Free Energy and the Gibbs Function](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Book: Chem1 (Lowe r)/15: Thermodynamics of Chemical Equilibria/23.4: Free Energy and the Gibbs Function)

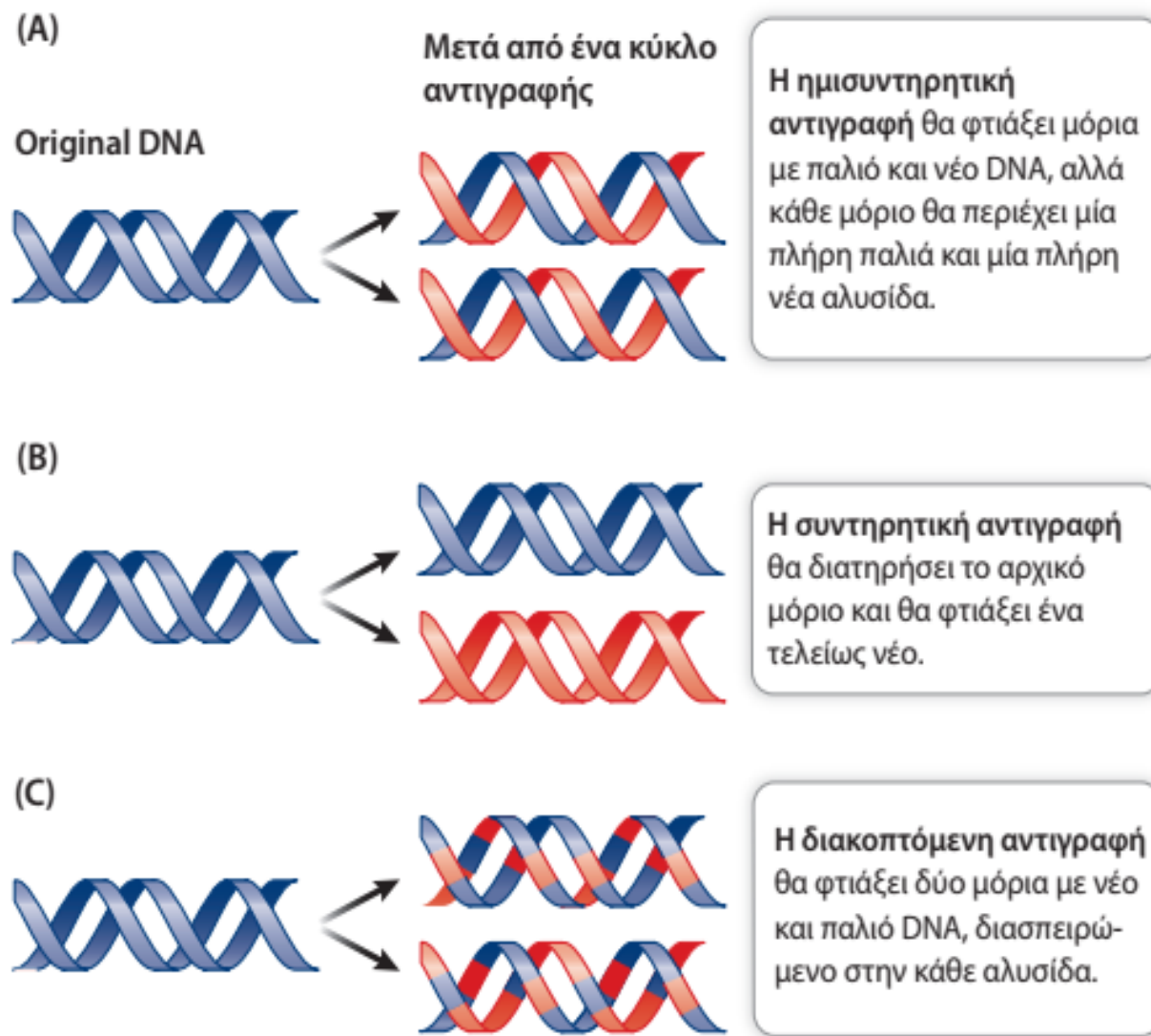
Για να πραγματοποιηθεί μια αντίδραση **αυθόρμητα** πρέπει η **τελική ελεύθερη ενέργεια** να είναι **μικρότερη** από την αρχική (2^{ος} νόμος της θερμοδυναμικής)



Τα **ένζυμα** (καταλύτες) ελαττώνουν την ενέργεια ενεργοποίησης που απαιτείται για μια αντίδραση.

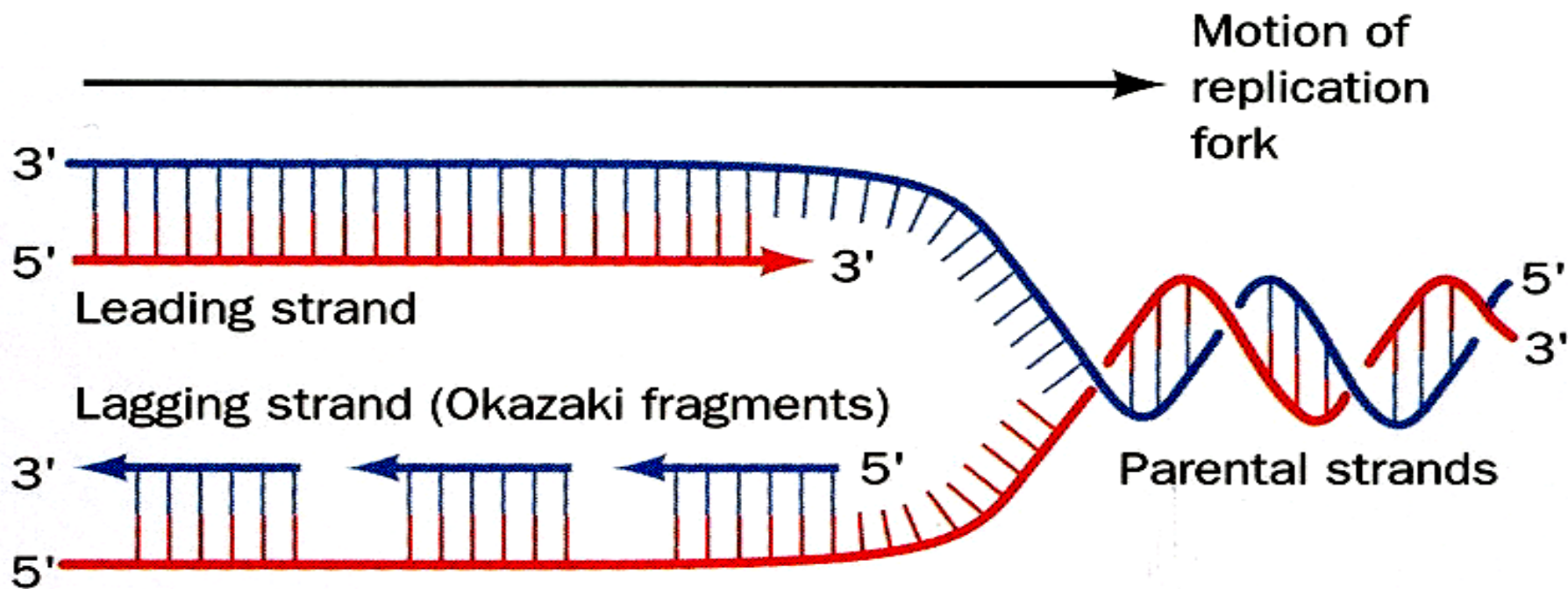
Έτσι οι αντιδράσεις συμβαίνουν **γρηγορότερα**.

Γ. Η αντιγραφή του DNA

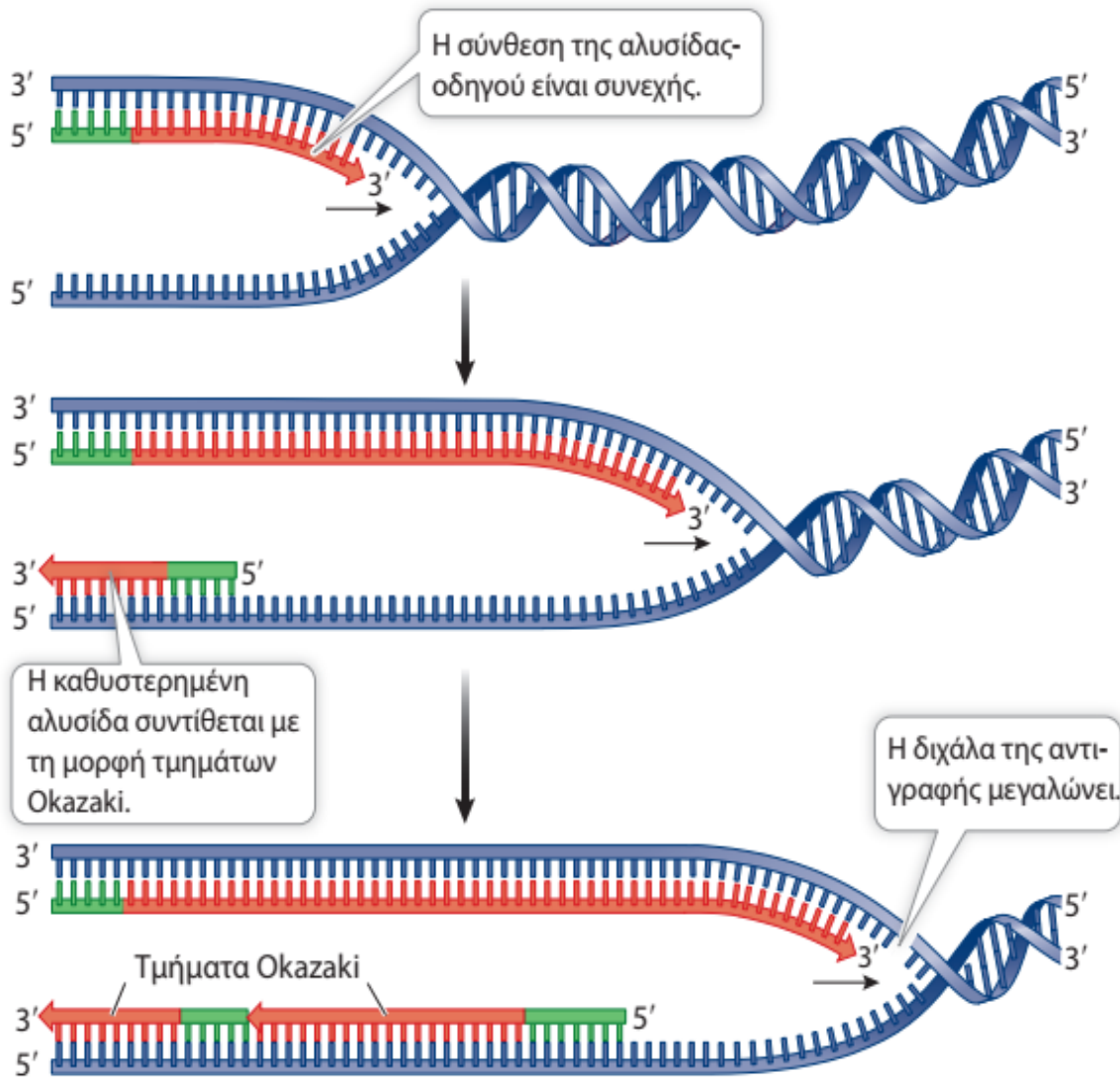


Εικόνα 13.8 Τα Τρία Μοντέλα για την Αντιγραφή του DNA.

Σε κάθε μοντέλο, το αρχικό DNA παρουσιάζεται μπλε και το νεοσχηματιζόμενο DNA παρουσιάζεται κόκκινο.



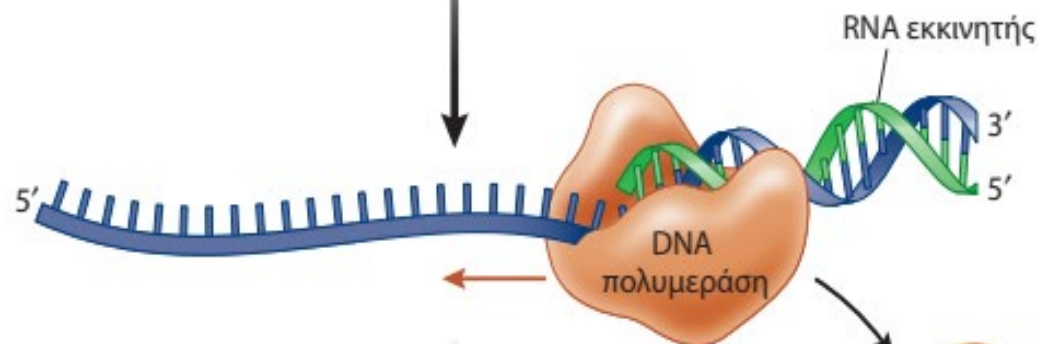
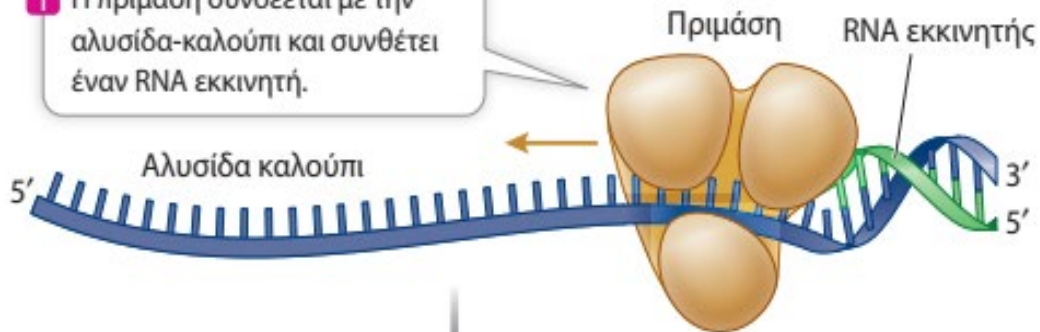
Φορά της αντιγραφής του DNA στην αντιγραφική διχάλα
Συνεχής και ασυνεχής αντιγραφή, τμήματα Οκαζάκι.



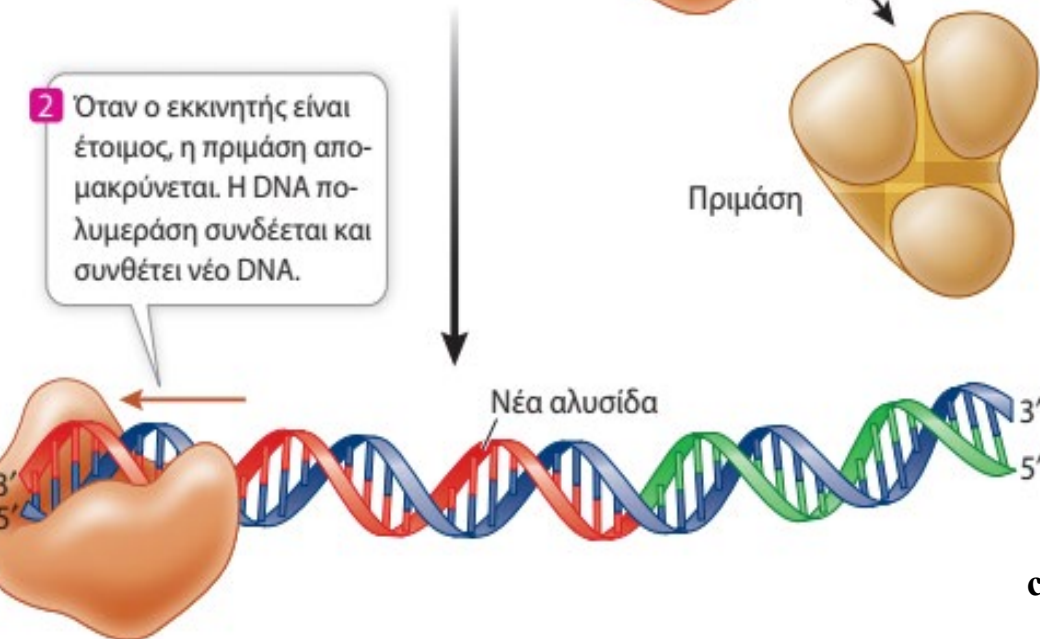
Εικόνα 13.14 Οι Δύο Νέες Αλυσίδες Σχηματίζονται με Διάφορους Τρόπους.

Καθώς η πατρική αλυσίδα DNA ξετυλίγεται, συντίθενται και οι δύο νέες αλυσίδες με κατεύθυνση 5' προς 3', παρά το γεγονός ότι οι αλυσίδες-καλούπια τους είναι αντιπαράλληλες. Η αλυσίδα-οδηγός μεγαλώνει συνεχώς προς τα μπροστά, αλλά η καθυστερημένη αλυσίδα αναπτύσσεται σε μικρά, ασυνεχή κομμάτια που λέγονται τμήματα Okazaki. Τα τμήματα Okazaki στα ευκαρυωτικά κύτταρα έχουν μήκος εκατοντάδες νουκλεοτίδια, με κενά μεταξύ τους.

1 Η πριμάση συνδέεται με την αλυσίδα-καλούπι και συνθέτει έναν RNA εκκινητή.

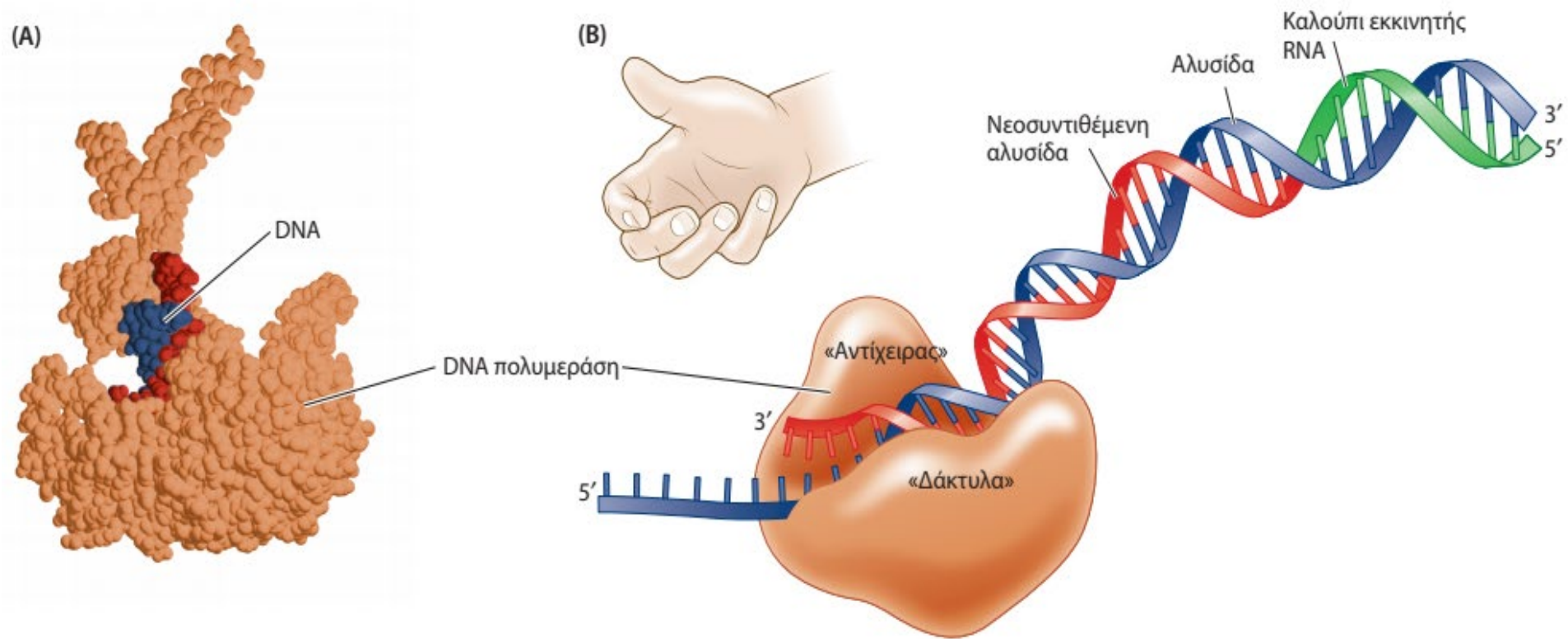


2 Όταν ο εκκινητής είναι έτοιμος, η πριμάση απομακρύνεται. Η DNA πολυμεράση συνδέεται και συνθέτει νέο DNA.



Εικόνα 13.11 Το DNA Σχηματίζεται με έναν Εκκινητή.

Η πολυμεράση του DNA απαιτεί έναν εκκινητή – ένα «πρωταρχικό τμήμα» DNA ή RNA στο οποίο μπορεί να προσθέσει νέα νουκλεοτίδια.



Εικόνα 13.12 Η DNA Πολυμεράση Δεσμεύεται στην Αλυσίδα-Καλούπι.

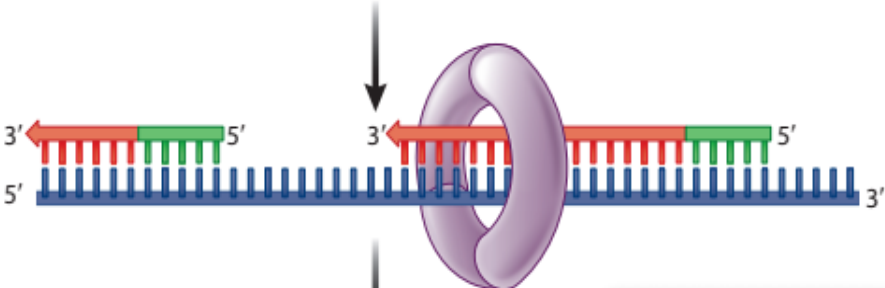
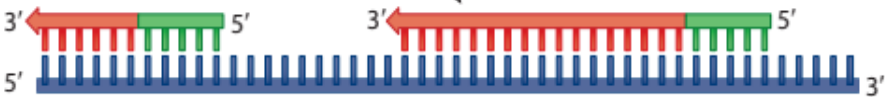
(A) Το ένζυμο της πολυμεράσης του DNA (ανοιχτό καφέ) είναι αρκετά μεγαλύτερο από το μόριο του DNA (κόκκινο και μπλε).

(B) Η DNA πολυμεράση έχει σχήμα χεριού, και κοιτάζοντάς τη από αυτή τη μεριά, τα «δάκτυλά» της φαίνεται σαν να τυλίγονται γύρω από το DNA. Αυτά τα «δάκτυλα» μπορούν να αναγνωρίζουν τα χαρακτηριστικά σχήματα των τεσσάρων βάσεων.

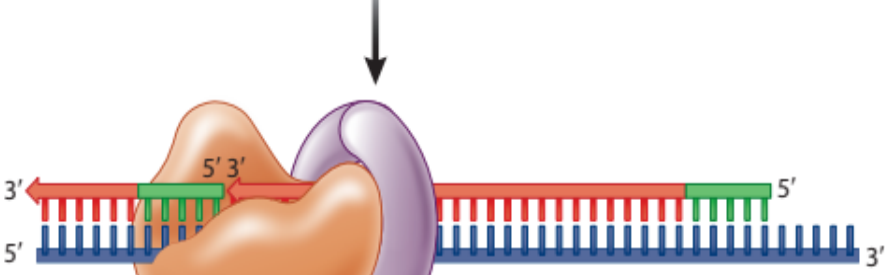
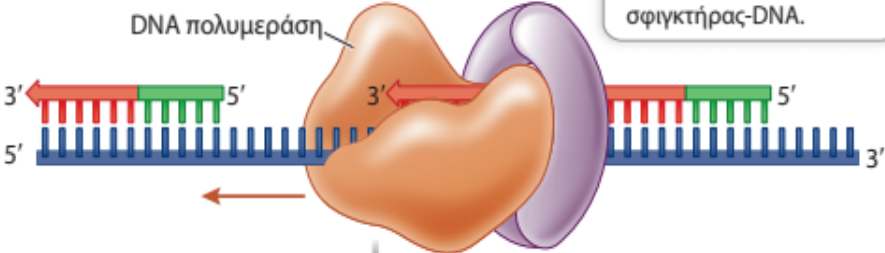
Κινητός σφιγκτήρας DNA



1 Ένας σφιγκτήρας συνδέεται στο DNA.



2 Η DNA πολυμεράση συνδέεται στο σύμπλεγμα σφιγκτήρας-DNA.



3 Ο σφιγκτήρας κρατά σταθερά ενωμένη την πολυμεράση με το DNA έτσι ώστε να ενωθούν πολλά νουκλεοτίδια για κάθε διαδικασία σύνδεσης.

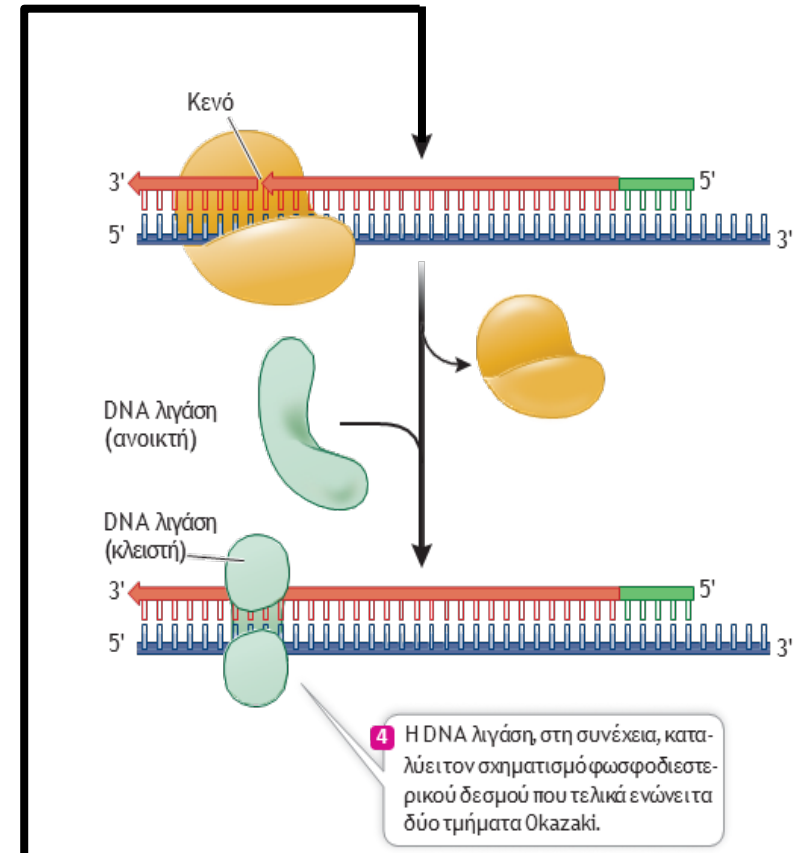
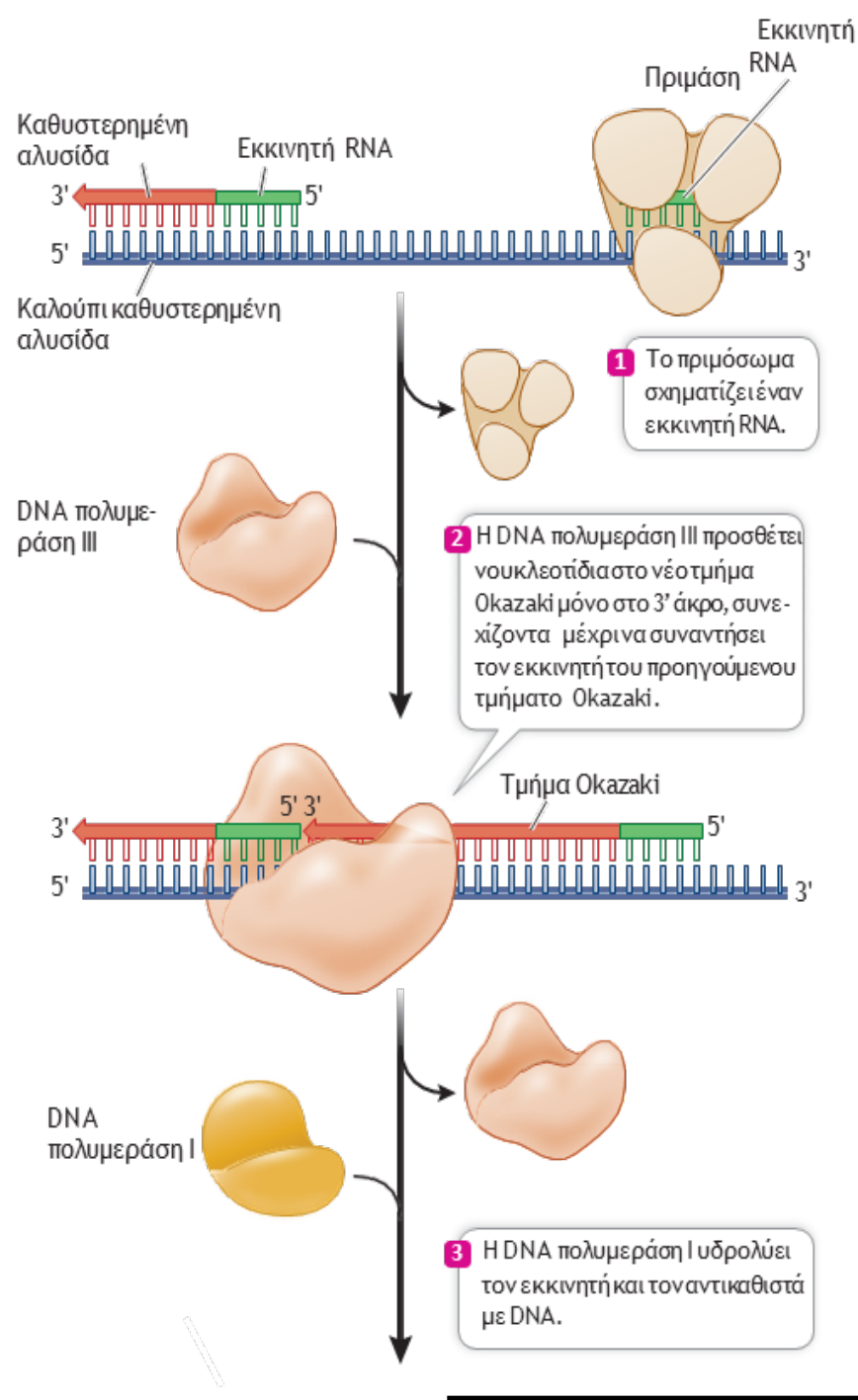
Εικόνα 13.16 Ένας Κινητός DNA

Σφιγκτήρας Αυξάνει την Αποτελεσματικότητα του Πολυμερισμού του DNA.

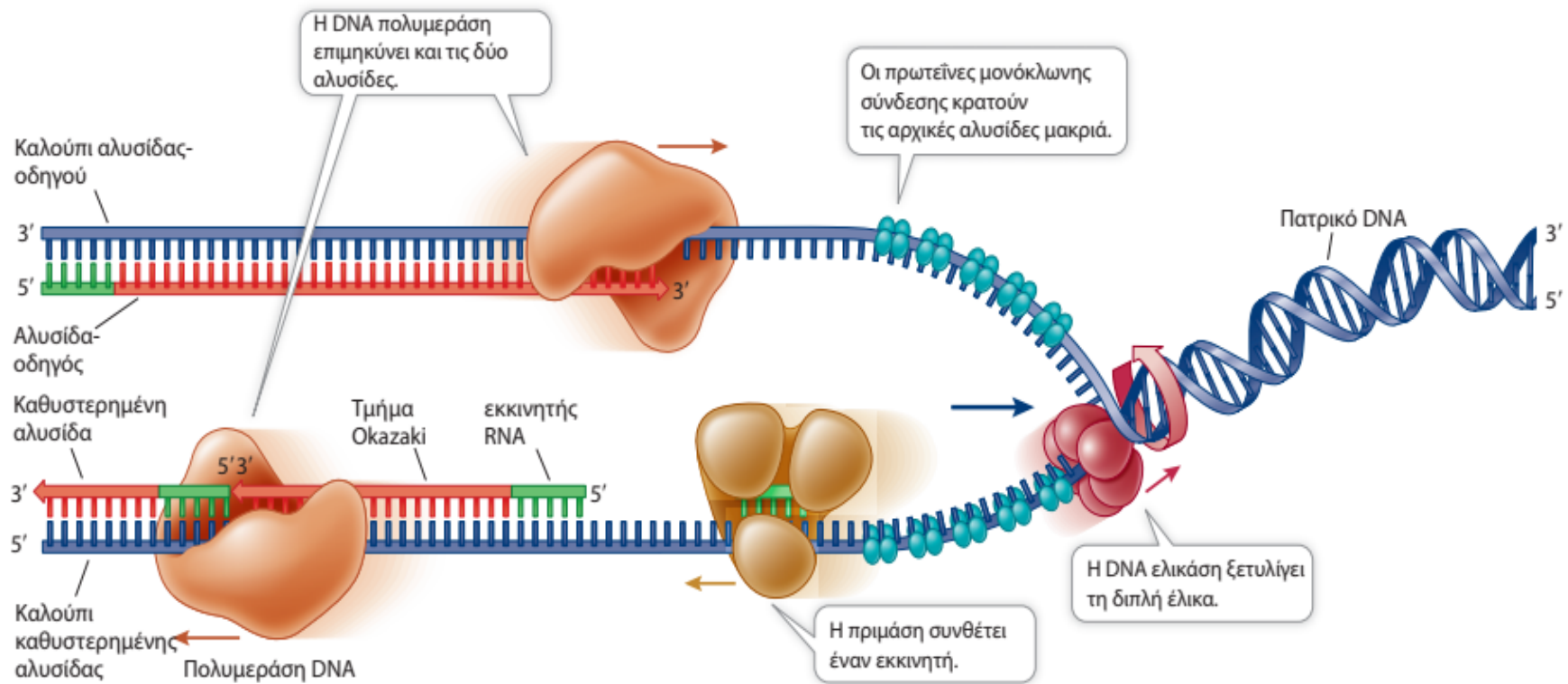
Ο σφιγκτήρας αυξάνει την αποτελεσματικότητα του πολυμερισμού, συγκρατώντας το ένζυμο συνδεδεμένο στο υπόστρωμα, έτσι ώστε να μη χρειάζεται να συνδέεται επανειλημμένα το ένζυμο με το υπόστρωμα.

Εικόνα 13.15 Η Ιστορία της Καθυστερημένης Αλυσίδας.

Στα βακτήρια, η πολυμεράση I του DNA και η λιγάση DNA του συνεργάζονται με την πολυμεράση III του DNA για να ολοκληρώσουν το σύνθετο έργο της αποκατάστασης της καθυστερημένης αλυσίδας.

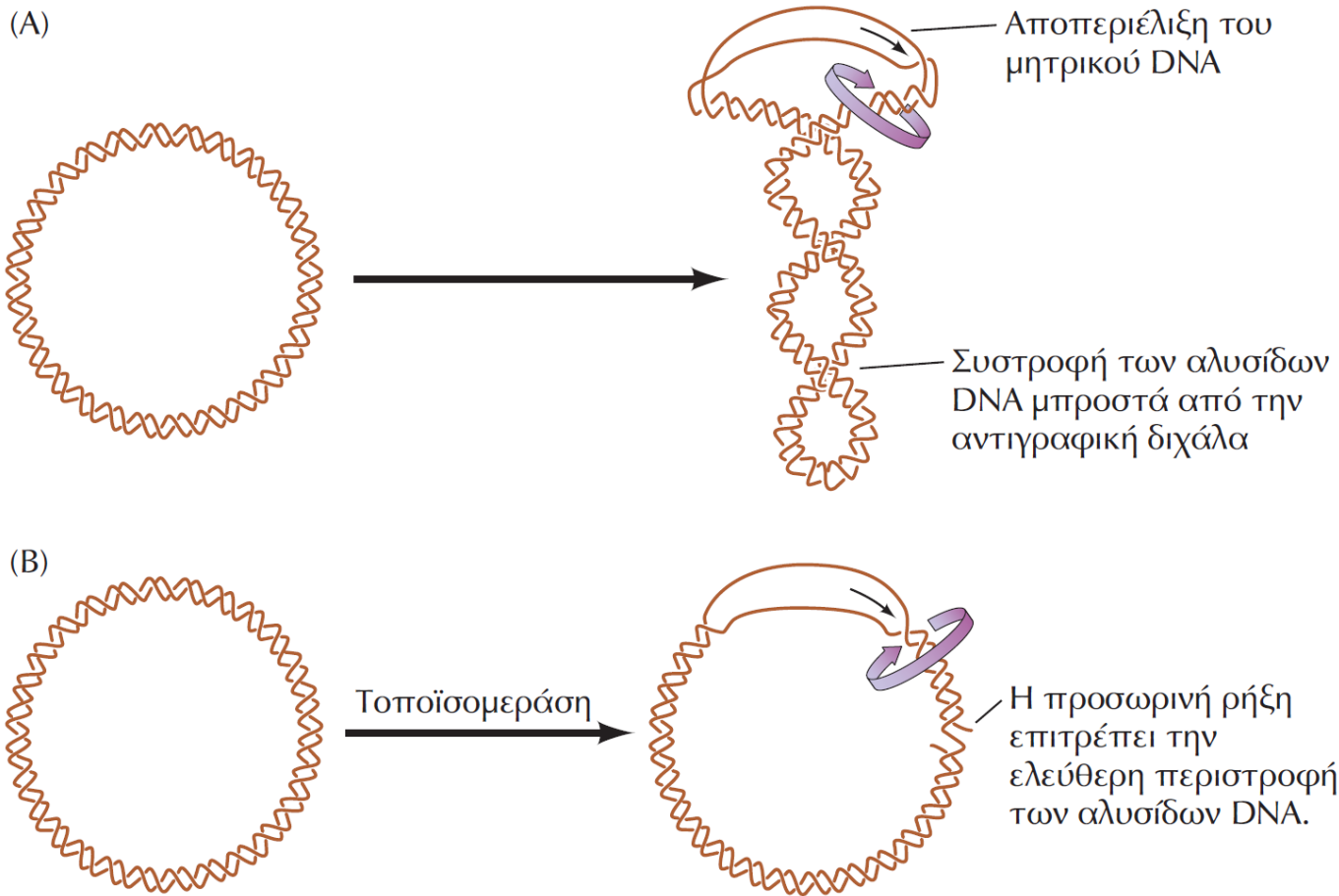


σημείο εστίασης: βασική εικόνα



Εικόνα 13.13 Πολλές Πρωτεΐνες Συνεργάζονται στο Σύμπλοκο της Αντιγραφής του DNA. Διάφορες πρωτεΐνες, εκτός από την πολυμεράση του DNA, εμπλέκονται στην αντιγραφή του DNA. Τα δύο μόρια πολυμεράσης του DNA που απεικονίζονται εδώ αποτελούν, επί της ουσίας, μέρος του ίδιου συμπλόκου.

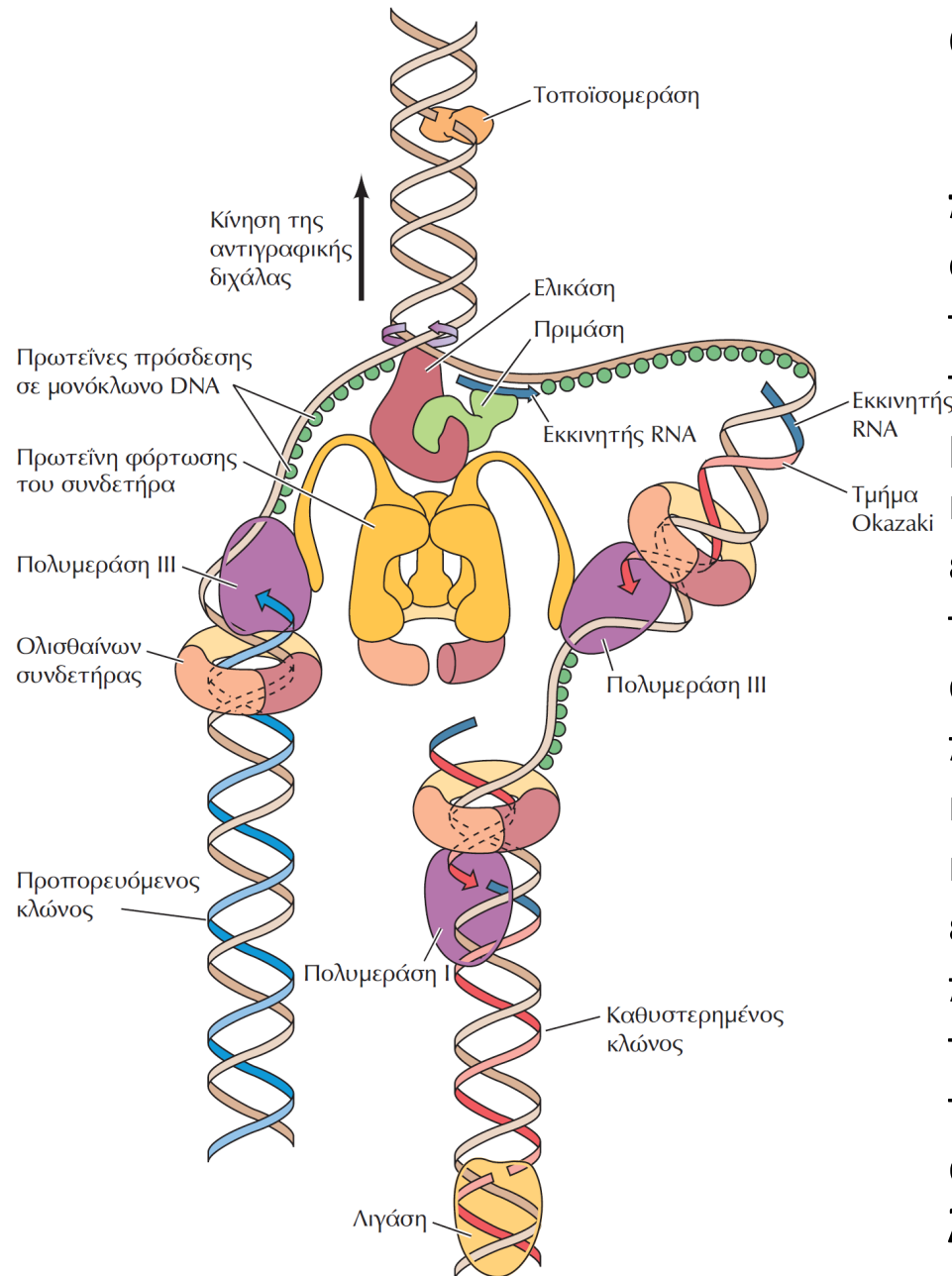
Ε: Στη διπλής κατεύθυνσης αντιγραφή με ένα σημείο έναρξης, με δύο διχάλες αντιγραφής σε αντίθετες κατευθύνσεις, οι ίδιες αλυσίδες θα είναι η μία αλυσίδα-οδηγός και η άλλη καθυστερημένη;



ΕΙΚΟΝΑ 6.9 Δράση των τοποϊσομερασών κατά την αντιγραφή του DNA.

(A) Καθώς αποπεριελίσσονται οι δύο αλυσίδες της μήτρας DNA, το DNA μπροστά από την αντιγραφική διχάλα αναγκάζεται να περιστραφεί, με αποτέλεσμα την **αυτοπεριέλιξη** των κυκλικών μορίων. (B) Το πρόβλημα επιλύεται από τις **τοποϊσομεράσες**, οι οποίες καταλύουν την **κοπή και την επανένωση** των αλυσίδων DNA. Οι προσωρινές ρήξεις που προκαλούνται από τις τοποϊσομεράσες επιτρέπουν στις δύο αλυσίδες DNA να περιστρέφονται ελεύθερα η μία γύρω από την άλλη.

ΕΙΚΟΝΑ 6.10 Μοντέλο της αντιγραφικής διχάλας της *E. coli*.



Η ελικάση, η πριμάση και δύο μόρια DNA πολυμεράσης διεξάγουν συντονισμένα τη σύνθεση τόσο του προπορευόμενου όσο και του καθυστερημένου κλώνου του DNA. Και τα δύο μόρια DNA πολυμεράσης συνδέονται με την πρωτεΐνη φόρτωσης του συνδετήρα, η οποία με τη σειρά της συνδέεται με την ελικάση στην αντιγραφική διχάλα. Η μήτρα του καθυστερημένου κλώνου αναδιπλώνεται, έτσι ώστε η πολυμεράση που διεκπεραιώνει τη σύνθεσή του να κινείται στην ίδια φορά με αυτή που κινείται η αντιγραφική διχάλα. Η τοποϊσομεράση επιτρέπει στις δύο αλυσίδες DNA να περιστρέφονται ελεύθερα η μία γύρω από την άλλη μπροστά από τη διχάλα. Πίσω από τη διχάλα, η DNA πολυμεράση I απομακρύνει τους εκκινητές RNA και η DNA λιγάση (δεσμάση) συνενώνει τα τμήματα Okazaki.

Διευκρινήσεις του μοντέλου της αντιγραφικής διχάλας της *E. coli* (ΕΙΚΟΝΑ 6.10)

Η RFC μπορεί να συνδέεται ταυτόχρονα με την DNA πολυμεράση III και με την PCNA. Κατά την αντιγραφή του DNA, η RFC πρώτα τοποθετεί την PCNA στη θέση του εκκινητή και μετά τοποθετεί την DNA πολυμεράση κολλητά με την PCNA. Το σύμπλοκο πολυμεράσης-PCNA διατηρείται και ξεκινά ο πολυμερισμός του DNA.

Όταν ο πολυμερισμός γίνεται στον προπορευόμενο κλώνο, η RFC παραμένει συνεχώς συνδεδεμένη με την πολυμεράση III που είναι συνδεδεμένη με την PCNA. Όταν η αντιγραφή γίνεται στον καθυστερημένο κλώνο, η RFC παραμένει πάλι συνδεδεμένη με την πολυμεράση (και αυτή με την PCNA), μέχρις ότου η πολυμεράση συναντήσει τον επόμενο εκκινητή. Τότε η PCNA ξεκολλά από την πολυμεράση που εξακολουθεί όμως (η πολυμεράση) να είναι συνδεδεμένη με τον εύκαμπτο βραχίονα της RFC. Η RFC προσλαμβάνει μια νέα PCNA στον καινούργιο εκκινητή, μεταφέρει την πολυμεράση στη νέα PCNA και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Η πολυμεράση I υδρολύει τον εκκινητή RNA και τον αντικαθιστά με DNA. Η λιγάση ενώνει τα κενά που υπάρχουν.

Εικόνα 13.10 Σημεία Έναρξης της Αντιγραφής του DNA.

(A) Τα προκαρυωτικά χρωμοσώματα συνήθως έχουν ένα μοναδικό σημείο έναρξης όπου η αντιγραφή του DNA ξεκινά και προχωρά και προς τις δύο κατευθύνσεις.

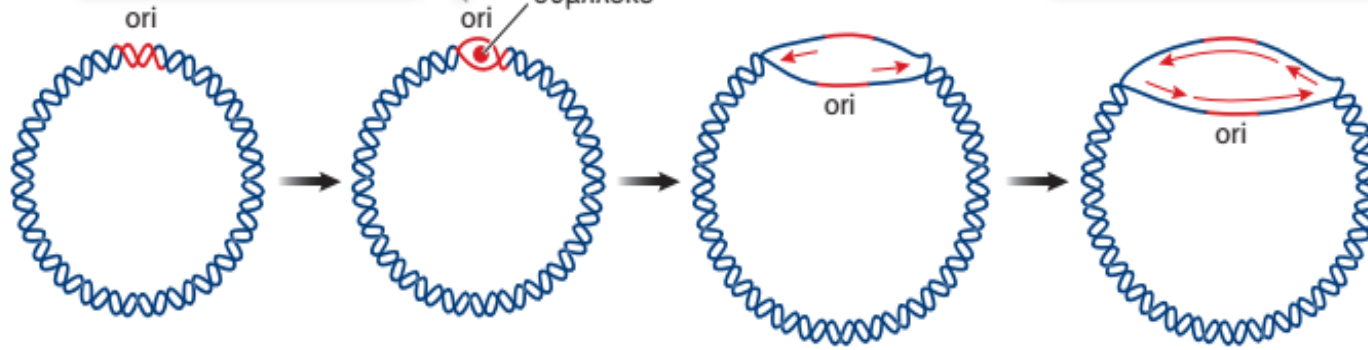
(B) Το συνήθως μεγαλύτερο ευκαρυωτικό χρωμόσωμα διαθέτει, κατά κανόνα, πολλαπλά σημεία έναρξης.

(A) Ένα μόνο *ori* σε κάθε προκαρυωτικό χρωμόσωμα

1 Το προ-αντιγραφικό σύμπλοκο συνδέεται με την αλληλουχία του *ori*.

Προ-αντιγραφικό σύμπλοκο

2 Οι δύο διχάλες της αντιγραφής απομακρύνονται μεταξύ τους.

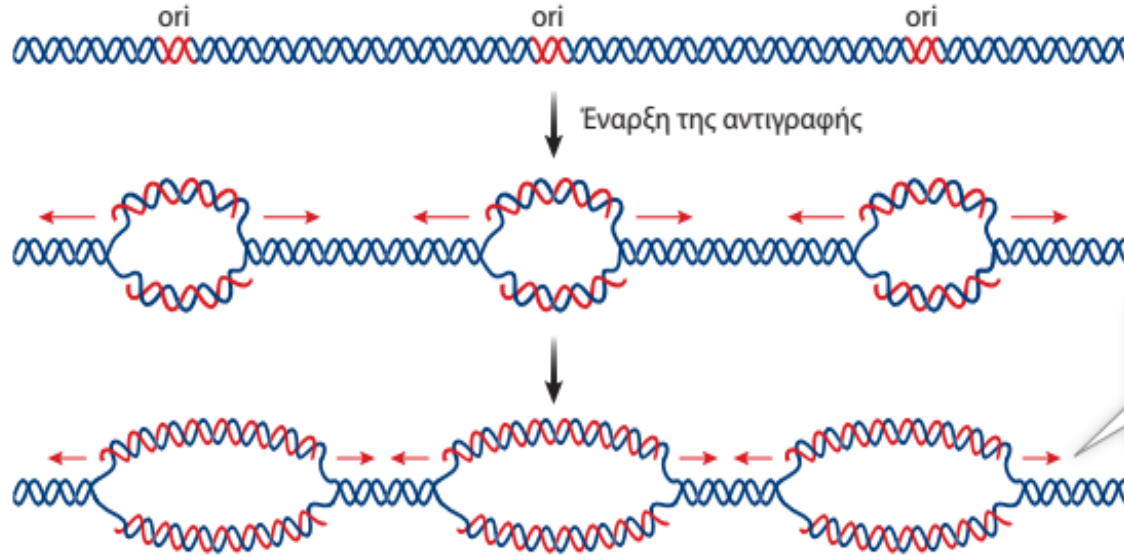


(B) Πολλαπλά *ori* σε κάθε ευκαρυωτικό χρωμόσωμα

Υπάρχουν πολλαπλά σημεία έναρξης της αντιγραφής.

Έναρξη της αντιγραφής

Οι διχάλες της αντιγραφής απομακρύνονται η μία από την άλλη.



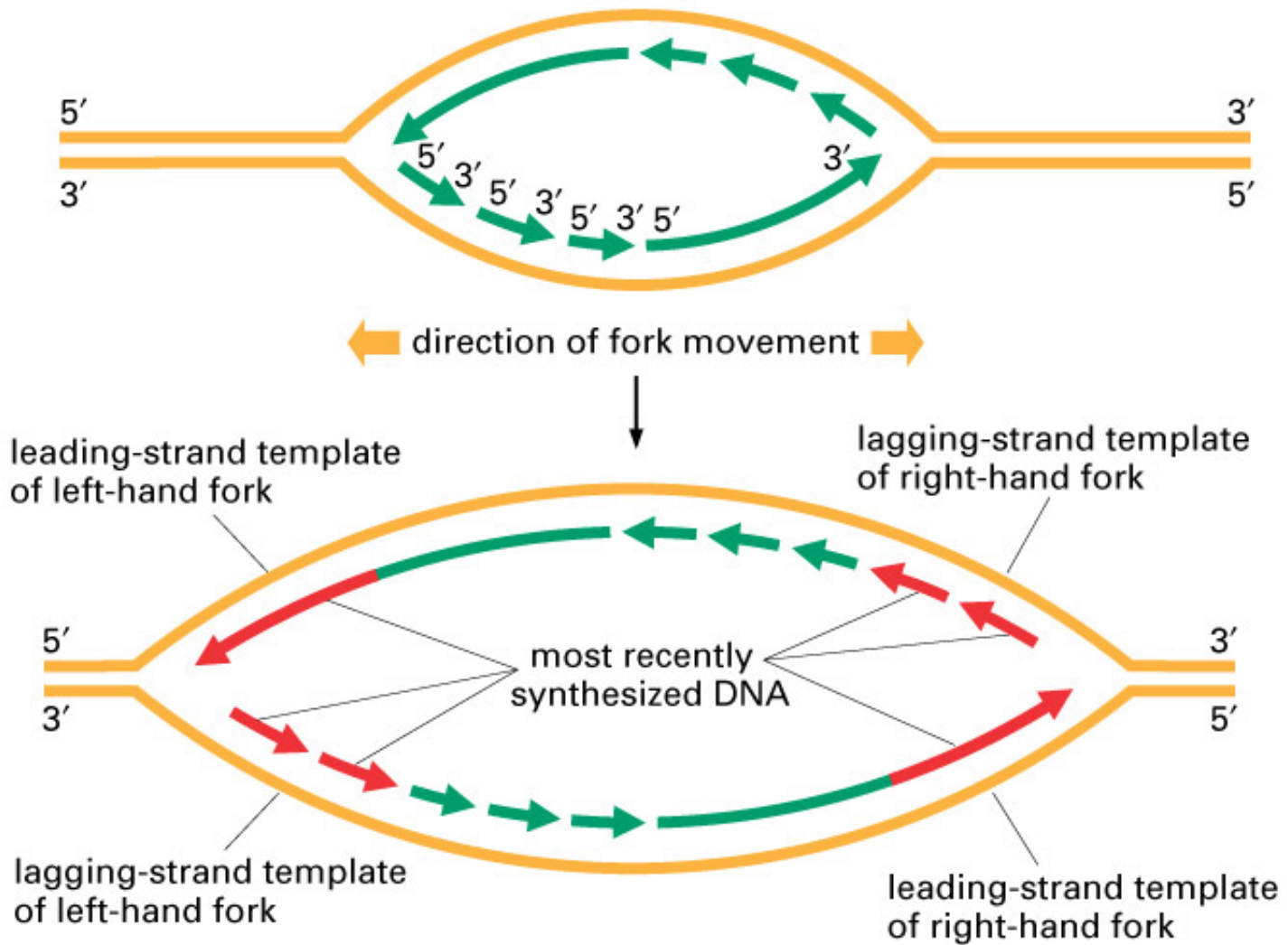


Figure 6-12 Essential Cell Biology, 2/e. (© 2004 Garland Science)

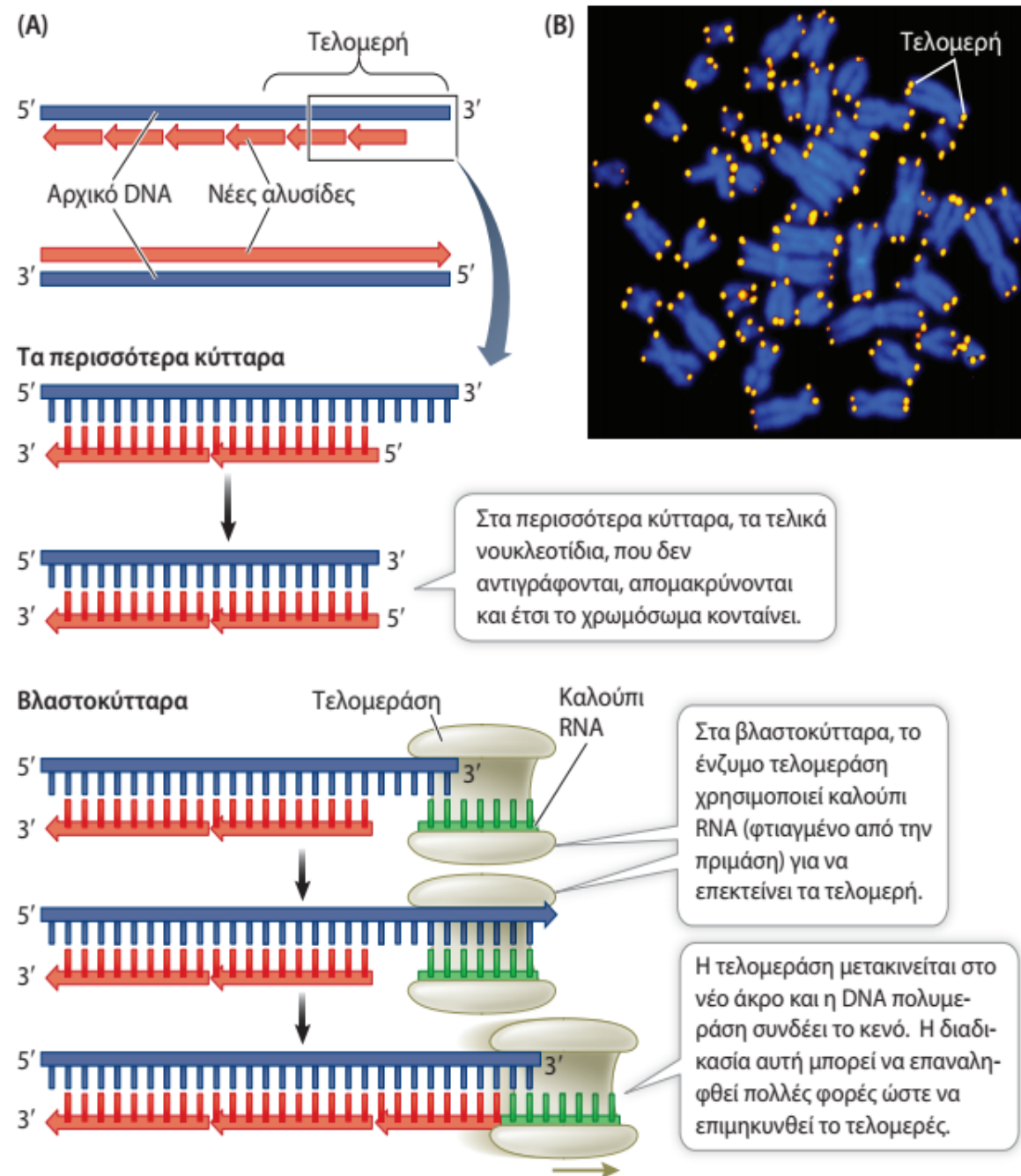
Η αντιγραφική διχάλα κινείται αμφίπλευρα

Εικόνα 13.17 Τελομερή και Τελομεράση.

(A) Στα περισσότερα κύτταρα, το χρωμόσωμα κονταίνει με κάθε αντιγραφή του, γιατί το DNA που δεν αντιγράφεται στο 3' άκρο του μητρικού DNA, απομακρύνεται.

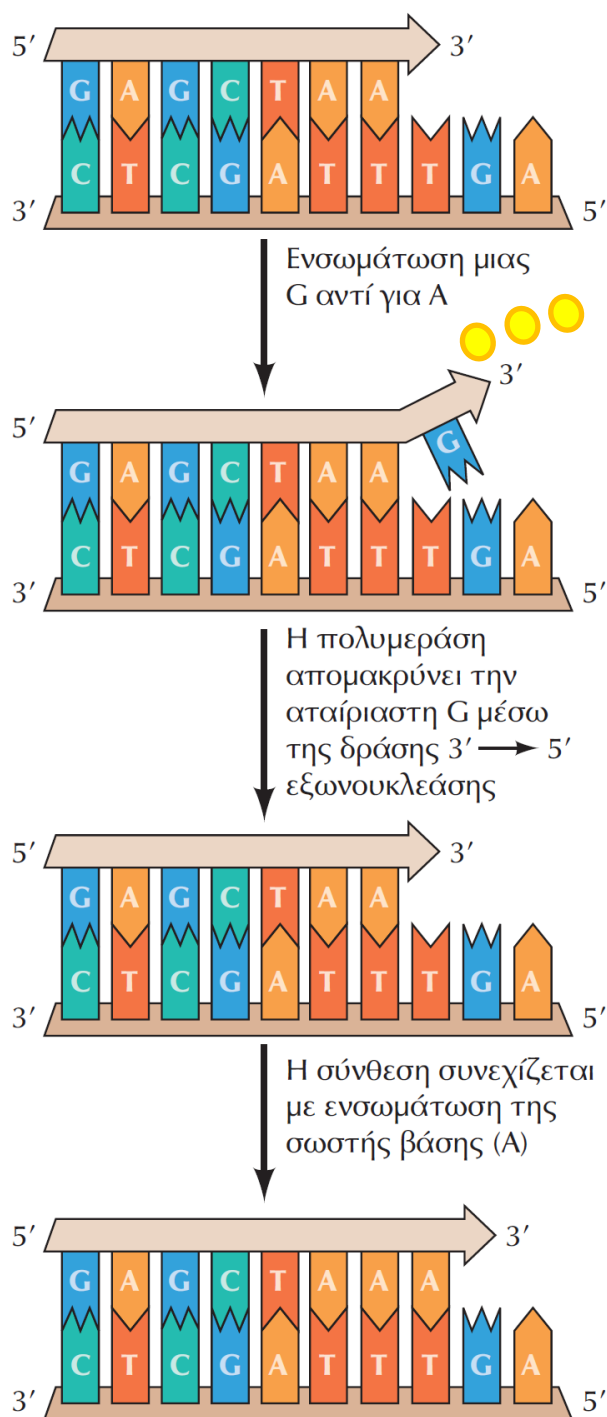
Εντούτοις, στα βλαστοκύτταρα, η τελομεράση χρησιμοποιεί ένα καλούπι RNA για να επεκτείνει τα τελομερή και να εμποδίσει τη βράχυνση του χρωμοσώματος. (B) Η χρώση με φθορίζουσα χρωστική δείχνει τις τελομερικές περιοχές στα βαμμένα μπλε ανθρώπινα χρωμοσώματα.

Ε: Γιατί τα κύτταρα τα οποία σχηματίζουν γαμέτες εκφράζουν τελομεράση;



Δ. Διορθωτικός έλεγχος

ΕΙΚΟΝΑ 6.11 Διορθωτικός έλεγχος από την DNA πολυμεράση.



Μία G ενσωματώνεται στη θέση μιας A, απέναντι από μια T της αλυσίδας-μήτρας. Λόγω του αταίριαστου ζευγαρώματος, η G στο 3' άκρο δε συνδέεται με δεσμούς υδρογόνου με την αλυσίδα-μήτρα. Το γεγονός αυτό επάγει την απομάκρυνσή της μέσω της **ενεργότητας 3' προς 5' εξωνουκλεάσης** της DNA πολυμεράσης, η οποία, για να συνεχίσει τη σύνθεση, χρειάζεται το 3' άκρο του εκκινητή να είναι ζευγαρωμένο με την αλυσίδα-μήτρα.

Μετά την εκτομή της αταίριαστης G, η σύνθεση DNA μπορεί να συνεχιστεί με την ενσωμάτωση του σωστού νουκλεοτιδίου (εδώ μιας A).

Θα μπορούσε να γίνει η προηγούμενη επιδιόρθωση αν τα ελεύθερα νουκλεοτίδια είχαν τρεις φωσφορικές ομάδες στην θέση 3' αντί της 5';

Ή: είναι προτιμότερο ο πολυμερισμός να καθορίζεται από ελεύθερα ή ήδη ενσωματωμένα νουκλεοτίδια;

Η πιστότητα της αντιγραφής του DNA

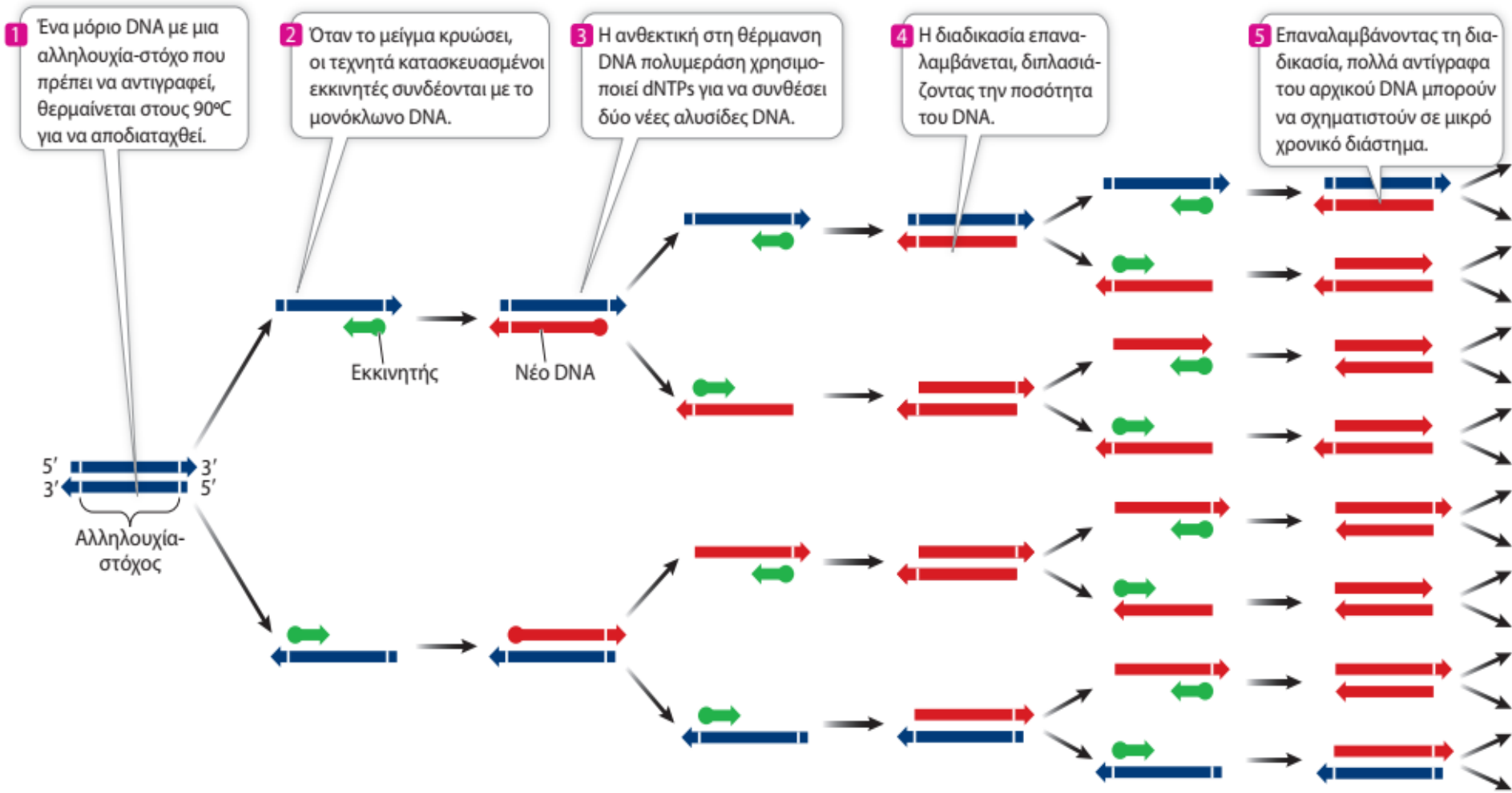
Από δεδομένα γονιδίων προκύπτει 1 λάθος ανά 10^9 νουκλεοτίδια.

- Από μετρήσεις της **ελεύθερης ενέργειας** (βάσεις) μόνο θα έπρεπε να είναι 1:10².
- Η **DNA πολυμεράση ως εξειδικευμένο ένζυμο πολυμερισμού** (προηγούμενη σελίδα) βελτιώνει την ποιότητα της αντιγραφής στα 1:10⁴ λάθη.
- Η ικανότητα **διορθωτικού ελέγχου** της DNA πολυμεράσης (ενεργότητα εξωνουκλεάσης) (προηγούμενη σελίδα) βελτιώνει επιπροσθέτως την αντιγραφή 100-1000 φορές.

Σύνολο λαθών μετά από την DNA πολυμεράση 1:10⁷-10⁸

- **Επιπρόσθετοι μηχανισμοί** που ελέγχουν το νεοσυντιθέμενο DNA 1:10⁹

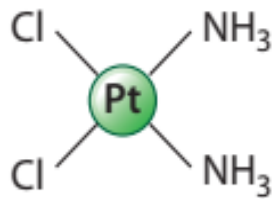
Ε. Ο πολυμερισμός του DNA
στη βιοτεχνολογία και την ιατρική



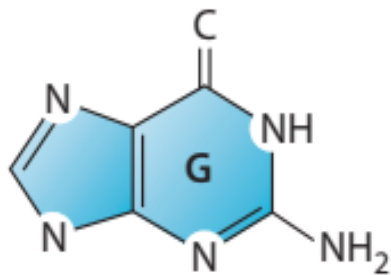
Εικόνα 13.19 Η Αλυσιδωτή Αντίδραση Πολυμεράσης.

Τα βήματα σε αυτή την κυκλική διαδικασία επαναλαμβάνονται πολλές φορές για να παραχθούν πολλαπλά όμοια αντίγραφα του τμήματος DNA. Αυτό δίνει αρκετό DNA για χημικές αναλύσεις και γενετικούς χειρισμούς.

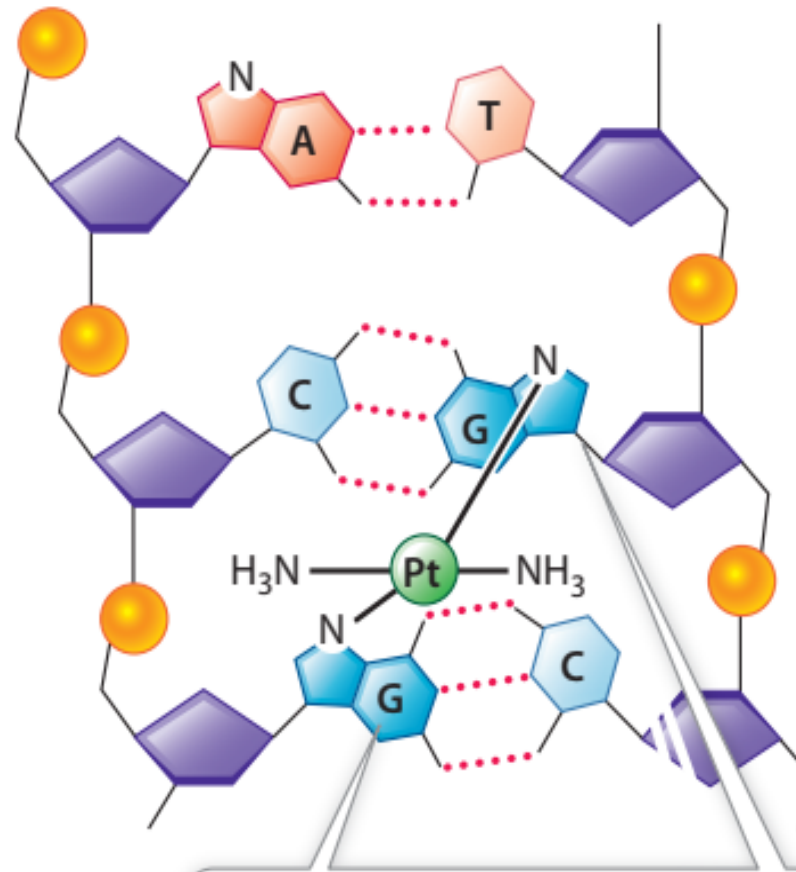
(Α) Σισπλατίνη



(Β) Γουανίνη



(Γ) Αλληλοσύνδεση των αλυσίδων του DNA μέσω της σισπλατίνης



Η σισπλατίνη συνδέεται σε δύο γουανίνες, αλληλοσυνδέοντας τις δύο αλυσίδες του DNA και καταστρέφοντας τη διπλή έλικα.

Εικόνα 13.20 Σισπλατίνη: Ένα Μικρό Αλλά Θανατηφόρο Μόριο.

Τέλος