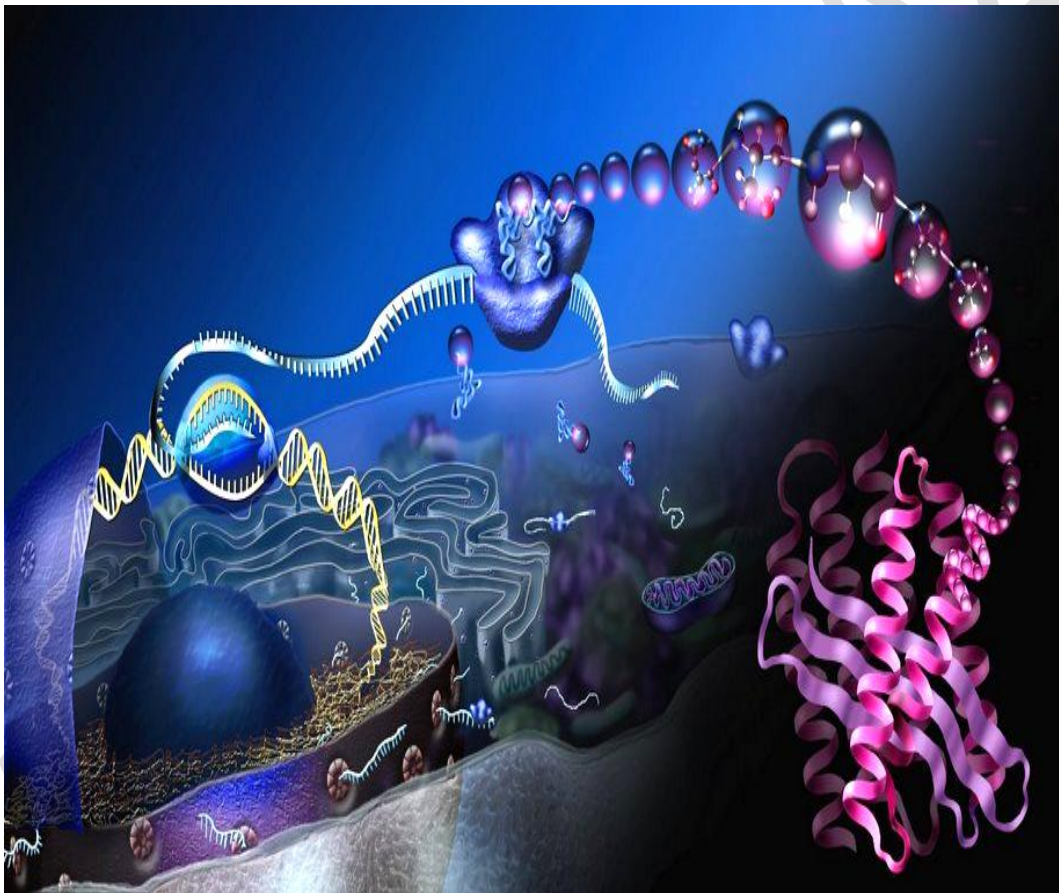


# Αντιγραφή, έκφραση και ρύθμιση της γενετικής πληροφορίας



## 2ο κεφάλαιο

## Περιεχόμενα

|                                                                                    | από σελίδα |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Αντιγραφή του DNA</b>                                                           | 29         |
| • Το DNA αυτοδιπλασιάζεται                                                         | 29         |
| • Στην αντιγραφή του DNA συνεργάζονται πολλά ένζυμα                                | 29         |
| <b>Έκφραση της γενετικής πληροφορίας</b>                                           | 34         |
| • Η ροή της γενετικής πληροφορίας                                                  | 34         |
| <i>Μακρομόρια πρωτεΐνες (ένθετο)</i>                                               | 39         |
| • Μεταγραφή του DNA                                                                | 41         |
| <i>Έναρξη της μεταγραφής &amp; προστασία του mRNA (ένθετο)</i>                     | 44         |
| • Ο γενετικός κώδικας είναι η αντιστοίχιση τριπλετών βάσεων σε αμινοξέα            | 49         |
| • Μετάφραση                                                                        | 51         |
| <b>Γονιδιακή ρύθμιση: ο έλεγχος της γονιδιακής έκφρασης</b>                        | 57         |
| • Η έκφραση των γονιδίων ρυθμίζεται με διάφορους μηχανισμούς                       | 57         |
| • Η γονιδιακή ρύθμιση στους προκαρυωτικούς οργανισμούς                             | 59         |
| • Η γονιδιακή ρύθμιση στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς                              | 62         |
| <b>Διευκρινίσεις – επισημάνσεις &amp; απαντημένα θέματα συνδυασμού – σύγκρισης</b> | 64         |

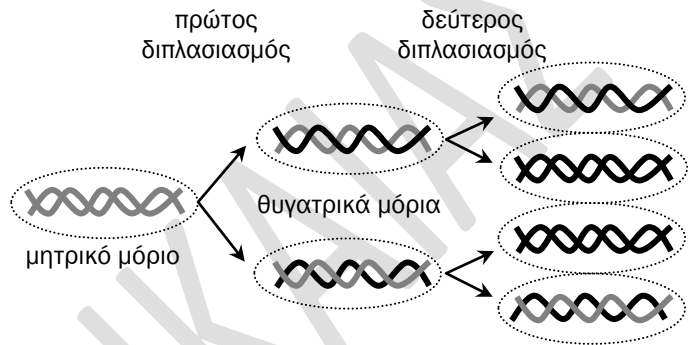
## Αντιγραφή του DNA

### Το DNA αυτοδιπλασιάζεται

#### 2.1 Γιατί ο μηχανισμός της αντιγραφής του DNA ονομάστηκε ημισυντηρητικός;

ΠΕ '16

- Όταν η διπλή έλικα του DNA ξετυλίγεται, κάθε αλυσίδα λειτουργεί σαν καλούπι για τη σύνθεση μιας νέας συμπληρωματικής αλυσίδας.
- Έτσι, τα δύο **θυγατρικά μόρια** που προκύπτουν είναι **πανομοιότυπα** με το μητρικό δίκλωνο μόριο DNA και καθένα αποτελείται από **μια παλιά και μια καινούργια αλυσίδα**.



### Στην αντιγραφή του DNA συνεργάζονται πολλά ένζυμα

#### 2.2 Αντιγραφή – απλή ή πολύπλοκη διαδικασία;

Πώς πραγματοποιείται με ταχύτητα και ακρίβεια;

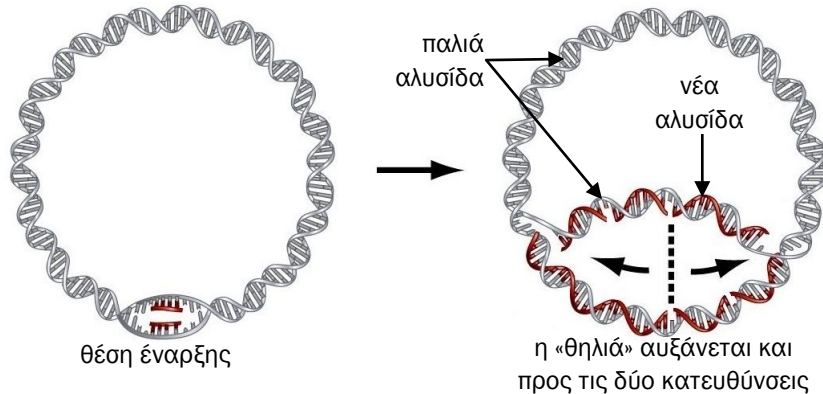
- Η διαδικασία της αντιγραφής, όπως υποδηλώνεται από τη δομή της διπλής έλικας και τον ημισυντηρητικό μηχανισμό, φαίνεται απλή. Όμως, ύστερα από πολύχρονη ερευνητική μελέτη, διαπιστώθηκε ότι η διαδικασία στην πραγματικότητα είναι ιδιαίτερα **πολύπλοκη**.
- Τα κύτταρα διαθέτουν ένα σημαντικό «οπλοστάσιο» εξειδικευμένων **ενζύμων** και **πρωτεϊνών**, που **λειτουργούν ταυτόχρονα** και καταλύουν τις χημικές αντιδράσεις της αντιγραφής με μεγάλη **ταχύτητα** και εκπληκτική **ακρίβεια**.

#### 2.3 Γιατί ο μηχανισμός της αντιγραφής έχει μελετηθεί περισσότερο στα βακτήρια;

- Έχει μελετηθεί πολύ περισσότερο στα προκαρυωτικά κύτταρα, και κυρίως στο βακτήριο *E.coli*, διότι το DNA τους είναι:
  - **πολύ μικρότερο** και
  - **απλούστερα οργανωμένο**, από το DNA των ευκαρυωτικών κυττάρων.
- Τα βασικά στάδια του μηχανισμού της αντιγραφής παρουσιάζουν **σημαντικές ομοιότητες** και στα δυο είδη κυττάρων.

## 2.4 Τι είναι οι θέσεις έναρξης της αντιγραφής και γιατί δημιουργούνται πολλές περισσότερες στα ευκαρυωτικά κύτταρα;

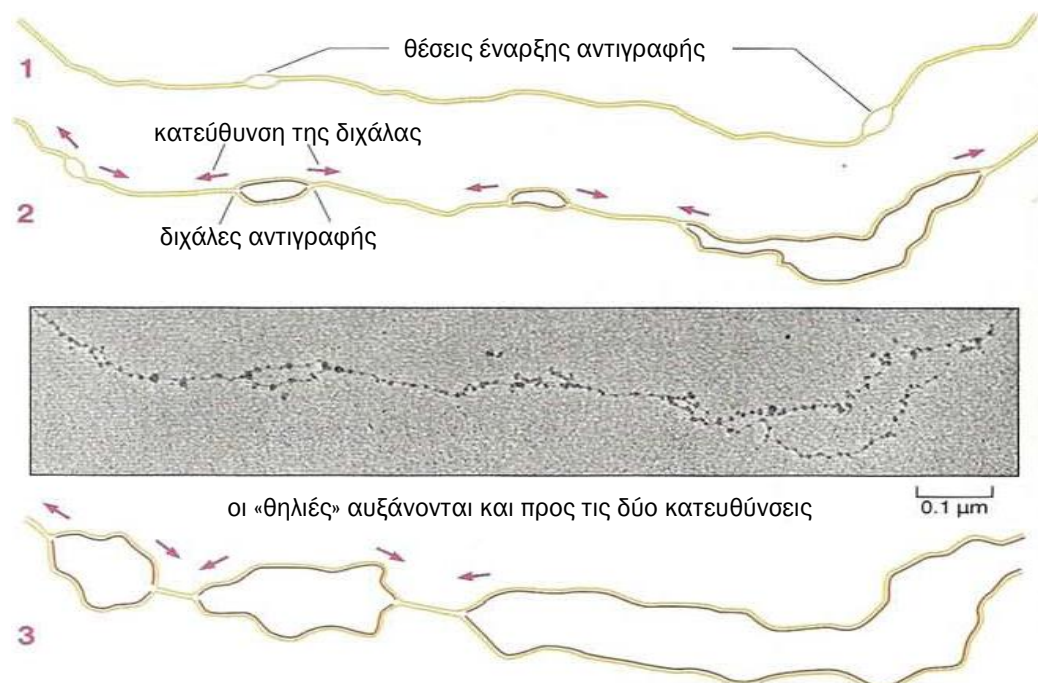
- Η αντιγραφή του DNA αρχίζει από **καθορισμένα σημεία**, που ονομάζονται **θέσεις έναρξης** της αντιγραφής.
- Το **βακτηριακό DNA**, που είναι κυκλικό, έχει **μια μόνο θέση έναρξης** της αντιγραφής και αντιγράφεται σε **λιγότερο από 30 λεπτά**, σε ευνοϊκές συνθήκες.



- Στα ευκαρυωτικά κύτταρα, πριν την αντιγραφή, **κάθε χρωμόσωμα έχει ένα μακρύ μόριο DNA**, το οποίο έχει **πολυάριθμες θέσεις έναρξης** της αντιγραφής.

→ Έτσι το DNA των χρωμοσωμάτων αντιγράφεται **ταυτόχρονα** από **εκατοντάδες σημεία** σε όλο το μήκος του και στη συνέχεια τα τμήματα που δημιουργούνται ενώνονται μεταξύ τους\*.

→ Με τον τρόπο αυτό το DNA των ευκαρυωτικών οργανισμών, παρ' ότι είναι **1.000 φορές μεγαλύτερο** από των προκαρυωτικών, **αντιγράφεται πολύ γρήγορα**.



\* Με τη βοήθεια του ενζύμου DNA δεσμάση.

## 2.5 Τι γνωρίζετε για το ρόλο των ενζύμων στη διαδικασία της αντιγραφής του DNA;

ΠΕ '00

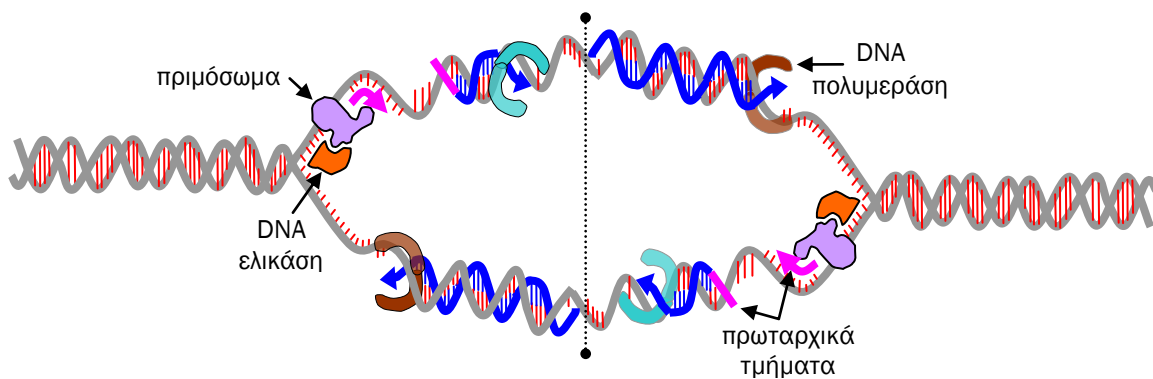
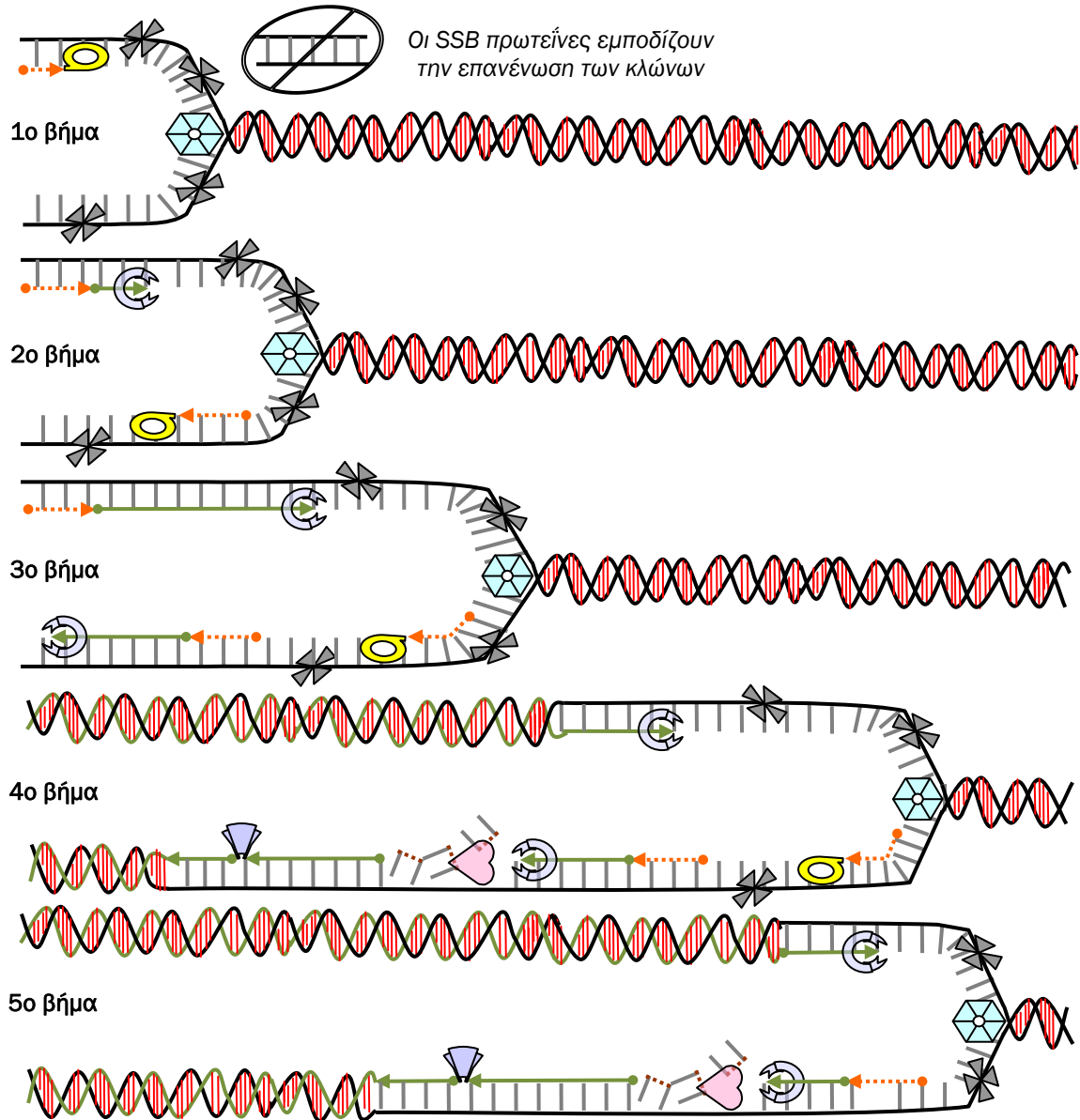
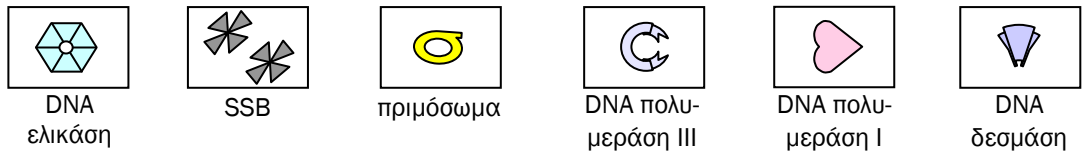
| Ένζυμο                                   | Ρόλος                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1ο.<br>DNA ελικάση                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ξετυλίγει τις δύο αλυσίδες του DNA στις θέσεις έναρξης της αντιγραφής, σπάζοντας τους δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των δύο αλυσίδων.</li> <li>→ Όταν ανοίξει η διπλή έλικα δημιουργείται μια «θηλιά», η οποία αυξάνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις.</li> <li>→ Οι «θηλιές» είναι ορατές με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2ο.<br>Πριμόσωμα<br>ΠΕ '06               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ειδικό σύμπλοκο πολλών ενζύμων, το οποίο συνθέτει*<sup>1</sup> στις θέσεις έναρξης της αντιγραφής μικρά τμήματα RNA, συμπληρωματικά προς τις μητρικές αλυσίδες, τα οποία ονομάζονται πρωταρχικά τμήματα.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3ο.<br>DNA<br>πολυμεράσες<br>ΠΕ '08, '15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Τα κύρια ένζυμα στην αντιγραφή, αλλά δεν μπορούν να την αρχίσουν.</li> <li>Επιμηκύνουν τα πρωταρχικά τμήματα, τοποθετώντας*<sup>2</sup> συμπληρωματικά δεοξυριβονουκλεοτίδια απέναντι από τις μητρικές αλυσίδες.</li> <li>→ Τα νέα μόρια DNA αρχίζουν να σχηματίζονται, καθώς δημιουργούνται δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των συμπληρωματικών αζωτούχων βάσεων των δεοξυριβονουκλεοτιδίων.</li> <li>Επιδιορθώνουν λάθη που συμβαίνουν κατά την αντιγραφή, διότι μπορούν να «βλέπουν» και να απομακρύνουν νουκλεοτίδια, που οι ίδιες τοποθετούν κατά παράβαση του κανόνα της συμπληρωματικότητας, και να τοποθετούν τα σωστά. Μόνο 1/100.000 νουκλεοτίδια μπορεί να ενσωματωθεί λάθος.</li> <li>Απομακρύνουν τα πρωταρχικά τμήματα RNA και τα αντικαθιστούν με τμήματα*<sup>3</sup> DNA.</li> </ul> |
| 4ο.<br>DNA δεσμάση                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Συνδέει*<sup>4</sup> όλα τα κομμάτια:</li> <li>→ της ασυνεχούς αλυσίδας.</li> <li>→ που προκύπτουν από τις διάφορες θέσεις έναρξης αντιγραφής.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 5ο.<br>Επιδιορθωτικά<br>ένζυμα<br>ΠΕ '15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Επιδιορθώνουν, σε πολύ μεγάλο ποσοστό, τα λάθη που δεν διορθώνονται από τις DNA πολυμεράσες.</li> <li>→ Έτσι ο αριθμός των λαθών στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς περιορίζεται στο 1/10<sup>10</sup>!</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

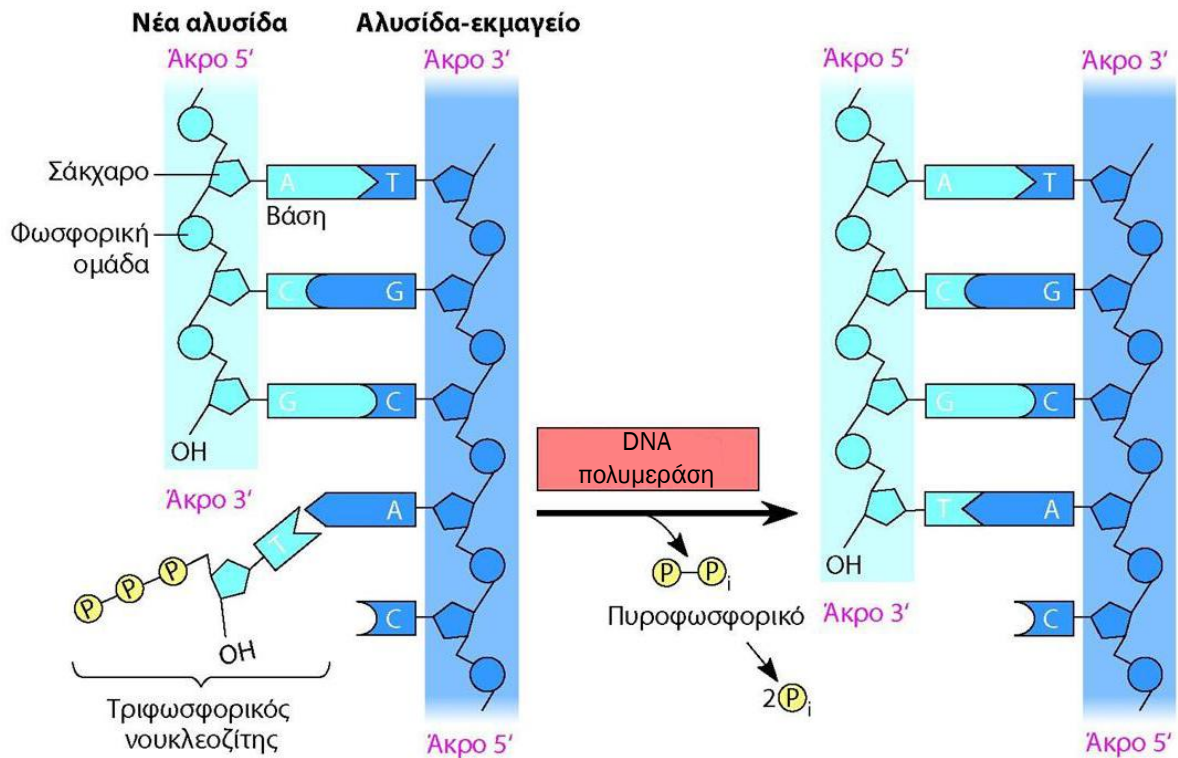
\*<sup>1</sup> Συνδέει διαδοχικά ριβονουκλεοτίδια, που έχουν ενωθεί συμπληρωματικά, με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς 3'-5' και με κατεύθυνση ανάπτυξης 5' → 3'.

\*<sup>2</sup> Συνδέουν διαδοχικά τα νέα δεοξυριβονουκλεοτίδια, που έχουν ενωθεί συμπληρωματικά στα δεοξυριβονουκλεοτίδια του παλαιού κλώνου, με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς 3'-5'.

\*<sup>3</sup> Απομακρύνουν τα ριβονουκλεοτίδια και συνδέουν τα νέα δεοξυριβονουκλεοτίδια, που «έρχονται» και ενώνονται συμπληρωματικά, με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς 3'-5'.

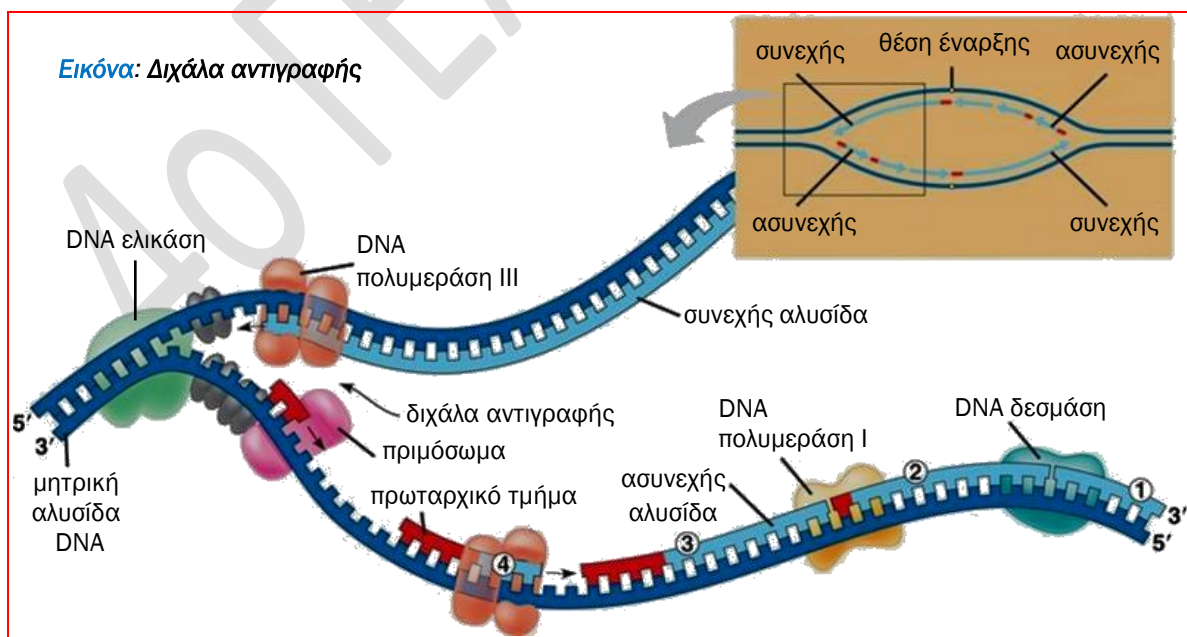
\*<sup>4</sup> Με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς 3'-5'.





**Εικόνα:** Ενσωμάτωση νουκλεοτιδίου σε αλυσίδα DNA

Η DNA πολυμεράση καταλύει την προσθήκη τριφωσφορικών νουκλεοτιδίων στο άκρο 3' μιας αυξανόμενης αλυσίδας DNA, με ταυτόχρονη απελευθέρωση δύο φωσφορικών ομάδων για κάθε προστιθέμενο νουκλεοτίδιο.



## 2.6 Γιατί κατά την αντιγραφή, η σύνθεση του DNA είναι συνεχής στη μια αλυσίδα και ασυνεχής στην άλλη;

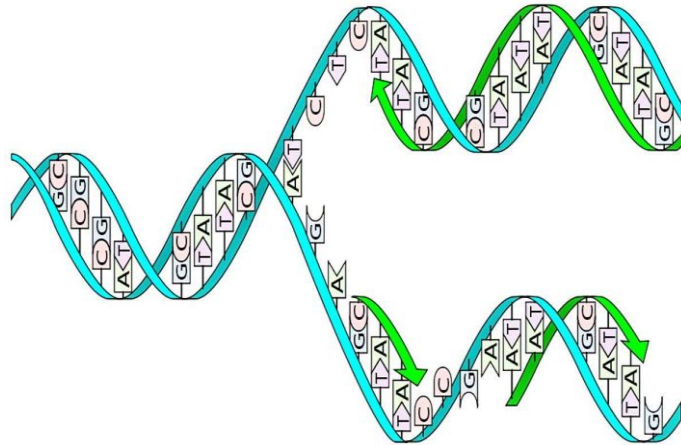
- Οι DNA πολυμεράσες λειτουργούν μόνο προς καθορισμένη κατεύθυνση και τοποθετούν τα νουκλεοτίδια στο ελεύθερο 3' άκρο της δεοξυριβόζης του τελευταίου νουκλεοτιδίου κάθε αναπτυσσόμενης αλυσίδας. Έτσι:

→ λέμε ότι η αντιγραφή γίνεται με **προσανατολισμό 5' προς 3'**.

→ κάθε νεοσυντιθέμενη αλυσίδα θα έχει προσανατολισμό 5' → 3'.

→ σε κάθε διπλή έλικα που παράγεται, οι δυο αλυσίδες θα είναι **αντιπαράλληλες**.

- Για να ακολουθηθεί αυτός ο **κανόνας** σε κάθε τμήμα DNA που γίνεται αντιγραφή, η σύνθεση του DNA είναι **συνεχής** στη μια αλυσίδα και **ασυνεχής** στην άλλη\*.



\* Αυτό συμβαίνει στις «διχάλες», ενώ στις «θηλιές» η σύνθεση του DNA είναι σε κάθε αλυσίδα κατά το ήμισυ συνεχής και κατά το ήμισυ ασυνεχής.

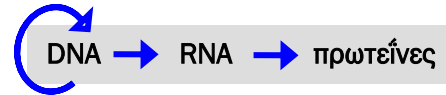
## Έκφραση της γενετικής πληροφορίας

### Η ροή της γενετικής πληροφορίας

## 2.7 Με ποιες διαδικασίες πραγματοποιείται η ροή της γενετικής πληροφορίας και σε ποιο σχήμα συνοψίζεται;

- Το DNA ενός οργανισμού περιέχει:
  - **ακριβείς οδηγίες**, οι οποίες καθορίζουν τη **δομή** και τη **λειτουργία** του **οργανισμού**.
  - την **πληροφορία** για τον **αυτοδιπλασιασμό** του, εξασφαλίζοντας έτσι τη **μεταβίβαση** των γενετικών οδηγιών:
    - ✓ από ένα κύτταρο στα θυγατρικά του και
    - ✓ από έναν οργανισμό στους απογόνους του.
- Το πρώτο βήμα για την **έκφραση** της πληροφορίας του DNA είναι η μεταφορά της στο **RNA** με τη διαδικασία της **μεταγραφής**.
- Το RNA μεταφέρει με τη σειρά του, μέσω της διαδικασίας της **μετάφρασης**, την πληροφορία στις **πρωτεΐνες** που είναι υπεύθυνες για τη δομή και λειτουργία των κυττάρων και κατ' επέκταση των οργανισμών.

- Η σχέση αυτή συνοψίζεται στο **κεντρικό δόγμα** της Μοριακής Βιολογίας (F. Crick, 1958).



→ Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση της μεταφοράς της γενετικής πληροφορίας.

## 2.8 Τι είναι, πού υπάρχει και τι καθορίζει η γενετική πληροφορία;

2ος  
ορισμός

- Είναι η **καθορισμένη σειρά** των **βάσεων**\*<sup>1</sup>.
- Υπάρχει σε **τμήματα DNA**\*<sup>2</sup> με συγκεκριμένη ακολουθία, τα **γονίδια**.
  - Αυτά\*<sup>3</sup>, δια μέσου της μεταγραφής και της μετάφρασης, **καθορίζουν τη σειρά των αμινοξέων** στην πρωτεΐνη.
  - Οι πορείες της μεταγραφής και της μετάφρασης αποτελούν\*<sup>4</sup> τη **γονιδιακή έκφραση**.

## 2.9 Τι οδήγησε στην αναδιατύπωση του κεντρικού δόγματος της Μοριακής Βιολογίας;

- Πίστευαν, ότι η **ροή γενετικής πληροφορίας** γινόταν προς μια μόνο κατεύθυνση, δηλαδή ότι το DNA μεταγραφόταν σε RNA.
- Σήμερα είναι γνωστό ότι:
  - μερικοί ιοί έχουν RNA ως γενετικό υλικό.
  - ✓ Ένα ένζυμο που υπάρχει στους ίδιους τους ιούς, η **αντίστροφη μεταγραφάση**, χρησιμοποιεί ως καλούπι το RNA για να συνθέσει DNA.
  - σε ορισμένους ιούς το **RNA** έχει την ικανότητα να **αυτοδιπλασιάζεται**\*<sup>5</sup>.
- Έτσι σήμερα το κεντρικό δόγμα περιγράφεται ως εξής:



## 2.10 Τι διαπιστώσεις συνοψίζονται στο κεντρικό δόγμα της Μοριακής Βιολογίας;

- Η **αντιγραφή** του DNA **διαιώνίζει**\*<sup>6</sup> τη γενετική πληροφορία.
- Η **μεταγραφή**\*<sup>7</sup> **καθορίζει**:
  - **ποια γονίδια** θα εκφραστούν ή και **με ποια ταχύτητα**,
  - **σε ποιους ιστούς**\*<sup>8</sup> (στους πολυκύτταρους ευκαρυωτικούς οργανισμούς) και
  - **σε ποια στάδια ανάπτυξης**\*<sup>9</sup>
- Η μετάφραση χρησιμοποιεί αυτή τη γενετική πληροφορία, για να κατασκευάσει ένα **πολυπεπτίδιο**\*<sup>10</sup>.

\*<sup>1</sup> Αζωτούχων του γονιδίου.

\*<sup>2</sup> Υπάρχει και σε τμήματα RNA στους RNA ιούς.

\*<sup>3</sup> Τα γονίδια, που κωδικοποιούν πρωτεΐνες ή πολυπεπτιδικές αλυσίδες.

\*<sup>4</sup> Η μεταγραφή και η μετάφραση είναι οι κοινές διαδικασίες της γονιδιακής έκφρασης, για τα γονίδια που κωδικοποιούν πρωτεΐνες ή πολυπεπτιδικές αλυσίδες, τόσο στους ευκαρυωτικούς όσο και στους

προκαρυωτικούς οργανισμούς. Στους ευκαρυωτικούς, συνήθως συμβαίνουν δύο επιπλέον διαδικασίες, μία μετά τη μεταγραφή (ωρίμανση) και μία μετά τη μετάφραση (τροποποίηση πρωτεϊνών.)

\*5 Χωρίς τη συμμετοχή DNA.

\*6 Κάθε σωματικό ή γεννητικό κύτταρο ενός οργανισμού προέρχεται από τη διαίρεση (με μίτωση ή μείωση) προϋπάρχοντος κυττάρου.

→ Κάθε προϋπάρχον κύτταρο, πριν από τη διαίρεσή του, διπλασιάζει το γενετικό του υλικό (αντιγραφή DNA) με μεγάλη ακρίβεια και το διαχωρίζει ισόποσα στα νέα κύτταρα.

→ Έτσι διασφαλίζεται η γενετική πληροφορία ενός κυττάρου στα θυγατρικά του σωματικά κύτταρα ή ενός οργανισμού στους απογόνους, μέσω των γαμετών.

\*7 Οι μεταγραφικοί παράγοντες, ως κύρια ρυθμιστικά στοιχεία της μεταγραφής, τα καθορίζουν.

\*8 Τα σωματικά κύτταρα των διαφόρων ιστών ενός πολυκύτταρου οργανισμού:

→ περιέχουν ίδιο ποσοτικά και ποιοτικά γενετικό υλικό, αφού προέρχονται από διαιρέσεις προϋπάρχοντος κυττάρου (ζυγωτό), αλλά

→ έχουν διαφορετική μορφή και εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες, επειδή

→ εκφράζουν (μεταγράφουν, μεταφράζουν) διαφορετικές περιοχές (γονίδια) του γενετικού υλικού.

\*9 Στα κύτταρα ενός πολυκύτταρου οργανισμού ενεργοποιούνται, κατά την ανάπτυξή του, διαφορετικά γονίδια και συντίθενται διαφορετικές πρωτεΐνες, για να καλύψουν τις ανάγκες του.

\*10 Πολυπεπτίδιο ή πολυπεπτιδική αλυσίδα.

→ Πολυμερής χημική ένωση (μακρομόριο) με καθορισμένη αλληλουχία αμινοξέων, ενωμένων με ομοιοπολικούς (πεπτιδικούς) δεσμούς.

→ Η αλληλουχία της καθορίζεται από την αλληλουχία (κωδικοποιημένη πληροφορία) των νουκλεοτιδίων του γονιδίου.

## 2.11 Ανθρώπινο γονιδίωμα και διάκριση γονιδίων.

• Όλα τα κύτταρα\*<sup>1</sup> ενός πολυκύτταρου οργανισμού έχουν το ίδιο DNA.

→ Σε κάθε ομάδα κυττάρων εκφράζονται διαφορετικά\*<sup>2</sup> γονίδια.

✓ Στα πρόδρομα\*<sup>3</sup> ερυθρά αιμοσφαίρια κυρίως τα γονίδια των αιμοσφαιρινών,

✓ Στα Β-λεμφοκύτταρα τα γονίδια των αντισωμάτων.

• Το απλοειδές ανθρώπινο γονιδίωμα έχει μήκος  $3 \times 10^9$  ζεύγη βάσεων.

→ Από αυτό, μικρό ποσοστό\*<sup>4</sup> μεταγράφεται σε RNA, δηλαδή αποτελεί τα γονίδια.

• Τα γονίδια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

→ Στα γονίδια που μεταγράφονται σε mRNA και στη συνέχεια μεταφράζονται σε πρωτεΐνες και

→ Στα γονίδια που μεταγράφονται και παράγουν tRNA, rRNA και snRNA.

\*<sup>1</sup> Σωματικά κύτταρα.

\*<sup>2</sup> Εκφράζονται κυρίως διαφορετικά γονίδια, λόγω κυτταρικής διαφοροποίησης.

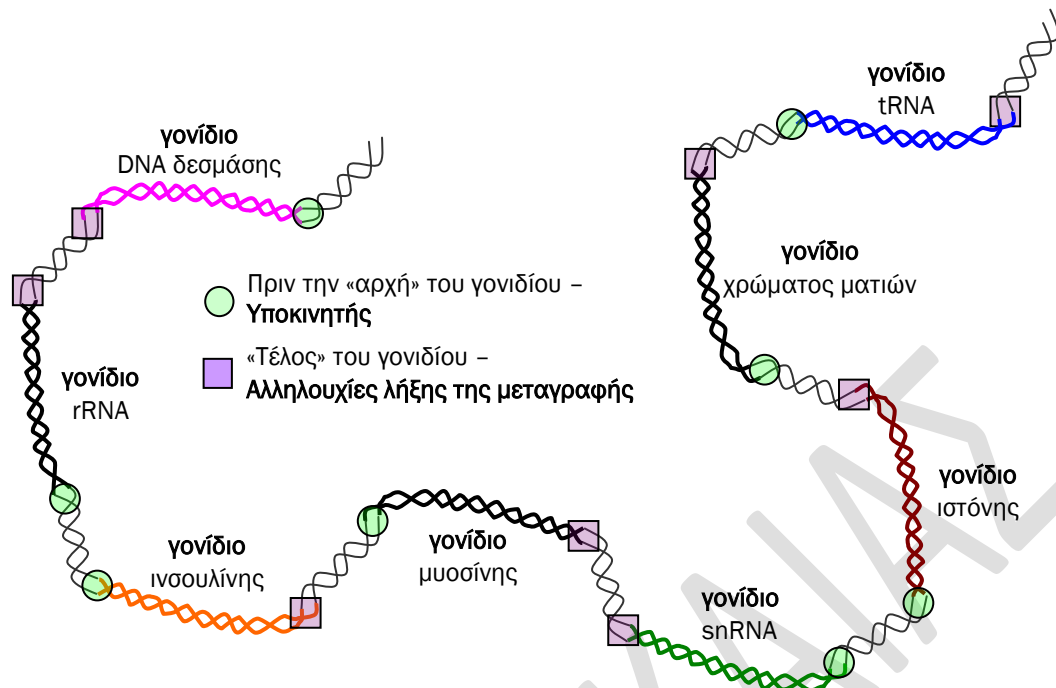
→ Εκφράζονται και ίδια γονίδια, όπως για τα ένζυμα της αντιγραφής, για τις RNA πολυμεράσες, για τις πρωτεΐνες των ριβοσωμάτων και των μικρών ριβονουκλεοπρωτεϊνικών σωματιδίων, των ενζύμων παραγωγής ενέργειας κ.ά.

\*<sup>3</sup> Κύτταρα στο μυελό των οστών και στο αίμα των περιφερικών αγγείων (σε μικρές ποσότητες).

→ Από τη διαφοροποίησή τους προκύπτουν τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος.

→ Διαθέτουν πυρήνα και εκφράζουν τα γονίδια που είναι υπεύθυνα για τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης.

\*<sup>4</sup> Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις από γονίδια αποτελείται το 25-30% του γονιδιώματος και υπολογίζεται ότι κάθε ανθρώπινο κύτταρο περιέχει το πολύ 30.000 γονίδια.

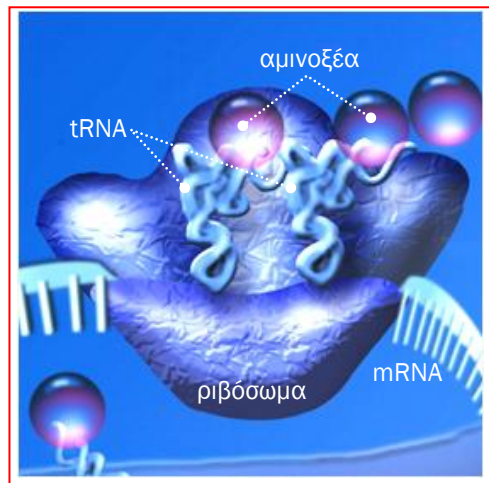


- **Σχηματική απεικόνιση ενός μορίου DNA ευκαρυωτικού χρωμοσώματος.** Τα γονίδια είναι τμήματα του χρωμοσώματος ή ακριβέστερα τμήματα του DNA τους. Ένα μεσαίου μεγέθους ανθρώπινο χρωμόσωμα φέρει **περισσότερα από 1000 γονίδια**. Τα γονίδια ελέγχουν τη διαμόρφωση των μορφολογικών και βιοχημικών κληρονομικών χαρακτηριστικών του οργανισμού.

## 2.12 Ποια είδη μορίων RNA παράγονται κατά τη μεταγραφή και ποιος είναι ο ρόλος τους;

ΠΕ '04

- **Αγγελιαφόρο RNA (mRNA).**
  - Τα μόρια αυτά μεταφέρουν την **πληροφορία** του DNA\*<sup>1</sup> για την παραγωγή μιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας.
- **Ριβοσωμικό RNA (rRNA).**
  - Τα μόρια αυτά συνδέονται με **πρωτεΐνες** και σχηματίζουν το **ριβόσωμα**\*<sup>2</sup>, ένα «σωματίδιο» απαραίτητο για την πραγματοποίηση της πρωτεϊνοσύνθεσης.



\*<sup>1</sup> Του γονιδίου.

\*<sup>2</sup> Το ριβόσωμα δομείται από δυο υπομονάδες (μικρή και μεγάλη). Κάθε υπομονάδα περιέχει περισσότερα από ένα μικρά μόρια rRNA και πρωτεΐνες.

- **Μεταφορικό RNA (tRNA).**

→ Κάθε μεταφορικό RNA συνδέεται με ένα συγκεκριμένο **αμινοξύ** και το μεταφέρει στη θέση\*<sup>1</sup> της πρωτεϊνοσύνθεσης.

- **Μικρό πυρηνικό RNA (snRNA).**

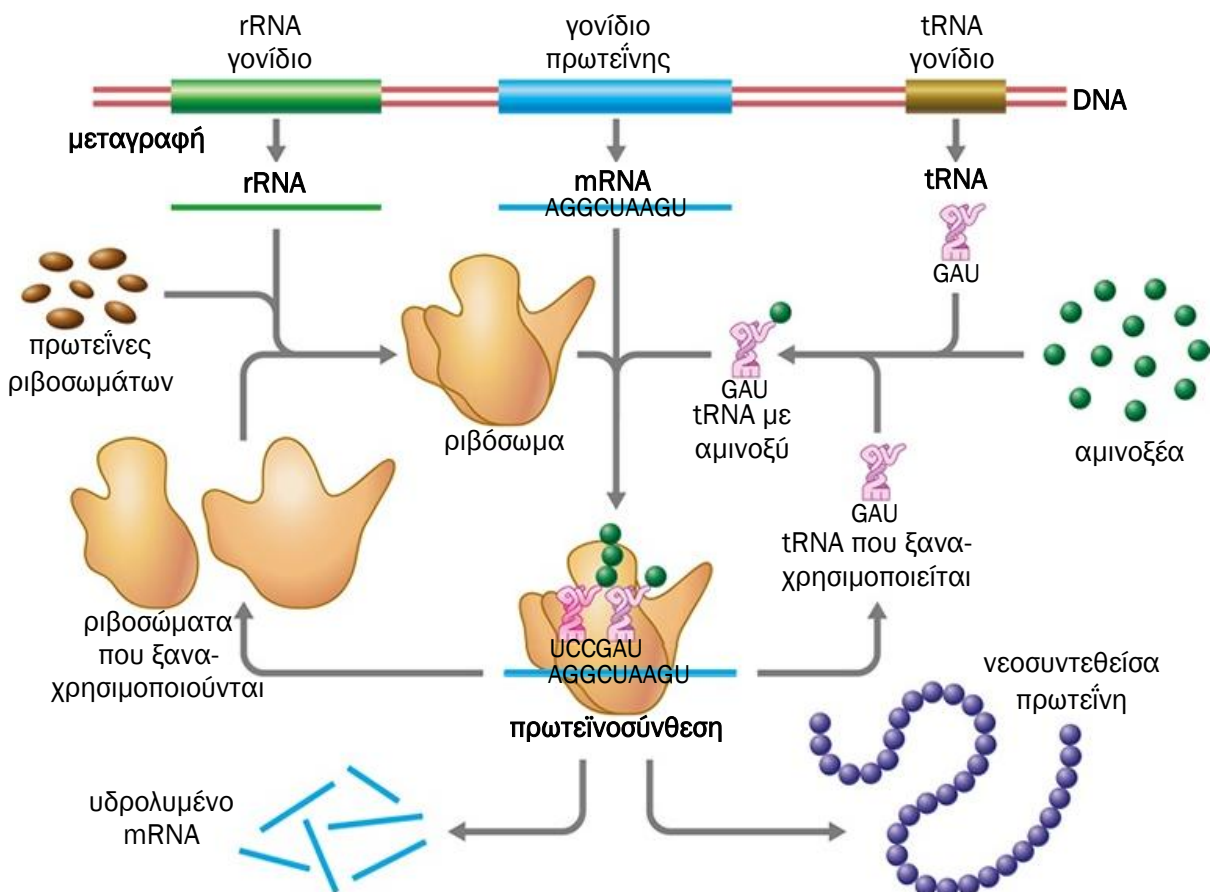
→ Είναι μικρά μόρια RNA, τα οποία **συνδέονται με πρωτεΐνες** και σχηματίζουν **μικρά ριβονουκλεοπρωτεϊνικά σωματίδια**\*<sup>2</sup>.

→ Τα σωματίδια αυτά καταλύουν την «**ωρίμανση**» του mRNA, μια διαδικασία που γίνεται **μόνο στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς**.

- Τα τρία πρώτα είδη υπάρχουν και στους προκαρυωτικούς και στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς, αλλά **το τέταρτο υπάρχει μόνο στους ευκαρυωτικούς**.

\*<sup>1</sup> Εννοεί στο ριβόσωμα.

\*<sup>2</sup> Τα σωματίδια αυτά υπάρχουν **μόνο στον πυρήνα**, όπου εκεί γίνεται και η ωρίμανση.



**Εικόνα:** Μεταγραφή γονιδίων διαφορετικών κατηγοριών και σχέση των προϊόντων τους

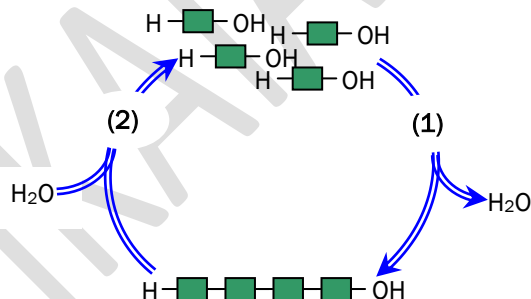
**ΜΑΚΡΟΜΟΡΙΑ – ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ (ένθετο)**

**A. Ποιες οργανικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους (πολυμερή – μακρομόρια) συναντάμε στο εσωτερικό του κυττάρου και από ποιους δομικούς λίθους (μονομερή) δομούνται;**

| Μακρομόρια                      | Μονομερή                   | Είδος ομοιοπολικού δεσμού  |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| • Πρωτεΐνες                     | ✓ Αμινοξέα                 | ✓ Πεπτιδικός               |
| • Νουκλεϊκά οξέα                | ✓ Νουκλεοτίδια             | ✓ Φωσφοδιεστερικός 3' – 5' |
| • Πολυσακχαρίτες (Υδατάνθρακες) | ✓ Μονοσακχαρίτες (γλυκόζη) | ✓ Γλυκοζιτικός             |

**B. Με ποιο χημικό μηχανισμό και με τι δεσμό συνδέονται τα μονομερή για το σχηματισμό πολυμερών - μακρομορίων;**

- Τα μονομερή συνδέονται πάντα με τον ίδιο χημικό μηχανισμό, που ονομάζεται **συμπύκνωση (1)**:  
 → Το πρώτο μονομερές χάνει μια **υδροξυλομάδα** (-OH), ενώ το δεύτερο μονομερές χάνει ένα **άτομο υδρογόνου** (H).  
 → Αφαιρείται δηλαδή ένα **μόριο νερού** (H<sub>2</sub>O).  
 → Τα δυο μονομερή συνδέονται με **ομοιοπολικό δεσμό**.
- Η διάσπαση των μακρομορίων στα μονομερή τους (**μηχανισμός αντίθετος της συμπύκνωσης**) γίνεται απαραίτητα με προσθήκη νερού και ονομάζεται **υδρόλυση (2)**.



**Γ. Ποια είναι η σημασία του ομοιοπολικού δεσμού για την έμβια ύλη;**

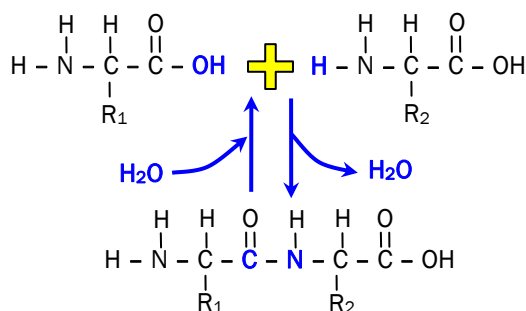
- Ο ομοιοπολικός δεσμός είναι ο πιο διαδεδομένος στην έμβια ύλη,  
 → διότι είναι **ισχυρός** και τα μακρομόρια που προκύπτουν τα χαρακτηρίζει **σταθερότητα**.

**Δ. Οι πρωτεΐνες είναι το πιο διαδεδομένο και ποικιλόμορφο είδος μακρομορίων σε κάθε είδος οργανισμού (ιοί, βακτήρια, άνθρωποι). Ποιοι παράγοντες συμβάλουν στην ποικιλομορφία των πρωτεϊνών;**

- Όλες οι πρωτεΐνες, ανεξάρτητα από τον οργανισμό που τις συναντάμε, δομούνται από την ίδια πρώτη ύλη, ένα σύνολο **20** διαφορετικών αμινοξέων.
- Παράγοντες που συμβάλουν στην ποικιλομορφία των πρωτεϊνών:  
 → Η σύνδεση αμινοξέων με διαφορετική **σειρά** (**αλληλουχία**), ακόμα και αν ο αριθμός των αμινοξέων είναι ίδιος.  
 → Το **πλήθος** (**αριθμός**) των αμινοξέων που συνθέτουν κάθε πρωτεΐνη είναι συνήθως διαφορετικός.

**E. Πώς συνδέονται τα αμινοξέα μεταξύ τους, όταν δημιουργείται ένα πολυπεπτίδιο (πρωτεΐνη);**

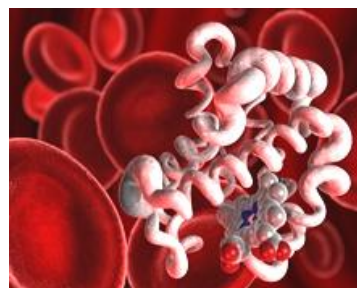
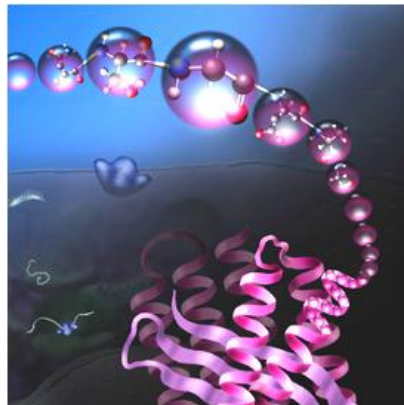
- Η ένωση δύο αμινοξέων γίνεται με το χημικό μηχανισμό της **συμπύκνωσης**.  
 → Αντιδρά η καρβοξυλομάδα του 1ου αμινοξέος με την αμινομάδα του 2ου αμινοξέος και από την ένωση δυο αμινοξέων με ομοιοπολικό δεσμό (**πεπτιδικός**) παράγεται:  
 ✓ ένα **διπεπτίδιο** και ένα μόριο νερού, λόγω συμπύκνωσης.
- Αν στο 2ο αμινοξύ του διπεπτιδίου συνδεθεί ένα 3ο αμινοξύ, δημιουργείται ένα **τριπεπτίδιο** κ.ο.κ.



## ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ (ένθετο)

## ΣΤ. Ορίστε τα επίπεδα οργάνωσης των πρωτεϊνών.

- Η πολυπεπτιδική αλυσίδα (πρωτεΐνη) δεν είναι ικανή να εκδηλώσει το δομικό ή λειτουργικό της ρόλο, αμέσως μετά τη σύνθεσή της.  
→ Αποκτά την ικανότητα αυτή, όταν πάρει την τελική της μορφή στο χώρο.
- Η διαδικασία διαμόρφωσής της ολοκληρώνεται σε **3** ή **4** το πολύ **επίπεδα**.  
→ **Πρωτοταγής δομή:** η αλληλουχία των αμινοξέων στην πολυπεπτιδική αλυσίδα.  
→ **Δευτεροταγής δομή:** η αναδίπλωση της πολυπεπτιδικής αλυσίδας, ✓ με πτυχωτή ή ελικοειδή μορφή.  
→ **Τριτοταγής δομή:** η τελική αναδίπλωση της πολυπεπτιδικής αλυσίδας στο χώρο, ώστε να αποκτήσει μια συγκεκριμένη μορφή.
- Όταν η πρωτεΐνη αποτελείται από μια πολυπεπτιδική αλυσίδα, αποκτά την τελική της μορφή με την τριτοταγή της δομή.  
→ **Τεταρτοταγής δομή:** ο συνδυασμός των επιμέρους πολυπεπτιδικών αλυσίδων σε ένα πρωτεϊνικό μόριο.
- Όταν η πρωτεΐνη αποτελείται από περισσότερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες, το τελικό επίπεδο οργάνωσης είναι η τεταρτοταγής δομή (π.χ. αιμοσφαιρίνη).



## Ζ. Ποιοι παράγοντες καθορίζουν τη διαμόρφωση και σταθεροποίηση του πρωτεϊνικού μορίου στο χώρο (χωροδιάταξη); Αιτιολογείστε τις απαντήσεις σας.

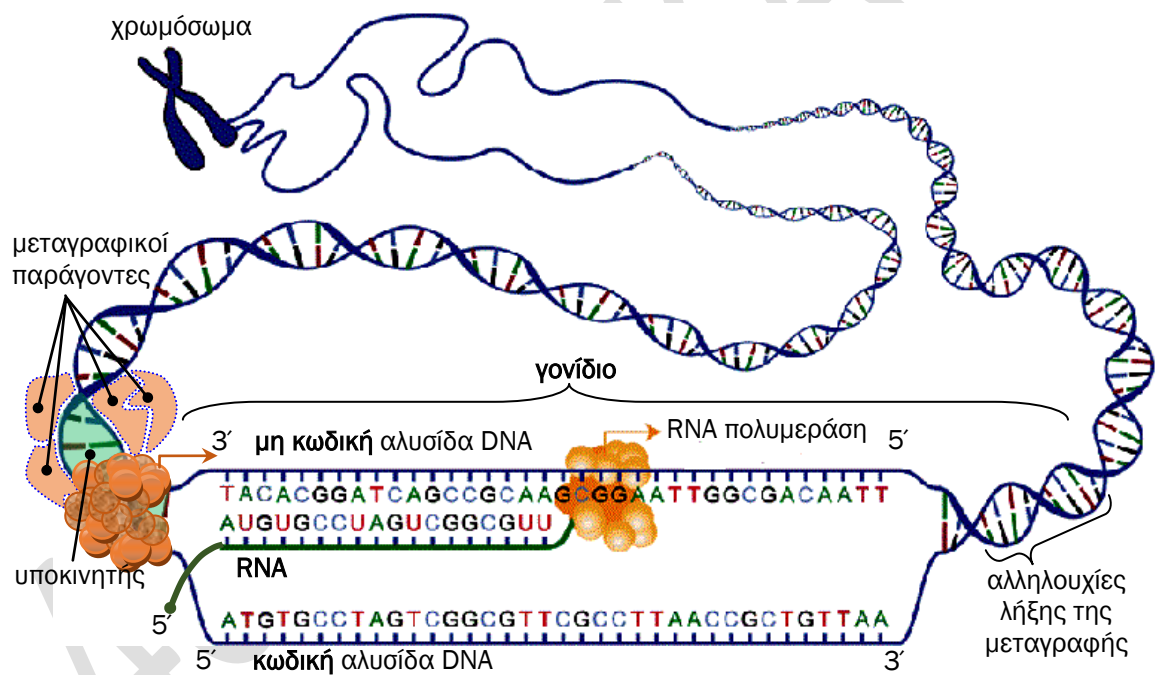
- Η διαμόρφωση του πρωτεϊνικού μορίου στο χώρο:  
→ **καθορίζεται από την αλληλουχία των αμινοξέων** της πολυπεπτιδικής αλυσίδας (πρωτοταγής δομή) και  
→ **σταθεροποιείται από τους δεσμούς** που αναπτύσσονται ανάμεσα στις πλευρικές ομάδες R των αμινοξέων, κατά την αναδίπλωση του πρωτεϊνικού μορίου.
- Όταν η αλληλουχία των αμινοξέων είναι ίδια, τότε κατά την αναδίπλωση του πρωτεϊνικού μορίου, σχηματίζονται δεσμοί ανάμεσα στις πλευρικές ομάδες των ίδιων αμινοξέων που βρίσκονται στα ίδια σημεία της πολυπεπτιδικής αλυσίδας.  
→ Αυτό οδηγεί στην ίδια αναδίπλωση του πρωτεϊνικού μορίου, άρα και στην ίδια χωροδιάταξη.  
→ Άρα διασφαλίζεται ο ίδιος λειτουργικός ρόλος για την πρωτεΐνη.

## Η. Ταξινόμηση πρωτεϊνών

| Είδη πρωτεϊνών |             | Παράδειγμα     | Λειτουργία                                                           |
|----------------|-------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|
| Λειτουργικές   | Δομικές     | Κολλαγόνο      | • Συστατικό του συνδετικού ιστού (οστά, χόνδροι, τένοντες)           |
|                |             | Ελαστίνη       | • Συστατικό των συνδέσμων των οστών                                  |
|                | Μεταφορικές | Αιμοσφαιρίνη   | • Μεταφορά O <sub>2</sub> στο αίμα των σπονδυλωτών                   |
|                | Αμυντικές   | Αντισώματα     | • Σύνδεση με κάθε ξένο για τον οργανισμό «σώμα» και εξουδετέρωσή του |
|                | Συσταλτές   | Μυοσίνη        | • Συστατικά των μυϊκών κυττάρων                                      |
|                |             | Ακτίνη         |                                                                      |
|                | Ορμονικές   | Ινσουλίνη      | • Ρύθμιση της γλυκόζης στο αίμα                                      |
|                | Ενζυμικές   | RNA πολυμεράση | • Ένζυμο της μεταγραφής του DNA σε RNA                               |

Μεταγραφή του DNA

| Όρος                            | Ορισμός – Χαρακτηριστικές ιδιότητες                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Γονίδιο</b><br>(2ος ορισμός) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Τμήμα DNA*<sup>1</sup> με καθορισμένη αλληλουχία βάσεων.</li> <li>→ Φέρει*<sup>2</sup> τη γενετική πληροφορία για μια ιδιότητα*<sup>3</sup>.</li> <li>→ Καθορίζει, δια μέσου της μεταγραφής και της μετάφρασης, την αλληλουχία των αμινοξέων στην πολυπεπτιδική αλυσίδα*<sup>4</sup> που κωδικοποιεί.</li> </ul> |
| <b>Γονιδιακή έκφραση</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Οι πορείες της <b>μεταγραφής</b> της πληροφορίας των γονιδίων και της <b>μετάφρασής</b> τους, με σκοπό τη δημιουργία μιας πρωτεΐνης*<sup>5</sup>.</li> </ul>                                                                                                                                                     |
| <b>Μη κωδική αλυσίδα</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Η <b>μεταγραφόμενη</b> αλυσίδα της διπλής έλικας DNA του γονιδίου.</li> <li>→ Λειτουργεί ως καλούπι για τη σύνθεση συμπληρωματικής αλυσίδας RNA.</li> </ul>                                                                                                                                                      |
| <b>Κωδική αλυσίδα</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Η <b>μη μεταγραφόμενη</b> αλυσίδα της διπλής έλικας του DNA.</li> <li>→ Είναι συμπληρωματική προς τη μη κωδική.</li> </ul>                                                                                                                                                                                       |



\*<sup>1</sup> Είναι πιο σωστό να μιλάμε για τμήμα γενετικού υλικού (DNA ή RNA) με καθορισμένη αλληλουχία βάσεων, αφού υπάρχουν οργανισμοί (μερικοί ιοί) που έχουν RNA ως γενετικό υλικό.

\*<sup>2</sup> Στην αλληλουχία των νουκλεοτιδίων του.

\*<sup>3</sup> Χρησιμοποιούνται και οι όροι γνώρισμα και χαρακτήρας.

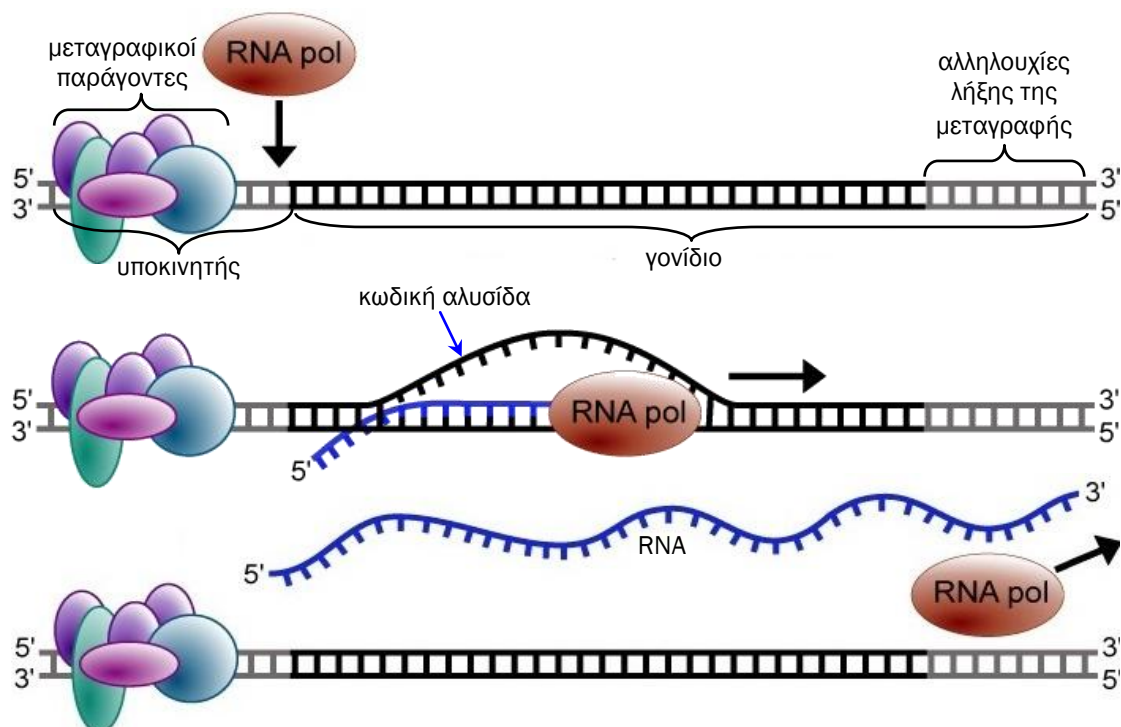
\*<sup>4</sup> Το προϊόν της μεταγραφής ενός γονιδίου είναι ένα μόριο RNA που ονομάζεται t, r, sn ή mRNA, ανάλογα με το ρόλο που θα παίξει στη συνέχεια της γονιδιακής έκφρασης (μετάφραση).  
→ Μόνο το mRNA φέρει κωδικοποιημένες πληροφορίες για τη σύνθεση μιας πρωτεΐνης.

\*<sup>5</sup> Ή μιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας.

## 2.13 Περιγράψτε τη διαδικασία της μεταγραφής.

ΠΕ '03, '08

- Ο μηχανισμός της μεταγραφής είναι ίδιος στους προκαρυωτικούς και ευκαρυωτικούς οργανισμούς και καταλύεται από ένα ένζυμο, την RNA πολυμεράση.  
→ Στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς υπάρχουν **τρία είδη RNA πολυμερασών**.
- Κατά την έναρξη της μεταγραφής ενός γονιδίου η **RNA πολυμεράση**:  
→ **προσδένεται** στον υποκινητή **με τη βοήθεια** των μεταγραφικών παραγόντων και  
→ **προκαλεί**<sup>\*1</sup> **τοπικό ξετύλιγμα** της διπλής έλικας του DNA.
- Στη συνέχεια<sup>\*2</sup>:  
→ **τοποθετεί**<sup>\*3</sup> τα **ριβονουκλεοτίδια** απέναντι από τα δεοξυριβονουκλεοτίδια μιας<sup>\*4</sup> αλυσίδας του DNA, σύμφωνα με τον **κανόνα** της **συμπληρωματικότητας**.  
✓ Ουρακίλη (U) αντί θυμίνη (T) απέναντι από την αδείνη (A).  
→ **συνδέει** τα ριβονουκλεοτίδια, **που προστίθενται το ένα μετά το άλλο**, με φωσφοδιεστερικό δεσμό 3' – 5'.
- Η μεταγραφή έχει **προσανατολισμό 5' → 3'** όπως και η αντιγραφή.
- Η σύνθεση του RNA σταματά **στο τέλος του γονιδίου**, όπου ειδικές αλληλουχίες, οι οποίες ονομάζονται **αλληλουχίες λήξης της μεταγραφής**<sup>\*5</sup>, επιτρέπουν την απελευθέρωσή του.



\*1 Σπάει τους δεσμούς υδρογόνου ανάμεσα στους συμπληρωματικούς κλώνους.

\*2 Η RNA πολυμεράση.

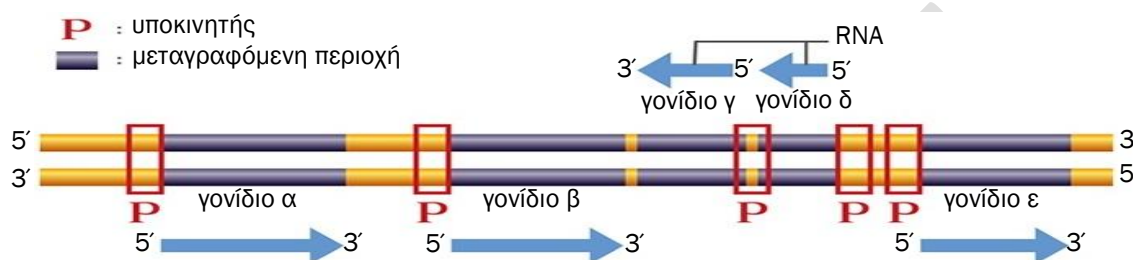
\*3 Στην πραγματικότητα δεν τοποθετεί τα ριβονουκλεοτίδια, αλλά συνδέει διαδοχικά τα ριβονουκλεοτίδια που έχουν συνδεθεί προς το καλούπι με τον κανόνα της συμπληρωματικότητας.

\*4 Της μη κωδικής ή μεταγραφόμενης αλυσίδας.

\*5 **Ανήκουν στο γονίδιο**, μεταγράφονται και υπάρχουν στο 3' άκρο του μορίου RNA.

### 2.14 Τι προσανατολισμό έχει η μεταγραφή και πώς συντίθεται το μόριο RNA;

- Η μεταγραφή έχει **προσανατολισμό 5' → 3'** όπως και η αντιγραφή.
- Το μόριο mRNA που συντίθεται είναι **συμπληρωματικό** (και **αντιπαράλληλο**) προς τη μία αλυσίδα της διπλής έλικας του DNA του γονιδίου.
  - Η αλυσίδα αυτή είναι η μεταγραφόμενη και ονομάζεται **μη κωδική**.
  - Η συμπληρωματική αλυσίδα του DNA του γονιδίου ονομάζεται **κωδική**.
  - Το RNA είναι το κινητό αντίγραφο της πληροφορίας του γονιδίου.



**Εικόνα:** Η μεταγραφή διαφόρων γονιδίων σ' ένα μικρό τμήμα DNA. Για τα γονίδια α, β και ε χρησιμοποιείται ως «καλούπι» ο κάτω κλώνος και για τα γ και δ ο πάνω. Η κατεύθυνση της μεταγραφής καθορίζεται από τον υποκινητή κάθε γονιδίου.

| Όρος                             | Ορισμός – Χαρακτηριστικές ιδιότητες                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Μεταγραφικοί παράγοντες ΠΕ '08   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Είναι <b>πρωτεΐνες</b>.</li> <li>• Αποτελούν <b>ρυθμιστικό στοιχείο</b>*<sup>1</sup> της μεταγραφής του DNA.</li> <li>• Βοηθούν την RNA πολυμεράση:               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ να προσδεθεί στον υποκινητή και</li> <li>→ να αρχίσει σωστά τη μεταγραφή του γονιδίου.</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                           |
| Υποκινητής ΠΕ '08                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ειδική περιοχή του DNA που βρίσκεται πάντοτε πριν*<sup>2</sup> από την αρχή κάθε γονιδίου.               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Προσδένεται το ένζυμο της μεταγραφής, RNA πολυμεράση.</li> </ul> </li> <li>• Αποτελεί <b>ρυθμιστικό στοιχείο</b> της μεταγραφής του DNA.               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Επιτρέπει στην RNA πολυμεράση να αρχίσει σωστά τη μεταγραφή του γονιδίου.</li> </ul> </li> </ul> |
| Αλληλουχίες λήξης της μεταγραφής | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ειδικές αλληλουχίες DNA στο τέλος*<sup>3</sup> κάθε γονιδίου.               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Επιτρέπουν την απελευθέρωση του RNA, μετά την ολοκλήρωση της μεταγραφής του γονιδίου.</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                  |

\*<sup>1</sup> Αναγνωρίζουν τον υποκινητή του γονιδίου και προσδένονται σ' αυτόν.

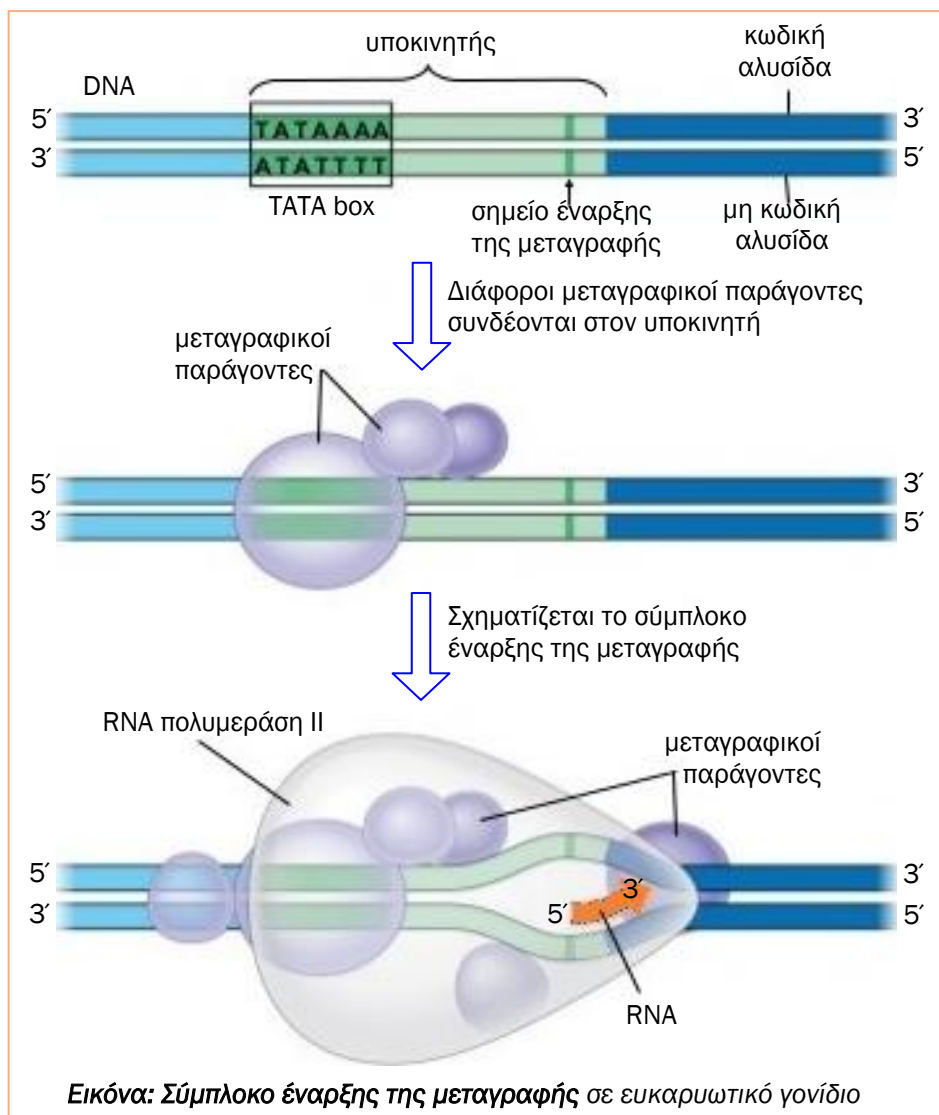
\*<sup>2</sup> Στον υποκινητή προσδένονται οι μεταγραφικοί παράγοντες και η RNA πολυμεράση. Βρίσκεται περίπου 40–50 νουκλεοτίδια μπροστά από το κωδικόνιο έναρξης. Από τμήμα της **ενδιάμεσης** περιοχής προκύπτει κατά τη μεταγραφή η **5' αμετάφραστη περιοχή** του mRNA.

\*<sup>3</sup> Βρίσκονται στην **3' αμετάφραστη περιοχή** του γονιδίου του DNA, που ακολουθεί αμέσως μετά το κωδικόνιο λήξης.

## ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΡΑΦΗΣ (ένθετο)

**A. Πάνω στο DNA υπάρχουν σήματα που υποδεικνύουν στη RNA πολυμεράση από πού ν' αρχίσει και πού να τελειώσει.**

- «Για ν' αρχίσει τη μεταγραφή, η RNA πολυμεράση πρέπει να αναγνωρίσει την «αφετηρία» ενός γονιδίου και να προσδεθεί ισχυρά στη συγκεκριμένη περιοχή του DNA. Ο τρόπος με τον οποίο οι RNA πολυμεράσες αναγνωρίζουν την αφετηρία της μεταγραφής διαφέρει κάπως ανάμεσά στους ευκαρυώτες και τους προκαρυώτες (βακτήρια). Επειδή η κατάσταση είναι απλούστερη στα βακτήρια, πρώτα θα ...»
- «Στα βακτήρια, όταν ένα μόριο RNA πολυμεράσης συναντηθεί τυχαία με το DNA, τείνει να προσκολληθεί ασθενώς πάνω του και στη συνέχεια ολισθαίνει γρήγορα κατά μήκος του DNA έως ότου συναντήσει μια περιοχή γνωστή ως **υποκινητής**, οπότε προσδένεται ισχυρά στο DNA. Ο υποκινητής περιέχει μια αλληλουχία νουκλεοτιδίων που σηματοδοτεί τη θέση έναρξης για τη σύνθεση του RNA. Η πολυμεράση αναγνωρίζει αυτή την αλληλουχία του DNA (μολονότι το DNA είναι δίκλωνο) δημιουργώντας ειδικές επαφές με τα τμήματα των βάσεων που είναι εκτεθειμένα στο εξωτερικό της έλικας. Στους ευκαρυώτες, η πρόσδεση της RNA πολυμεράσης στον υποκινητή εξαρτάται και από τη **συμμετοχή επιπρόσθετων πρωτεϊνών.**»



## ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΡΑΦΗΣ &amp; ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ mRNA (ένθετο)

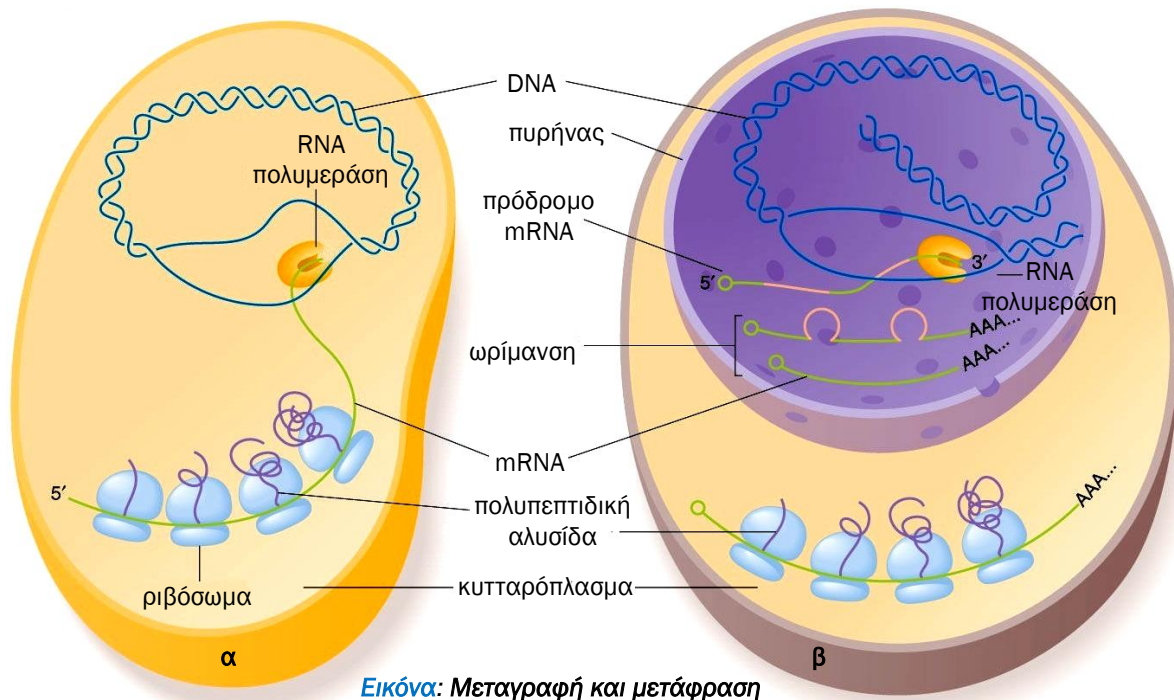
- «... η περιοχή του υποκινητή ενός γονιδίου προσελκύει το ένζυμο RNA πολυμεράση και το προσανατολίζει σωστά, ώστε να συνθέσει ένα RNA αντίγραφο του γονιδίου. Οι υποκινητές, τόσο των βακτηριακών όσο και των ευκαρυωτικών κυττάρων, περιλαμβάνουν τη **θέση έναρξης** (initiation site), απ' όπου αρχίζει η μεταγραφή, και μια αλληλουχία περίπου 50 νουκλεοτιδίων, η οποία εκτείνεται «ανωδικά» από τη θέση έναρξης της μεταγραφής. Η περιοχή αυτή περιέχει θέσεις απαραίτητες για την πρόσδεση της RNA πολυμεράσης στον υποκινητή.»
- «Εκτός από τον υποκινητή, σχεδόν όλα τα γονίδια, βακτηριακά και ευκαρυωτικά, διαθέτουν επιπλέον και **ρυθμιστικές αλληλουχίες DNA**, που είναι απαραίτητες για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των γονιδίων.»
- «Η έκφραση ενός γονιδίου εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, στους οποίους περιλαμβάνονται ο τύπος του κυττάρου, το περιβάλλον, η ηλικία του, όπως επίσης και τα εξωτερικά σήματα.»

## B. Οι τρεις RNA πολυμεράσες των ευκαρυωτικών κυττάρων.

- | <b>Είδος πολυμεράσης</b> | <b>Μεταγραφόμενα γονίδια</b>                                                                             |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| • RNA πολυμεράση I       | τα περισσότερα γονίδια του rRNA                                                                          |
| • RNA πολυμεράση II      | όλα τα γονίδια που κωδικοποιούν πρωτεΐνες και επιπλέον ορισμένα γονίδια για μικρά μόρια RNA (π.χ. snRNA) |
| • RNA πολυμεράση III     | γονίδια του tRNA,<br>γονίδιο του 5S rRNA,<br>γονίδια για ορισμένα δομικά μόρια RNA                       |

## Γ. Δύο είδη επεξεργασίας των μεταγράφων που προορίζονται να γίνουν μόρια mRNA.

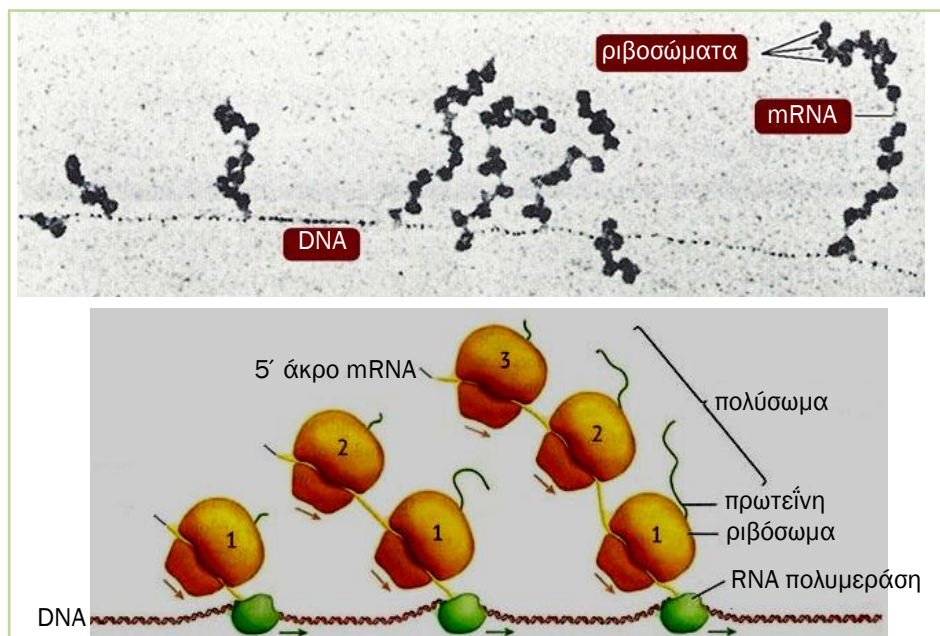
- «Ο **σχηματισμός της καλύπτρας** του RNA περιλαμβάνει μια τροποποίηση του 5' άκρου του mRNA μεταγράφου. Το 5' άκρο καλύπτεται με την προσθήκη ενός ασυνήθιστου νουκλεοτιδίου, ένα νουκλεοτίδιο γουανίνης (G) που περιέχει μια μεθυλομάδα. Ο σχηματισμός της καλύπτρας συνήθως γίνεται αμέσως μόλις η RNA πολυμεράση συνθέσει 25 νουκλεοτίδια RNA, πολύ πριν ολοκληρώσει τη μεταγραφή του γονιδίου.»
- «Η **πολυαδενυλίωση** παρέχει, στα περισσότερα νεοσυνθεθειμένα mRNA μετάγραφα, μια εξειδικευμένη δομή στο 3' άκρο. Στα βακτήρια, το 3' άκρο ενός mRNA είναι απλώς το τέλος της αλυσίδας που έχει συντεθεί από την RNA πολυμεράση. Αντίθετα, στους ευκαρυώτες τα 3' άκρα των RNA μεταγράφων αρχικά βραχύνονται από ένα ένζυμο που κόβει την αλυσίδα του RNA σε μια συγκεκριμένη αλληλουχία νουκλεοτιδίων και μετά η αλυσίδα ολοκληρώνεται από ένα δεύτερο ένζυμο, το οποίο προσθέτει μια σειρά διαδοχικών νουκλεοτιδίων αδενίνης (A) [ή, αλλιώς, μια *ουρά πολύ (A)*]. Συνήθως, η ουρά πολύ (A) έχει μήκος λίγων εκατοντάδων νουκλεοτιδίων.»
- «Οι δύο αυτές τροποποιήσεις θεωρείται ότι αυξάνουν τη σταθερότητα των μορίων του mRNA και συμβάλλουν στην έξοδο του mRNA από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα. Επίσης, χρησιμοποιούνται αργότερα από τον πρωτεϊνοσυνθετικό μηχανισμό ως ένδειξη ότι τα δύο άκρα του mRNA είναι παρόντα και, συνεπώς, ότι το μήνυμα είναι πλήρες.»



**Εικόνα: Μεταγραφή και μετάφραση**  
 στους προκαρυωτικούς (α) και στους ευκαρυωτικούς (β) οργανισμούς

## 2.15 Τι συμβαίνει με το mRNA που παράγεται κατά τη μεταγραφή;

- Στους προκαρυωτικούς το mRNA αρχίζει να μεταφράζεται σε πρωτεΐνη πριν ακόμη ολοκληρωθεί η μεταγραφή του.  
 → Αυτό είναι δυνατό, επειδή **δεν υπάρχει πυρηνική μεμβράνη**.



- Στους ευκαρυωτικούς, το mRNA που παράγεται κατά τη μεταγραφή ενός γονιδίου συνήθως **δεν είναι έτοιμο<sup>\*1</sup> να μεταφραστεί**, αλλά υφίσταται μια πολύπλοκη διαδικασία **ωρίμανσης**.

## 2.16 Σε ποιο συμπέρασμα οδήγησε για τα γονίδια των ευκαρυωτικών οργανισμών η διαδικασία της ωρίμανσης; ΠΕ '08, '09

- Τα **περισσότερα** γονίδια\*<sup>2</sup> των ευκαρυωτικών οργανισμών και των **ιών** που τους προσβάλλουν είναι **ασυνεχή ή διακεκομμένα**.  
 → Δηλαδή, η αλληλουχία\*<sup>3</sup> που μεταφράζεται σε αμινοξέα διακόπτεται από **ενδιάμεσες αλληλουχίες** οι οποίες δεν μεταφράζονται σε αμινοξέα.  
 → Οι αλληλουχίες που μεταφράζονται σε αμινοξέα ονομάζονται **εξώνια** και οι ενδιάμεσες αλληλουχίες ονομάζονται **εσώνια**.

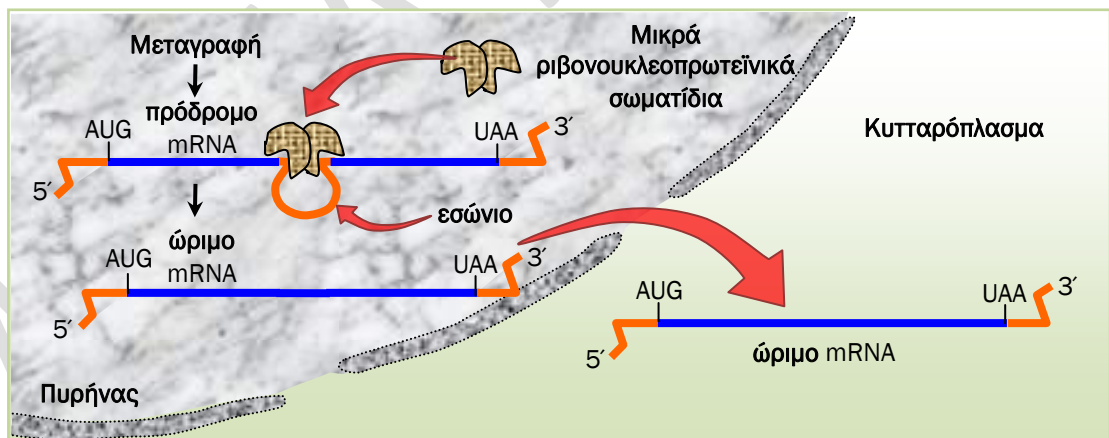
\*<sup>1</sup> Αυτό που περιγράφει αφορά στα mRNA του πυρήνα μόνο, **όχι** των μιτοχονδρίων και χλωροπλαστών.

\*<sup>2</sup> του **πυρήνα**, που κωδικοποιούν πρωτεΐνες ή πολυπεπτιδικές αλυσίδες.

\*<sup>3</sup> **Ξεκινά με το κωδικόνιο έναρξης και τελειώνει με το κωδικόνιο λήξης.**

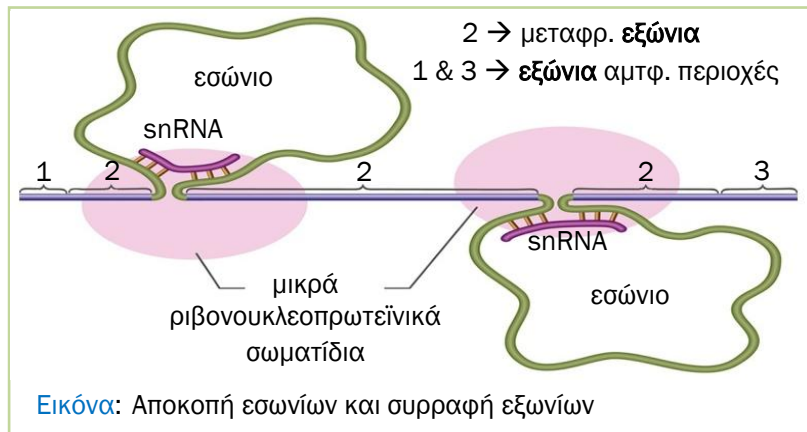
## 2.17 Πώς πραγματοποιείται η διαδικασία της ωρίμανσης; ΠΕ '08, '09

- Όταν ένα γονίδιο που περιέχει εσώνια μεταγράφεται, δημιουργείται το **πρόδρομο mRNA** που περιέχει και εσώνια και εξώνια.  
 → Το πρόδρομο mRNA μετατρέπεται σε mRNA με τη διαδικασία της ωρίμανσης, κατά την οποία τα εσώνια κόβονται από **μικρά ριβονουκλεοπρωτεϊνικά «σωματίδια»**.  
 → Τα μικρά ριβονουκλεοπρωτεϊνικά σωματίδια:
  - ✓ αποτελούνται από **snRNA και πρωτεΐνες**.
  - ✓ λειτουργούν **ως ένζυμα**: κόβουν τα εσώνια και συρράπτουν τα εξώνια μεταξύ τους.



- Έτσι σχηματίζεται το «ώριμο» mRNA, το οποίο:
  - παρ' ότι αποτελείται αποκλειστικά από εξώνια,
  - έχει δύο περιοχές που δεν μεταφράζονται σε αμινοξέα.
    - ✓ Η μια βρίσκεται στο 5' άκρο και η άλλη στο 3' άκρο και ονομάζονται **5' και 3' αμετάφραστες περιοχές**.

- Το mRNA μεταφέρεται από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα και ειδικότερα στα ριβοσώματα, όπου είναι η θέση της πρωτεϊνοσύνθεσης.



| Όρος                                  | Ορισμός – Χαρακτηριστικές ιδιότητες                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ασυνεχή ή διακεκομμένα γονίδια ΠΕ '09 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Γονίδια, όπου η αλληλουχία που μεταφράζεται σε αμινοξέα διακόπτεται από <b>ενδιάμεσες αλληλουχίες</b> νουκλεοτιδίων, οι οποίες δεν μεταφράζονται σε αμινοξέα.</li> <li>→ Τα <b>περισσότερα</b> γονίδια<sup>*1</sup> των <b>ευκαρυωτικών</b> οργανισμών και</li> <li>→ τα γονίδια των <b>ιών</b> που προσβάλλουν τους ευκαρυωτικούς οργανισμούς.</li> </ul>                                                                                                                                     |
| Εξώνια                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι αλληλουχίες των ασυνεχών γονιδίων που <b>μεταφράζονται</b> σε αμινοξέα.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Εσώνια                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι ενδιάμεσες αλληλουχίες των ασυνεχών γονιδίων που <b>δεν μεταφράζονται</b> σε αμινοξέα.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Πρόδρομο mRNA                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Το mRNA<sup>*2</sup> που δημιουργείται από τη μεταγραφή ασυνεχών γονιδίων και περιέχει <b>εξώνια και εσώνια</b>.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Ωρίμανση ΠΕ '08, '09                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Η διαδικασία αποβολής των μη μεταφραζόμενων ενδιάμεσων αλληλουχιών<sup>*3</sup> του πρόδρομου mRNA.</li> <li>• Πραγματοποιείται στον πυρήνα, με τη βοήθεια των <b>μικρών ριβονουκλεοπρωτεϊνικών «σωματιδίων»</b>, τα οποία: <ul style="list-style-type: none"> <li>→ αποτελούνται από snRNA και πρωτεΐνες και λειτουργούν ως <b>ένζυμα</b>.</li> <li>→ <b>κόβουν</b><sup>*4</sup> τα εσώνια και <b>συρράπτουν</b><sup>*5</sup> τα εξώνια.</li> </ul> </li> </ul>                               |
| «Ωριμο» mRNA                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Το mRNA που, παρ' ότι <b>αποτελείται αποκλειστικά από εξώνια</b>, έχει δύο περιοχές που δεν μεταφράζονται σε αμινοξέα. <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Η μία βρίσκεται στο 5' άκρο και η άλλη στο 3' άκρο.</li> <li>→ Οι αλληλουχίες αυτές ονομάζονται <b>5' και 3' αμετάφραστες περιοχές</b>, αντίστοιχα.</li> </ul> </li> <li>• Το mRNA<sup>*6</sup> μεταφέρεται από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα και ειδικότερα στα ριβοσώματα, όπου είναι η θέση της πρωτεϊνοσύνθεσης.</li> </ul> |

\*1 Του πυρήνα.

\*2 Συναντάται αποκλειστικά στον πυρήνα.

\*3 Των εσώνων.

\*4 Καταλύουν τη διάσπαση **δύο** φωσφοδιεστερικών 3' - 5' , για κάθε εσώνιο που αποκόπτουν.\*5 Καταλύουν το σχηματισμό **ενός** φωσφοδιεστερικού 3' - 5' , κατά τη συρραφή δύο γειτονικών εξωνίων.

\*6 Το ώριμο mRNA.

## Ο γενετικός κώδικας είναι η αντιστοίχιση τριπλετών βάσεων σε αμινοξέα

### 2.18 Τι ονομάζεται γενετικός κώδικας;

ΠΕ '07

- Με τη μεταγραφή, οι πληροφορίες που βρίσκονται στα γονίδια μεταφέρονται στο mRNA με βάση τη συμπληρωματικότητα των νουκλεοτιδικών βάσεων.
- Η αλληλουχία των βάσεων του mRNA καθορίζει την αλληλουχία των αμινοξέων στις πρωτεΐνες, με βάση έναν **κώδικα αντιστοίχισης** νουκλεοτιδίων mRNA με αμινοξέα πρωτεϊνών, ο οποίος ονομάζεται **γενετικός κώδικας**.  
→ Γι' αυτό η πρωτεϊνσύνθεση είναι πραγματικά μια διαδικασία «μετάφρασης» από τη γλώσσα των βάσεων στη γλώσσα των αμινοξέων.

### 2.19 Γιατί ο γενετικός κώδικας είναι κώδικας τριπλέτας;

- Επειδή ο αριθμός των διαφορετικών αμινοξέων που συγκροτούν τις πρωτεΐνες είναι **είκοσι** και, αντίστοιχα, ο αριθμός των διαφορετικών νουκλεοτιδίων που συγκροτούν το RNA είναι **τέσσερα**, θεωρήθηκε πιθανό ότι τρία νουκλεοτίδια αντιστοιχούν σε ένα αμινοξύ και γι' αυτό ο γενετικός κώδικας ονομάστηκε **κώδικας τριπλέτας**.
- Ο κώδικας τριπλέτας είναι φυσική συνέπεια του γεγονότος ότι τέσσερα νουκλεοτίδια, αν συνδυαστούν ανά ένα ( $4^1=4$ ) ή ανά δύο ( $4^2=16$ ), δεν δίδουν αρκετούς συνδυασμούς για να κωδικοποιηθούν τα είκοσι αμινοξέα. **Αν όμως συνδυαστούν ανά τρία ( $4^3=64$ )**, οι συνδυασμοί είναι παραπάνω από αρκετοί.

| ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ |   |                       |           |            |            |                  |  |                  |  |
|-------------------|---|-----------------------|-----------|------------|------------|------------------|--|------------------|--|
|                   |   | Δεύτερο γράμμα        |           |            |            |                  |  |                  |  |
|                   |   | U                     |           | C          |            | A                |  | G                |  |
| Πρώτο γράμμα      | U | UUU → phe             | UCU → ser | UAU → tyr  | UGU → cys  | U<br>C<br>A<br>G |  | U<br>C<br>A<br>G |  |
|                   |   | UUC → phe             | UCC → ser | UAC → tyr  | UGC → cys  |                  |  |                  |  |
|                   |   | UUA → leu             | UCA → ser | UAA → λήξη | UGA → λήξη |                  |  |                  |  |
|                   |   | UUG → leu             | UCG → ser | UAG → λήξη | UGG → trp  |                  |  |                  |  |
|                   | C | CUU → leu             | CCU → pro | CAU → his  | CGU → arg  | U<br>C<br>A<br>G |  | U<br>C<br>A<br>G |  |
|                   |   | CUC → leu             | CCC → pro | CAC → his  | CGC → arg  |                  |  |                  |  |
|                   |   | CUA → leu             | CCA → pro | CAA → gln  | CGA → arg  |                  |  |                  |  |
|                   |   | CUG → leu             | CCG → pro | CAG → gln  | CGG → arg  |                  |  |                  |  |
|                   | A | AUU → ile             | ACU → thr | AAU → asn  | AGU → ser  | U<br>C<br>A<br>G |  | U<br>C<br>A<br>G |  |
|                   |   | AUC → ile             | ACC → thr | AAC → asn  | AGC → ser  |                  |  |                  |  |
|                   |   | AUA → ile             | ACA → thr | AAA → lys  | AGA → arg  |                  |  |                  |  |
|                   |   | AUG → met<br>→ έναρξη | ACG → thr | AAG → lys  | AGG → arg  |                  |  |                  |  |
|                   | G | GUU → val             | GCU → ala | GAU → asp  | GGU → gly  | U<br>C<br>A<br>G |  | U<br>C<br>A<br>G |  |
|                   |   | GUC → val             | GCC → ala | GAC → asp  | GGC → gly  |                  |  |                  |  |
|                   |   | GUA → val             | GCA → ala | GAA → glu  | GGA → gly  |                  |  |                  |  |
|                   |   | GUG → val             | GCG → ala | GAG → glu  | GGG → gly  |                  |  |                  |  |

| Κωδικός | Ονομασία            | Συνώνυμα | Κωδικός | Ονομασία            | Συνώνυμα |
|---------|---------------------|----------|---------|---------------------|----------|
| • phe   | = φαινυλαλανίνη     | 2        | • his   | = ιστιδίνη          | 2        |
| • leu   | = λευκίνη           | 6        | • gln   | = γλουταμίνη        | 2        |
| • ile   | = ισολευκίνη        | 3        | • asn   | = ασπαραγίνη        | 2        |
| • met   | = <b>μεθειονίνη</b> | <b>1</b> | • lys   | = λυσίνη            | 2        |
| • val   | = βαλίνη            | 4        | • asp   | = ασπαρτικό οξύ     | 2        |
| • ser   | = σερίνη            | 6        | • glu   | = γλουταμινικό οξύ  | 2        |
| • pro   | = προλίνη           | 4        | • cys   | = κυστεΐνη          | 2        |
| • thr   | = θρεονίνη          | 4        | • trp   | = <b>τρυπτοφάνη</b> | <b>1</b> |
| • ala   | = αλανίνη           | 4        | • arg   | = αργινίνη          | 6        |
| • tyr   | = τυροσίνη          | 2        | • gly   | = γλυκίνη           | 4        |

## 2.20 Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά του γενετικού κώδικα;

ΠΕ '07

Ο γενετικός κώδικας:

1. είναι **κώδικας τριπλέτας**, δηλαδή μια τριάδα νουκλεοτιδίων, το **κωδικόνιο**, κωδικοποιεί ένα αμινοξύ.
2. είναι **συνεχής**, δηλαδή το mRNA διαβάζεται συνεχώς **ανά τρία** νουκλεοτίδια χωρίς να παραλείπεται κάποιο νουκλεοτίδιο.
3. είναι **μη επικαλυπτόμενος**, δηλαδή κάθε νουκλεοτίδιο ανήκει σε ένα μόνο\*<sup>1</sup> κωδικόνιο.
4. είναι **σχεδόν**\*<sup>2</sup> **καθολικός**. Όλοι\*<sup>3</sup> οι οργανισμοί έχουν τον ίδιο γενετικό κώδικα.
  - Το mRNA από οποιονδήποτε οργανισμό μπορεί να μεταφραστεί σε εκχυλίσματα\*<sup>4</sup> φυτικών, ζωικών ή βακτηριακών κυττάρων *in vitro* και να παραχθεί η ίδια πρωτεΐνη.
5. χαρακτηρίζεται ως **εκφυλισμένος**.
  - Με εξαίρεση **δύο**\*<sup>5</sup> αμινοξέα (μεθειονίνη και τρυπτοφάνη) τα υπόλοιπα **18** κωδικοποιούνται από **δύο** μέχρι και **έξι** κωδικόνια.
  - Τα κωδικόνια που κωδικοποιούν το ίδιο αμινοξύ ονομάζονται **συνώνυμα**.
6. έχει **ένα κωδικόνιο έναρξης** και **τρία κωδικόνια λήξης**.
  - Το κωδικόνιο έναρξης σε όλους τους οργανισμούς είναι το **AUG** και κωδικοποιεί το αμινοξύ **μεθειονίνη**.
  - Τα κωδικόνια λήξης είναι τα **UAG**, **UGA** και **UAA** και η παρουσία κάποιου εξ αυτών στο μόριο του mRNA οδηγεί στον τερματισμό της σύνθεσης της πολυπεπτιδικής αλυσίδας.

\*<sup>1</sup> Αν π.χ. τα έξι πρώτα νουκλεοτίδια είναι 5' AUGCCA 3', θα διαβαστούν ως δυο μόνο κωδικόνια, [AUG] και [CCA] και όχι επικαλυπτόμενα, δηλαδή [AUG], [UGC], [GCC] και [CCA].

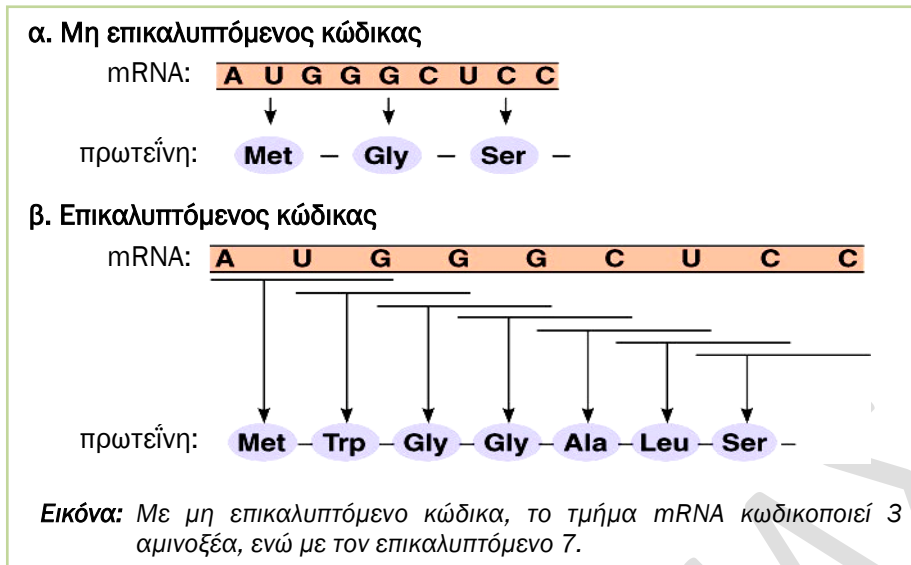
\*<sup>2</sup> Υπάρχουν και ορισμένες **εξαιρέσεις** στη μετάφραση των μιτοχονδριακών πρωτεϊνών.

\*<sup>3</sup> Η καθολικότητα ισχύει για όλους τους οργανισμούς, όπως άνθρωπος, φυτά, βακτήρια, μήκυτες, ιοί κ.ά.

\*<sup>4</sup> Ημίρρεστο περιεχόμενο κυττάρων που περιέχει τον πυρήνα, το κυτταρόπλασμα, τα οργανίδια και διατηρεί προσωρινά τις μεταβολικές ιδιότητες (μεταγραφή, μετάφραση) του κυττάρου.

→ Το λαμβάνουμε μετά από απομάκρυνση των περιβλημάτων τους (κυτταρική μεμβράνη, κυτταρικό τοίχωμα) με κατάλληλη επεξεργασία.

\*<sup>5</sup> Τα οποία κωδικοποιούνται από ένα κωδικόνιο.



**2.21 Ποια μέρη αφορά ο όρος κωδικόνιο και από πού αρχίζει και πού τελειώνει το τμήμα ενός γονιδίου που κωδικοποιεί μια πολυπεπτιδική αλυσίδα;**

- Ο όρος **κωδικόνιο** δεν αφορά μόνο το mRNA αλλά και το γονίδιο από το οποίο παράγεται.  
→ Έτσι, για παράδειγμα, το κωδικόνιο έναρξης **AUG** αντιστοιχεί στο κωδικόνιο έναρξης της **κωδικής** αλυσίδας του γονιδίου **ATG** κ.ο.κ.
- Το τμήμα\* ενός γονιδίου, και του mRNA του που κωδικοποιεί μια πολυπεπτιδική αλυσίδα, **αρχίζει με το κωδικόνιο έναρξης και τελειώνει με το κωδικόνιο λήξης.**

\* Τμήμα γονιδίου και όχι γονίδιο, διότι στο γονίδιο περιέχονται και οι περιοχές που μεταγράφονται αλλά δεν μεταφράζονται, όπως η 5' και 3' αμετάφραστη περιοχή.

## Μετάφραση

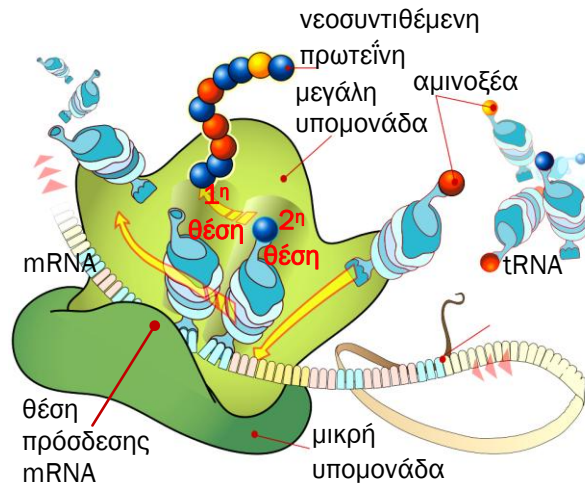
**2.22 Γιατί τα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν «εργοστάσια παραγωγής ανθρώπινων πρωτεϊνών»;**

- Η μετάφραση του mRNA, δηλαδή η **αντιστοίχιση των κωδικονίων σε αμινοξέα** και η **διαδοχική σύνδεση των αμινοξέων** σε πολυπεπτιδική αλυσίδα, πραγματοποιείται στα **ριβοσώματα** με τη βοήθεια των **tRNA** και τη συμμετοχή αρκετών **πρωτεϊνών** και **ενέργειας**.
- Τα ριβοσώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θέση μετάφρασης για οποιοδήποτε mRNA.
- Αυτό εξηγεί γιατί τα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν «εργοστάσια παραγωγής ανθρώπινων πρωτεϊνών».
- Επίσης, ο γενετικός κώδικας είναι **σχεδόν καθολικός**. Όλοι οι οργανισμοί έχουν τον ίδιο γενετικό κώδικα.

→ Το mRNA από οποιονδήποτε οργανισμό μπορεί να μεταφραστεί σε **εκχυλίσματα** φυτικών, ζωικών ή βακτηριακών κυττάρων *in vitro* και να παραχθεί η ίδια πρωτεΐνη.

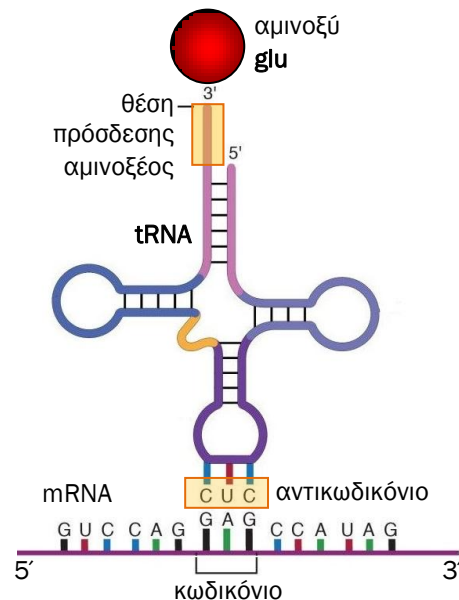
### 2.23 Ποια είναι η δομή και ο ρόλος του ριβοσώματος;

- Κάθε ριβόσωμα αποτελείται από δυο υπομονάδες, μια μικρή και μια μεγάλη.
  - Η **μικρή** υπομονάδα έχει **μία** θέση πρόσδεσης του mRNA.
  - Η **μεγάλη** υπομονάδα έχει **δυο** θέσεις εισδοχής των tRNA.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως **θέση μετάφρασης** για οποιοδήποτε mRNA.



### 2.24 Ποιες ειδικές θέσεις σύνδεσης του tRNA γνωρίζετε, με τις οποίες συνδέεται με άλλα μόρια; ΠΕ '01

- Κάθε μόριο **tRNA**:
  - έχει μια ειδική τριπλέτα νουκλεοτιδίων, το **αντικωδικόνιο**, με την οποία προσδένεται, λόγω **συμπληρωματικότητας**, με το αντίστοιχο κωδικόνιο του mRNA.
  - διαθέτει μια **ειδική** θέση σύνδεσης για ένα συγκεκριμένο **αμινοξύ**.

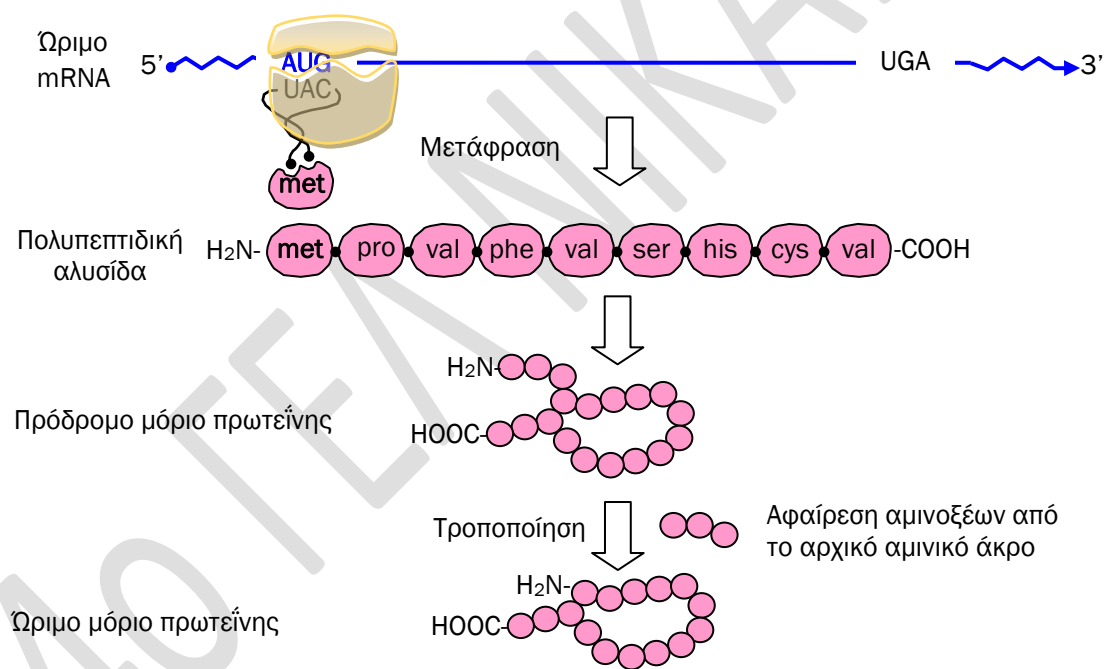


| Όρος                                 | Ορισμός – Χαρακτηριστικές ιδιότητες                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Αντικωδικόνιο                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Τριπλέτα νουκλεοτιδίων στο μόριο tRNA, μέσω του οποίου το tRNA συνδέεται <b>συμπληρωματικά</b> με το κωδικόνιο του mRNA.</li> </ul>                                                                                                                   |
| 5' αμετάφραστη περιοχή* <sup>1</sup> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Βρίσκεται <b>μπροστά</b> από το κωδικόνιο έναρξης του mRNA.</li> <li>• Περιέχει αλληλουχία, με την οποία προσδένεται με το ριβοσωμικό RNA της μικρής υπομονάδας του ριβοσώματος, σύμφωνα με τον κανόνα της συμπληρωματικότητας των βάσεων.</li> </ul> |
| 3' αμετάφραστη περιοχή* <sup>2</sup> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Βρίσκεται <b>πίσω</b> από το κωδικόνιο λήξης του mRNA.</li> </ul>                                                                                                                                                                                     |

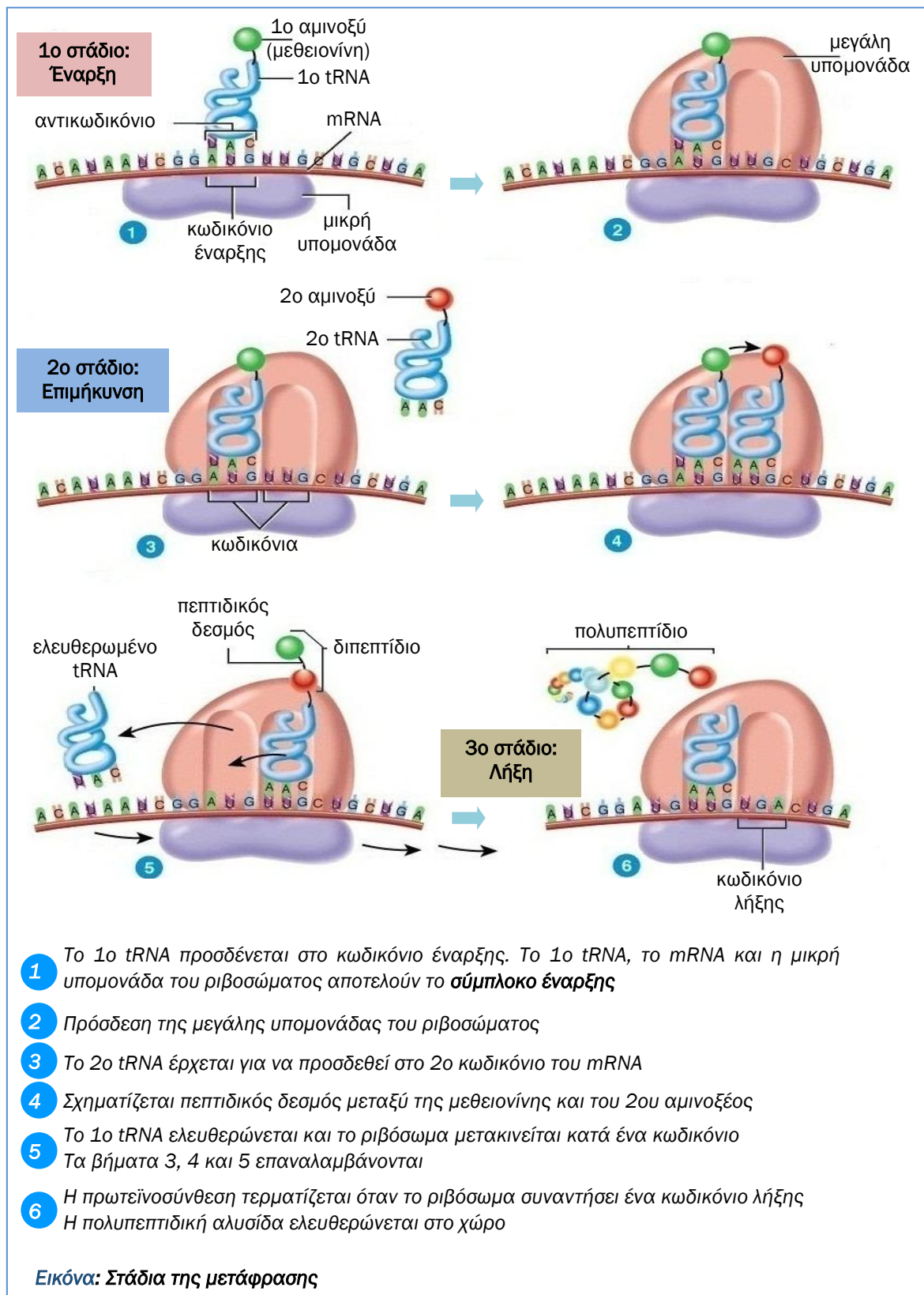
- \*1 Αντιστοιχεί σε τμήμα της ενδιάμεσης περιοχής μεταξύ του υποκινητή και του κωδικονίου έναρξης.  
 \*2 Αντιστοιχεί σε τμήμα του γονιδίου μεταξύ του κωδικονίου λήξης και των αλληλουχιών λήξης της μεταγραφής.  
 \*3 Για να γίνουν βιολογικά λειτουργικές.

## 2.25 Ποιο είναι το πρώτο κωδικόνιο κάθε mRNA και τι κωδικοποιεί;

- Το πρώτο κωδικόνιο είναι πάντοτε **AUG** και σε αυτό προσδένεται το tRNA που φέρει το αμινοξύ **μεθειονίνη**.
- Όμως δεν έχουν όλες οι πρωτεΐνες του οργανισμού ως πρώτο αμινοξύ τη μεθειονίνη.  
 → Σε πολλές πρωτεΐνες, μετά τη σύνθεσή τους **απομακρύνονται**<sup>\*3</sup> ορισμένα **αμινοξέα** από το **αρχικό αμινικό άκρο** τους.



| Όρος                                         | Ορισμός – Χαρακτηριστικές ιδιότητες                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Σύμπλοκο έναρξης της πρωτεϊνοσύνθεσης ΠΕ '15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Το σύμπλοκο που δημιουργείται μετά την πρόσδεση:               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ του mRNA στη <b>μικρή υπομονάδα</b> του ριβοσώματος και</li> <li>→ του tRNA που μεταφέρει το <b>αμινοξύ μεθειονίνη</b>.</li> </ul> </li> </ul> |

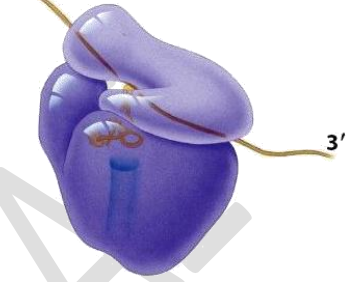


## 2.26 Περιγράψτε τα στάδια της πρωτεϊνοσύνθεσης - μετάφρασης.

## • Έναρξη:

ΠΕ '15

- Το mRNA προσδένεται, μέσω μιας αλληλουχίας που υπάρχει στην 5' αμετάφραστη περιοχή του, με το ριβοσωμικό RNA της μικρής υπομονάδας του ριβοσώματος, σύμφωνα με τον κανόνα της συμπληρωματικότητας των βάσεων.
- Το tRNA που μεταφέρει το αμινοξύ **μεθειονίνη** συνδέεται 5' συμπληρωματικά με το πρώτο κωδικόνιο του mRNA, που είναι πάντα το **κωδικόνιο έναρξης AUG**.
  - ✓ Το σύμπλοκο που δημιουργείται μετά την πρόσδεση του mRNA στη μικρή υπομονάδα του ριβοσώματος και του tRNA που μεταφέρει τη μεθειονίνη ονομάζεται **σύμπλοκο έναρξης** της πρωτεϊνοσύνθεσης.
- Στη συνέχεια η **μεγάλη υπομονάδα** του ριβοσώματος συνδέεται με τη μικρή.



## • Επιμήκυνση:

ΠΕ '13

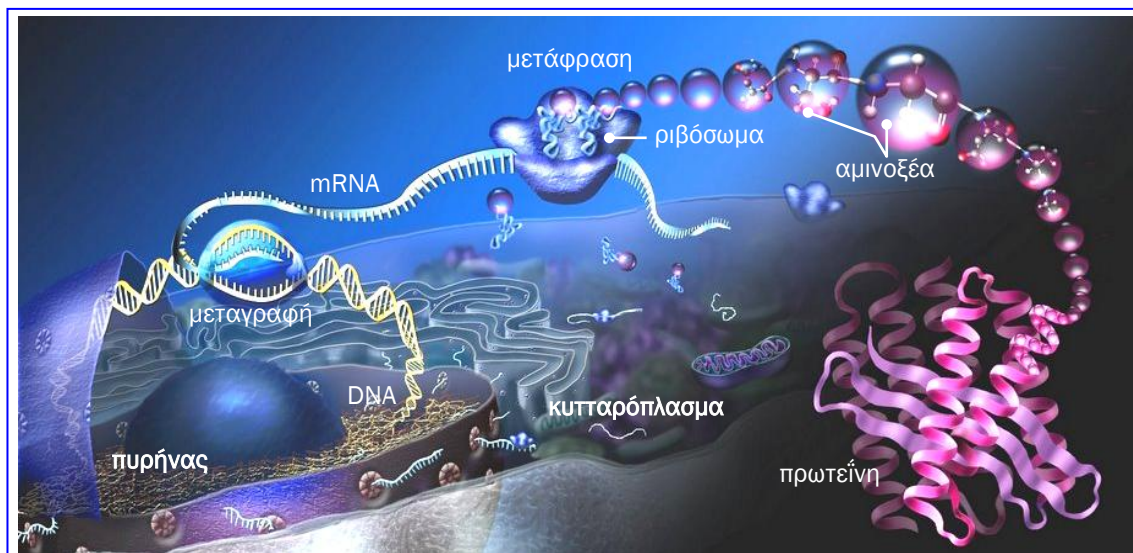
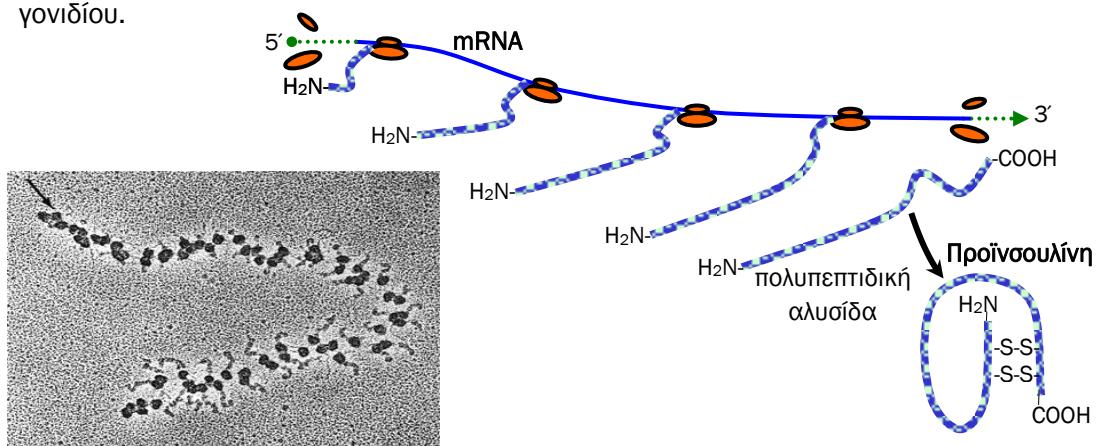
- Ένα 2ο μόριο tRNA, με αντικωδικόνιο συμπληρωματικό με το 2ο κωδικόνιο του mRNA, τοποθετείται στην κατάλληλη θέση εισδοχής του ριβοσώματος, μεταφέροντας το 2ο αμινοξύ.
- Μεταξύ της μεθειονίνης και του 2ου αμινοξέος σχηματίζεται **πεπτιδικός δεσμός**.
  - ✓ Αμέσως μετά, το 1ο tRNA **αποσυνδέεται από το ριβόσωμα**, ελευθερώνεται στο κυτταρόπλασμα όπου συνδέεται πάλι με μεθειονίνη, για επόμενη χρήση.
  - ✓ Το ριβόσωμα και το mRNA έχουν ένα tRNA, πάνω στο οποίο είναι προσδεμένα δυο αμινοξέα. Έτσι αρχίζει η επιμήκυνση της πολυπεπτιδικής αλυσίδας.
- Στη συνέχεια το ριβόσωμα κινείται κατά μήκος του mRNA **κατά ένα κωδικόνιο**.
- Ένα 3ο tRNA προσδένεται μεταφέροντας το αμινοξύ του. Ανάμεσα στο 2ο και στο 3ο αμινοξύ σχηματίζεται πεπτιδικός δεσμός.
- Η **πολυπεπτιδική αλυσίδα** συνεχίζει να αναπτύσσεται καθώς νέα tRNA μεταφέρουν αμινοξέα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους.

## • Λήξη:

- Η επιμήκυνση σταματά σε ένα **κωδικόνιο λήξης** (UGA, UAG ή UAA), επειδή δεν υπάρχουν tRNA που να αντιστοιχούν σε αυτά.
- Το τελευταίο tRNA απομακρύνεται από το ριβόσωμα και η πολυπεπτιδική αλυσίδα απελευθερώνεται.

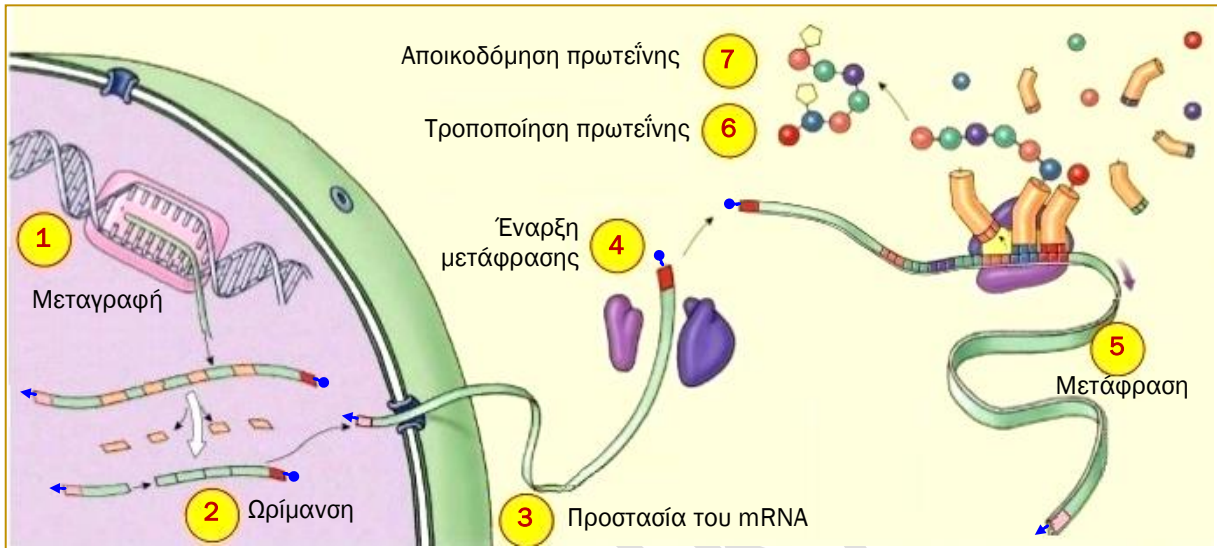
2.27 Γιατί η πρωτεϊνοσύνθεση χαρακτηρίζεται ως «οικονομική διαδικασία»; ΠΕ '00, '08, '10

- Σημειώνεται ότι πολλά μόρια mRNA μπορούν να μεταγράφονται από ένα μόνο γονίδιο.
- Πολλά ριβοσώματα μπορούν να μεταφράζουν ταυτόχρονα ένα mRNA, το καθένα σε διαφορετικό σημείο κατά μήκος του μορίου.  
→ Αμέσως μόλις το ριβόσωμα έχει μεταφράσει τα πρώτα κωδικόνια, η θέση έναρξης του mRNA είναι ελεύθερη για την πρόσδεση ενός άλλου ριβοσώματος.  
→ Το σύμπλεγμα ριβοσωμάτων με mRNA ονομάζεται πολύσωμα.
- Έτσι, η πρωτεϊνοσύνθεση είναι μια «οικονομική διαδικασία».
- Ένα κύτταρο μπορεί να παραγάγει πολλές πρωτεΐνες από ένα ή δυο αντίγραφα ενός γονιδίου.



## Γονιδιακή ρύθμιση: Ο έλεγχος της γονιδιακής έκφρασης

Η έκφραση των γονιδίων ρυθμίζεται με διάφορους μηχανισμούς



**2.28** Σε τι αναφέρεται ο όρος γονιδιακή έκφραση και γιατί είναι απαραίτητη η ύπαρξη και λειτουργία ενός προγράμματος ρύθμισής της; ΠΕ '08

- Αναφέρεται συνήθως σε όλη τη διαδικασία, με την οποία **ένα γονίδιο ενεργοποιείται**<sup>\*1</sup> για να **παραχθεί**<sup>\*2</sup> μια πρωτεΐνη ή μια πολυπεπτιδική αλυσίδα<sup>\*3</sup>.
- Όμως σε κάθε κύτταρο δεν παράγονται όλες οι πρωτεΐνες σε κάθε χρονική στιγμή.
  - Επιπλέον, επειδή το κύτταρο χρειάζεται κάθε πρωτεΐνη σε συγκεκριμένη ποσότητα, οι πρωτεΐνες ενός κυττάρου δεν παράγονται σε ίσες ποσότητες.
  - Αν λοιπόν όλα τα γονίδια δούλευαν με τον ίδιο ρυθμό, ορισμένες πρωτεΐνες θα παράγονταν σε μεγάλες ποσότητες και άλλες σε ποσότητες που δεν θα επαρκούσαν.
- Έτσι, είναι απαραίτητη η ύπαρξη και η λειτουργία ενός προγράμματος ρύθμισης της γονιδιακής έκφρασης, που παρέχει τις οδηγίες για το είδος και την ποσότητα των πρωτεϊνών, οι οποίες πρέπει να παραχθούν σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

\*1 Μεταγραφή.

\*2 Μετάφραση.

\*3 ή να παραχθούν μόρια rRNA, tRNA και snRNA.

**2.29** Πού αποσκοπεί η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης σε προκαρυωτικούς και ευκαρυωτικούς οργανισμούς; ΠΕ '08

- Η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης στα **βακτήρια**, αποσκοπεί κυρίως στην **προσαρμογή** του οργανισμού **στις εναλλαγές του περιβάλλοντος**, έτσι ώστε να εξασφαλίζονται οι καλύτερες συνθήκες για τη βασική λειτουργία τους που είναι η **αύξηση** και η **διαίρεση**.

**1η**  
διαφορά  
Euc-Pro

→ Τα κύτταρα που ανήκουν σε ένα βακτηριακό **στέλεχος** είναι **πανομοιότυπα** μεταξύ τους.

- Η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης στα κύτταρα ενός **πολυκύτταρου ευκαρυωτικού οργανισμού**, γίνεται σε **πολλά επίπεδα**, λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητάς τους και επειδή πρέπει να **ελεγχθεί προσεκτικά η ανάπτυξή τους**.

**2.30** Ποια διαδικασία ονομάζεται κυτταρική διαφοροποίηση; ΠΕ '08

- Τα κύτταρα ενός πολυκύτταρου οργανισμού, σε αντίθεση με τα κύτταρα που ανήκουν σε ένα **βακτηριακό στέλεχος** και είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους, διαφέρουν στη δομή και στη λειτουργία τους.

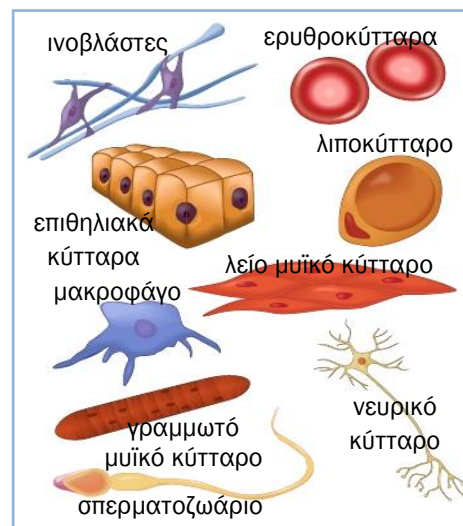
**2η**  
διαφορά  
Euc-Pro

→ Η ζωή αρχίζει, όταν ένα **γονιμοποιημένο ωάριο** διαιρείται με **μίτωση** και παράγει **τρισεκατομμύρια κύτταρα**, που έχουν τα **ίδια γονίδια**.

- Στα **αρχικά στάδια της εμβρυογένεσης** τα κύτταρα **εξειδικεύονται**, για να εκτελέσουν επιμέρους λειτουργίες και η διαδικασία αυτή ονομάζεται **κυτταρική διαφοροποίηση**.

**2.31** Ποιες ιδιαιτερότητες παρουσιάζει η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης στους πολυκύτταρους ευκαρυωτικούς οργανισμούς; ΠΕ '08

- Τα κύτταρα ενός πολύπλοκου πολυκύτταρου οργανισμού (νευρικά, μυϊκά, ηπατικά κ.ά.) **διαφέρουν** στη μορφή και στη λειτουργία τους, αλλά έχουν όλα το **ίδιο γενετικό υλικό**, άρα και τα ίδια γονίδια. Τι τα κάνει τότε να διαφέρουν τόσο πολύ;
- Μολονότι όλα τα κύτταρα έχουν τις ίδιες γενετικές πληροφορίες, έχουν αναπτύξει **μηχανισμούς** που τους επιτρέπουν να **εκφράζουν** τη γενετική τους πληροφορία **επιλεκτικά** και να ακολουθούν μόνο τις οδηγίες που χρειάζονται κάθε χρονική στιγμή.
- Κάθε κυτταρικός τύπος έχει εξειδικευμένη



λειτουργία και **πρέπει να υπάρχει πλήρης συντονισμός των λειτουργιών όλων των κυττάρων**. Γι' αυτό, η τελειοποίηση των συστημάτων ελέγχου είναι αναγκαία:

→ και λόγω της **μεγαλύτερης πολυπλοκότητας** των ευκαρυωτικών κυττάρων,

→ αλλά και επειδή **πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά η ανάπτυξή τους**.

- Γι' αυτό, η **ρύθμιση των γονιδίων** στα ευκαρυωτικά κύτταρα **γίνεται σε πολλά επίπεδα**.

Η γονιδιακή έκφραση στους προκαρυωτικούς οργανισμούς**2.32 Τι γνωρίζετε για τα γονίδια του βακτηρίου *E. coli* και την έκφρασή τους;**

- Το βακτήριο *E. coli* περιέχει **περισσότερα** από **4.000 γονίδια**.
  - **Μερικά γονίδια μεταγράφονται συνεχώς** και κωδικοποιούν πρωτεΐνες, που χρειάζονται για τις **βασικές λειτουργίες του κυττάρου**\*<sup>1</sup>.
  - **Άλλα γονίδια μεταγράφονται μόνο όταν το κύτταρο αναπτύσσεται σε ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες**, επειδή τα προϊόντα των γονιδίων αυτών είναι απαραίτητα για την **επιβίωση** του κυττάρου στις συνθήκες αυτές. Π.χ. τα βακτήρια *E. coli*:
    - ✓ χρησιμοποιούν ως **πηγή άνθρακα** το σάκχαρο **γλυκόζη**, αλλά
    - ✓ μπορούν να χρησιμοποιήσουν το **δισακχαρίτη** λακτόζη ρυθμίζοντας την παραγωγή κατάλληλων ενζύμων, που διασπούν\*<sup>2</sup> τη λακτόζη σε γλυκόζη και γαλακτόζη.

\*<sup>1</sup> Π.χ. ένζυμα για την παραγωγή ενέργειας.

\*<sup>2</sup> Τη διάσπαση του δισακχαρίτη καταλύει το ένζυμο **β-γαλακτοζιδάση**, που κωδικοποιείται από το δομικό γονίδιο Z.

**2.33 Τι μελέτησαν και τι απέδειξαν οι ερευνητές Jacob και Monod;**

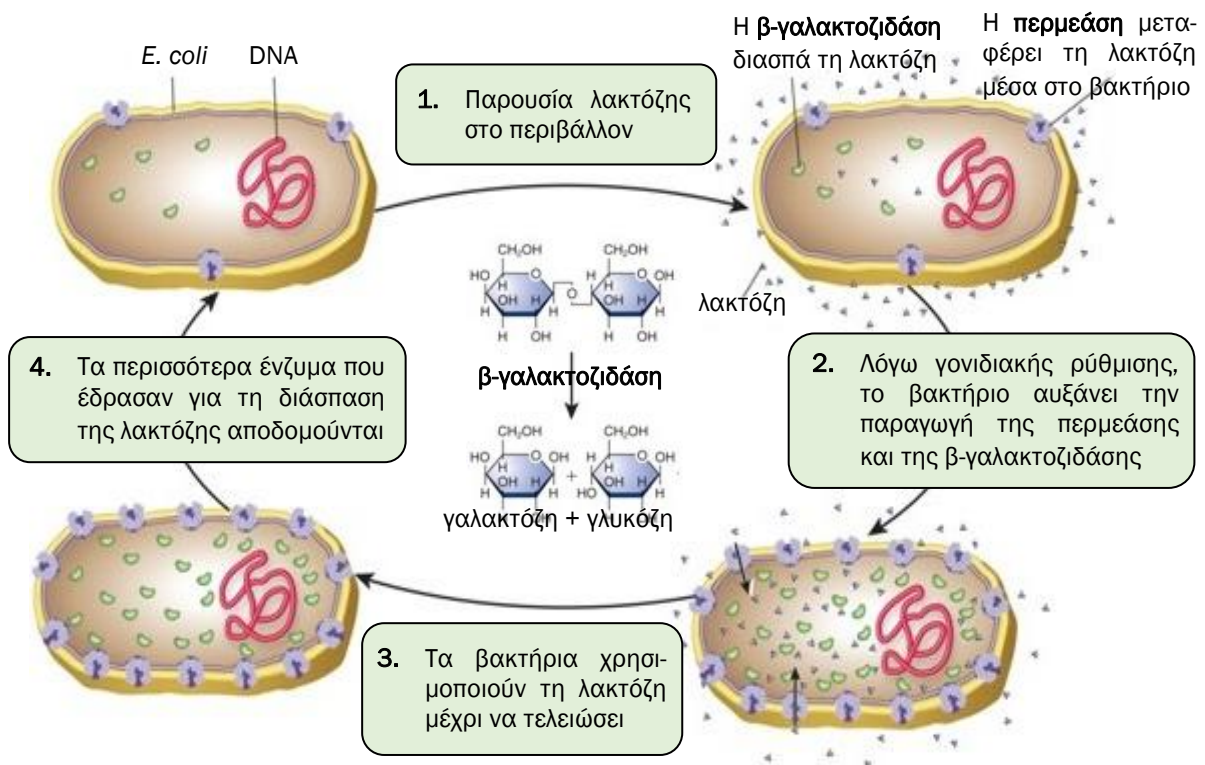
- Μελέτησαν πώς ένα κύτταρο «ξυπνά» ένα «κοιμισμένο» γονίδιο.
- Περιέγραψαν την ικανότητα του βακτηρίου *E. coli* να παράγει τα **τρία** απαραίτητα **ένζυμα** που χρειάζεται **για να μεταβολίσει το δισακχαρίτη λακτόζη**, **όταν δεν υπάρχει γλυκόζη** στην τροφή του.
- Απέδειξαν με γενετικές μελέτες ότι τα **γονίδια** που κωδικοποιούν τα τρία αυτά ένζυμα βρίσκονται **το ένα δίπλα στο άλλο** στο γονιδίωμα του βακτηρίου και αποτελούν μια **μονάδα**, που την ονόμασαν **οπερόνιο της λακτόζης**.

**3η**  
διαφορά  
*Euc-Pro*

**2.34 Τι είναι το οπερόνιο και τι περιλαμβάνει;**

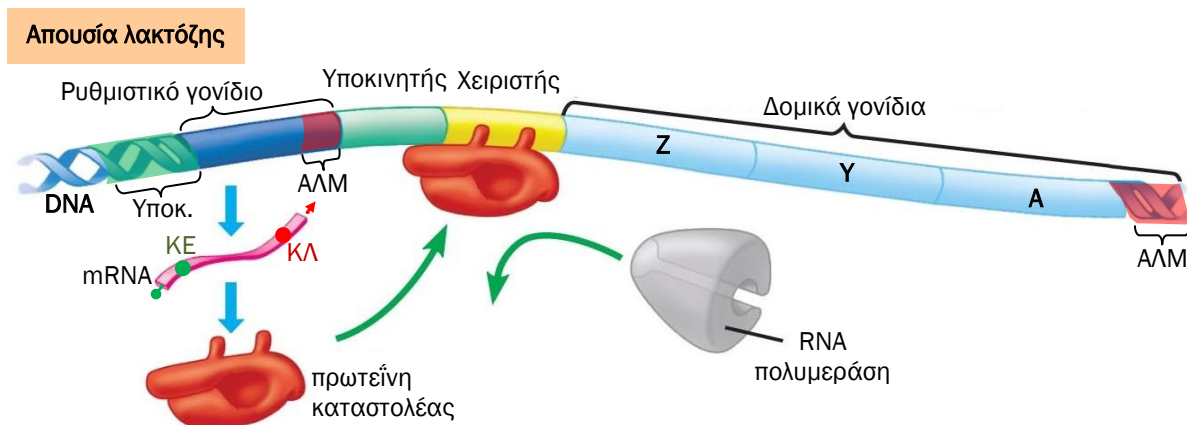
ΠΕ '01

- Το οπερόνιο είναι μια **ομάδα γονιδίων** στο γονιδίωμα των προκαρυωτικών οργανισμών, των οποίων η έκφραση υπόκειται σε **κοινό έλεγχο**.
- Περιλαμβάνει τα **δομικά γονίδια**, τα οποία κωδικοποιούν **ένζυμα** που παίρνουν μέρος σε μια **μεταβολική οδό**, όπως
  - η διάσπαση της λακτόζης,
  - η βιοσύνθεση διαφόρων αμινοξέων κ.ά.
- Περιλαμβάνει επίσης τις **αλληλουχίες DNA** που ρυθμίζουν τη μεταγραφή των δομικών γονιδίων και βρίσκονται μπροστά από τα δομικά γονίδια και είναι κατά σειρά:
  - ένα **ρυθμιστικό γονίδιο**, ο **υποκινητής** και ο **χειριστής**.

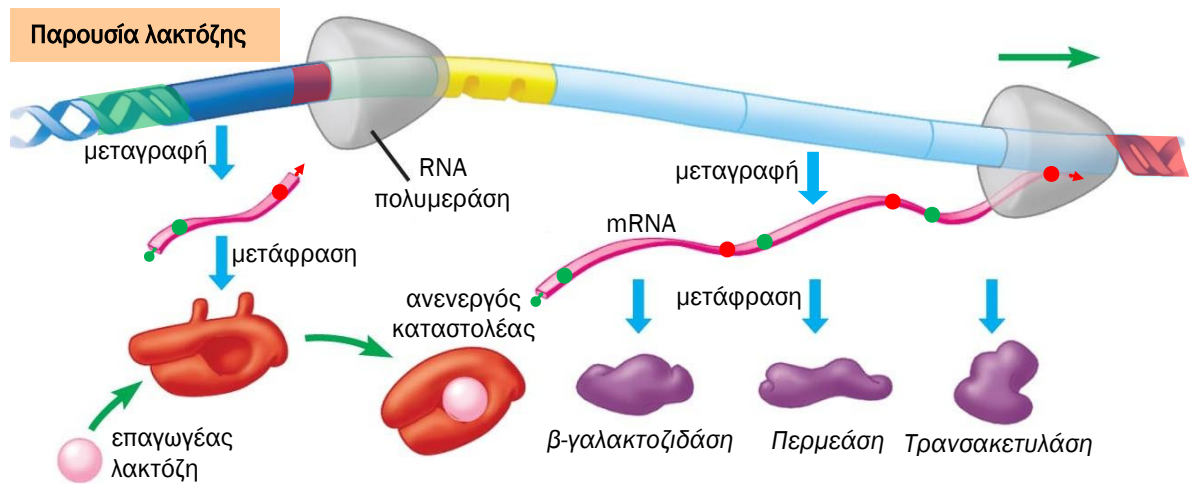


Εικόνα: Μεταβολισμός λακτόζης

2.35 Πότε βρίσκονται υπό καταστολή τα γονίδια του οπερονίου της λακτόζης και πότε εκφράζονται; ΠΕ '01, '20



- Το οπερόνιο της λακτόζης **δεν μεταγράφεται ούτε μεταφράζεται**, όταν **απουσιάζει** από το θρεπτικό υλικό η **λακτόζη**.
- Η **καταστολή** των γονιδίων του οπερονίου επιτυγχάνεται με τη συμμετοχή δύο **ρυθμιστικών μορίων**, μιας αλληλουχίας DNA, που ονομάζεται **χειριστής** και βρίσκεται μεταξύ του υποκινητή και του πρώτου δομικού γονιδίου, και μιας ρυθμιστικής **πρωτεΐνης-καταστολέα**.  
→ Όταν απουσιάζει η λακτόζη ο **καταστολέας προσδένεται ισχυρά στο χειριστή** και **εμποδίζει την RNA πολυμεράση** να αρχίσει τη μεταγραφή των δομικών γονιδίων.



- Το οπερόνιο της λακτόζης **μεταγράφεται**, **μόνο** όταν στο θρεπτικό υλικό υπάρχει **λακτόζη**.
- Ο ίδιος **ο διασaccaρίτης προσδένεται στον καταστολέα** και δεν του επιτρέπει να προσδεθεί στο χειριστή. Δηλαδή η λακτόζη:
  - λειτουργεί ως **επαγωγέας** της μεταγραφής των γονιδίων του οπερονίου.
  - **ενεργοποιεί τη διαδικασία για την αποικοδόμησή της**.
- Η RNA πολυμεράση είναι ελεύθερη να αρχίσει τη μεταγραφή.
- Τα γονίδια αρχίζουν να «εκφράζονται», δηλαδή να μεταγράφονται και να συνθέτουν τα ένζυμα.
  - Τα τρία ένζυμα **μεταφράζονται ταυτόχρονα** από το **ίδιο μόριο mRNA**, το οποίο περιέχει **κωδικόνια έναρξης και λήξης** για κάθε ένζυμο.
- Όταν η λακτόζη διασπαστεί πλήρως, τότε η πρωτεΐνη-καταστολέας είναι ελεύθερη να προσδεθεί στο χειριστή και να καταστείλει τη λειτουργία των τριών γονιδίων.

### 2.36 DNA αλληλουχίες και ρυθμιστικά μόρια στο οπερόνιο της λακτόζης.

| Όρος                   | Ορισμός – Χαρακτηριστικές ιδιότητες                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ρυθμιστικό γονίδιο     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Γονίδιο που κωδικοποιεί τη σύνθεση της ρυθμιστικής πρωτεΐνης-καταστολέα.</li> <li>• <b>Μεταγράφεται συνεχώς και παράγει λίγα μόρια</b> του καταστολέα.</li> </ul>                                                                                                                                |
| Υποκινητής             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Είναι <b>κοινός</b> και για τα τρία δομικά γονίδια.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                   |
| Πρωτεΐνη - καταστολέας | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κωδικοποιείται από ένα ρυθμιστικό γονίδιο, που βρίσκεται μπροστά από τον υποκινητή.</li> <li>• <b>Προσδένεται συνεχώς στο χειριστή</b>, όταν δεν υπάρχει λακτόζη στο περιβάλλον, εμποδίζοντας την RNA πολυμεράση να μεταγράψει τα δομικά γονίδια.</li> <li>→ <b>Ρυθμιστικό μόριο.</b></li> </ul> |
| Χειριστής              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Αλληλουχία DNA, όπου <b>προσδένεται η πρωτεΐνη καταστολέας</b>.</li> <li>→ <b>Ρυθμιστικό μόριο.</b></li> </ul>                                                                                                                                                                                   |

## Η γονιδιακή ρύθμιση στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς

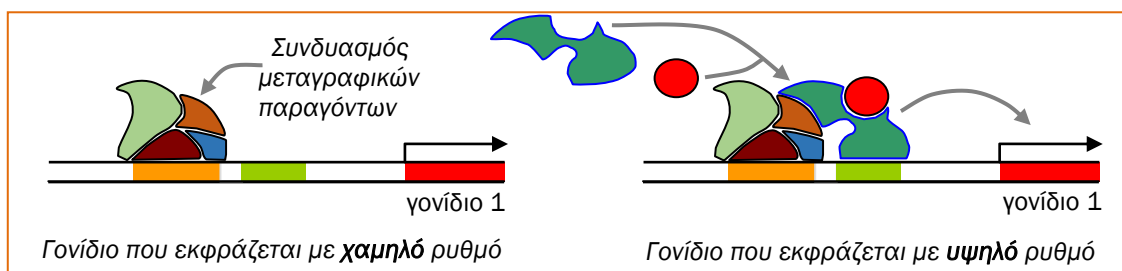
**2.37** Τι απαντήσεις θα δώσει η πλήρης διαλεύκανση των μηχανισμών ρύθμισης της έκφρασης των γονιδίων;

- Η ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων στα ευκαρυωτικά κύτταρα:  
→ γίνεται με ιδιαίτερα πολύπλοκους μηχανισμούς και  
→ αποτελεί σήμερα αντικείμενο εντατικής ερευνητικής μελέτης.
- Η πλήρης διαλεύκανση των μηχανισμών αυτών θα δώσει απαντήσεις για το πώς, **όταν οι μηχανισμοί αυτοί απορρυθμίζονται**, τα κύτταρα «βγαίνουν» από το αυστηρό πρόγραμμα λειτουργίας τους και γίνονται **καρκινικά**.

**2.38** Περιγράψτε τα επίπεδα ρύθμισης της γονιδιακής έκφρασης στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς;

- Στο επίπεδο της μεταγραφής περιλαμβάνονται μηχανισμοί, οι οποίοι ελέγχουν **ποια γονίδια θα μεταγραφούν** ή/και **με ποια ταχύτητα** θα γίνει η μεταγραφή. (ΠΕ '08)  
→ Το DNA των ευκαρυωτικών κυττάρων **δεν οργανώνεται σε οπερόνια**, αλλά κάθε γονίδιο έχει το δικό του **υποκινητή** και μεταγράφεται αυτόνομα.  
→ Η **RNA πολυμεράση** λειτουργεί (όπως και στους προκαρυωτικούς οργανισμούς) με τη βοήθεια πρωτεϊνών, που ονομάζονται **μεταγραφικοί παράγοντες**.  
→ Για τους **μεταγραφικούς παράγοντες** των ευκαρυωτικών κυττάρων ισχύει ότι:
  - ✓ παρουσιάζουν **τεράστια ποικιλία**,
  - ✓ κάθε κυτταρικός τύπος περιέχει **διαφορετικά είδη**,
  - ✓ **διαφορετικός συνδυασμός** τους ρυθμίζει τη μεταγραφή κάθε γονιδίου,
  - ✓ μόνο όταν ο **σωστός συνδυασμός** τους προσδεθεί στον υποκινητή ενός γονιδίου, αρχίζει η RNA πολυμεράση τη μεταγραφή του γονιδίου.

**4η**  
διαφορά  
Euc-Pro



- Στο επίπεδο **μετά τη μεταγραφή** περιλαμβάνονται μηχανισμοί, με τους οποίους:
  - γίνεται η **ωρίμανση** του **πρόδρομου mRNA** και
  - καθορίζεται η **ταχύτητα** με την οποία το ώριμο mRNA αφήνει τον πυρήνα και εισέρχεται στο κυτταρόπλασμα.

**5η**  
διαφορά  
Euc-Pro

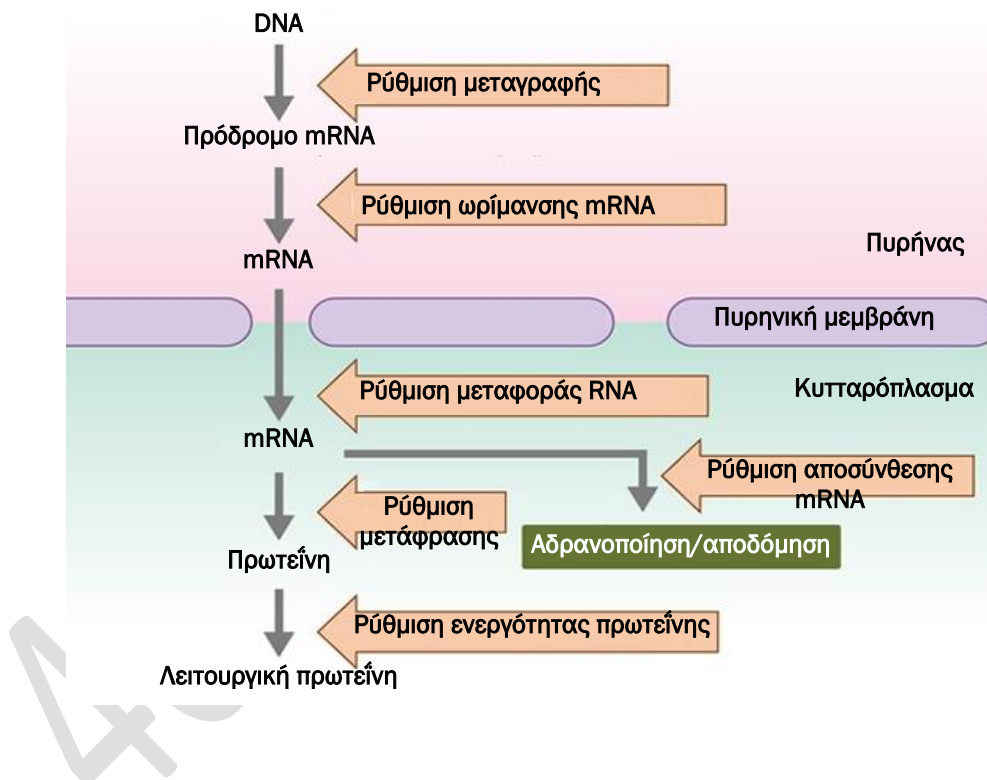
- Στο επίπεδο της μετάφρασης.

- Ο χρόνος που «ζουν» τα μόρια mRNA στο κυτταρόπλασμα δεν είναι ίδιος για όλα τα είδη RNA, επειδή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αποικοδομούνται.
- Επίσης, ποικίλει και η ικανότητα πρόσδεσης του mRNA στα ριβοσώματα.

- Στο επίπεδο μετά τη μετάφραση.

6η  
διαφορά  
Euc-Pro

- Ακόμη και όταν γίνει η πρωτεϊνοσύνθεση και παραχθεί η κατάλληλη πρωτεΐνη, μπορεί να πρέπει να υποστεί τροποποιήσεις, για να γίνει βιολογικά λειτουργική. Π.χ.:
  - ✓ απομάκρυνση αμινοξέων από το αρχικό αμινικό άκρο της πρωτεΐνης,
  - ✓ ενζυμική απομάκρυνση ενδιάμεσου πεπτιδίου, κατά τη μετατροπή του μορίου της προϊνσουλίνης σε ινσουλίνη (8ο κεφάλαιο).



## ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ – ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ &amp; ΘΕΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ – ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

## 2.39 Διαφορές στην αντιγραφή ευκαρυωτικών και προκαρυωτικών οργανισμών:

| Κριτήριο                   | Ευκαρυωτικοί                                                                                                                       | Προκαρυωτικοί                                                           |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ανάγκη (πότε;)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Αναπαραγωγή</li> <li>Ανάπτυξη, επούλωση πληγών, αντικατάσταση φθαρμένων κυττάρων</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Αναπαραγωγή</li> </ul>           |
| Χώρος που πραγματοποιείται | <ul style="list-style-type: none"> <li>Στον πυρήνα, στα μιτοχόνδρια και στους χλωροπλάστες</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Στο κυτταρόπλασμα</li> </ul>     |
| Θέσεις έναρξης             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Πολλές θέσεις έναρξης (εκατοντάδες)</li> </ul>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Μία θέση έναρξης</li> </ul>      |
| Χρόνος διαδικασίας         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Πολύ γρήγορα</li> </ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Λιγότερο από 30 λεπτά</li> </ul> |

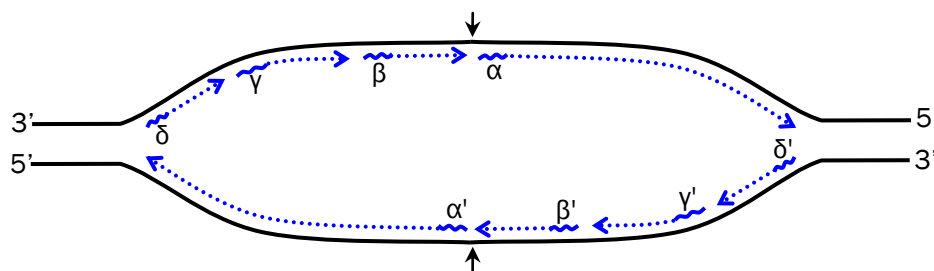
## 2.40 Διευκρίνιση – επισήμανση για την αποσυμπίρωση της χρωματίνης κατά την αντιγραφή.

- Για να γίνει η αντιγραφή, θα πρέπει τα ένζυμα να έχουν πρόσβαση στη διπλή έλικα του DNA.
- Για να γίνει αυτό, θα πρέπει τα ινίδια χρωματίνης να ξετυλιχτούν σε νουκλεοσώματα, και τα νουκλεοσώματα σε γυμνό DNA. Αυτό γίνεται τοπικά, εκεί ακριβώς που γίνεται η αντιγραφή.
- Τα δύο νέα θυγατρικά μόρια DNA που δημιουργούνται, αμέσως μετά τυλίγονται με καινούργιες ιστόνες και ξαναδημιουργούν νουκλεοσώματα και ινίδια χρωματίνης.

## 2.41 Διευκρίνιση – επισήμανση για τα επιδιορθωτικά ένζυμα και τη δράση τους κατά την αντιγραφή.

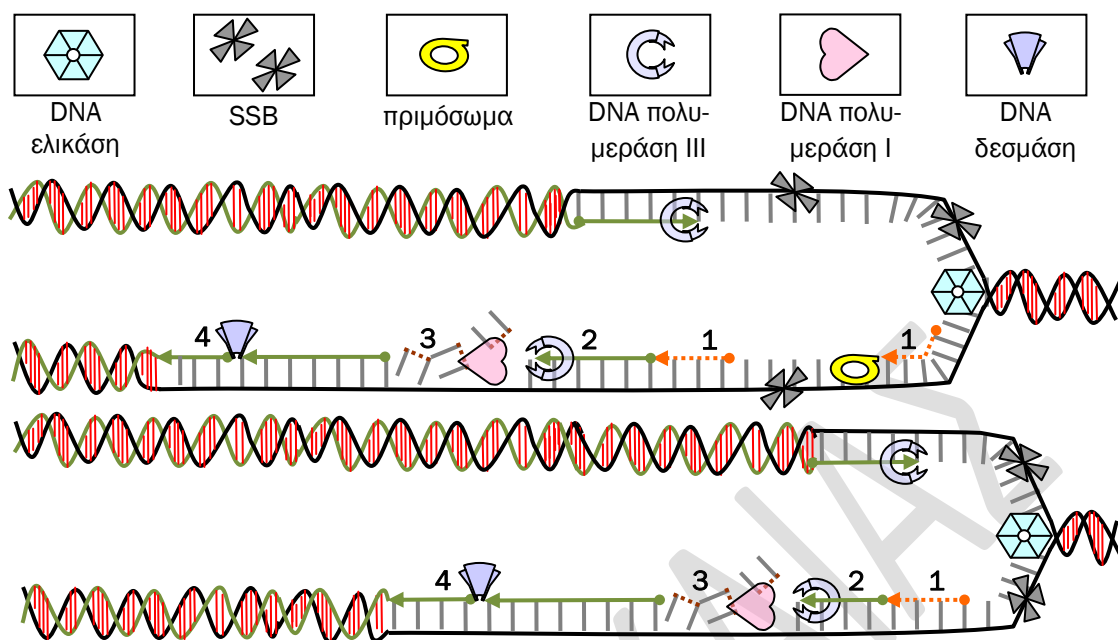
- Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά επιδιορθωτικά ένζυμα (περίπου 40 στα ανθρώπινα κύτταρα), το καθένα από τα οποία επιδιορθώνει ένα διαφορετικό είδος λάθους.
- Ένας τρόπος επιδιόρθωσης γίνεται με απομάκρυνση των λανθασμένων νουκλεοτιδίων (με διάσπαση φωσφοδιεστερικών δεσμών) και τη συνένωση των νέων σωστών (με δημιουργία φωσφοδιεστερικών δεσμών).

## 2.42 🌟🌟 Διευκρίνιση – επισήμανση για την αντιγραφή σε μια θηλιά.



- Στη θηλιά υπάρχει μια **διαγώνια συμμετρία**, ως προς τη συνεχή και την ασυνεχή αντιγραφή.
- Καμία αλυσίδα δεν αντιγράφεται αποκλειστικά συνεχώς ή αποκλειστικά ασυνεχώς.
- Κάθε αλυσίδα αντιγράφεται κατά το ήμισυ συνεχώς και κατά το ήμισυ ασυνεχώς.**
- Σε κάθε θηλιά, οι αλυσίδες που δημιουργούνται:
  - από τη θέση έναρξης της αντιγραφής προς τις διχάλες της θηλιάς συντίθενται με τρόπο **συνεχή**, ενώ
  - από τις διχάλες της θηλιάς προς τη θέση έναρξης της αντιγραφής συντίθενται με τρόπο **ασυνεχή**.

## 2.43 \* Διευκρίνιση – επισήμανση για την ασυνεχή αντιγραφή.



1. Το **πριμόσωμα** συνθέτει κάθε φορά ένα νέο πρωταρχικό τμήμα.
2. Η DNA πολυμεράση III **επιμηκύνει** κάθε φορά το πρωταρχικό τμήμα.
3. Η DNA πολυμεράση I **κόβει και απομακρύνει τα ριβονουκλεοτίδια** του προηγούμενου πρωταρχικού τμήματος και η DNA πολυμεράση III συνεχίζει την επιμήκυνση μέχρι το παλαιότερο τμήμα DNA.
4. Η **DNA δεσμάση** θα σχηματίσει τον τελευταίο φωσφοδιεστερικό δεσμό, που θα συνδέσει το παλαιότερο τμήμα DNA με το νεότερο.

## 2.44 Διαφορές και ομοιότητες μεταξύ DNA και RNA πολυμεράσης:

| Κριτήριο                       | DNA πολυμεράση                                                                                    | RNA πολυμεράση                                                      |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Είδος δεσμού                   | • Σχηματίζουν φωσφοδιεστερικούς δεσμούς 3' – 5'                                                   |                                                                     |
| Ανάπτυξη αλυσίδας              | • Κατεύθυνση ανάπτυξης 5' → 3'                                                                    |                                                                     |
| «καλούπι» – προϊόν             | • Με καλούπι DNA «φτιάχνει» DNA (αντιγραφή)                                                       | • Με καλούπι DNA «φτιάχνει» RNA (μεταγραφή)                         |
| Μονομερή που συνδέει           | • Συνδέει διαδοχικά δεοξυριβονουκλεοτίδια                                                         | • Συνδέει διαδοχικά ριβονουκλεοτίδια                                |
| Εκκίνηση διαδικασίας           | • Δεν έχουν την ικανότητα να αρχίσουν την αντιγραφή<br>→ προηγούνται η DNA ελικάση & το πριμόσωμα | • Εκκινούν την μεταγραφή με τη βοήθεια των μεταγραφικών παραγόντων  |
| «Ξετύλιγμα» διπλής έλικας      | • Δεν «ξεδιπλώνει» το δίκλωνο DNA. Προηγείται η DNA ελικάση σπάζοντας τους δεσμούς υδρογόνου      | • «Ξεδιπλώνει» το δίκλωνο DNA σπάζοντας δεσμούς υδρογόνου           |
| Ικανότητα επιδιόρθωσης         | • Ναι                                                                                             | • Όχι                                                               |
| Μήκος ν. οξέος που πολυμερίζει | • Όλο το DNA                                                                                      | • Ένα γονίδιο<br>• Ίσως περισσότερα γονίδια στα βακτήρια (οπερόνιο) |

## 2.45 Διαφορές μεταξύ αντιγραφής και μεταγραφής.

| Κριτήριο                        | Αντιγραφή                                                                                                                     | Μεταγραφή                                                                                                                                                  |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Σκοπός</b><br>(αποτέλεσμα)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Να διαθέτει κάθε θυγατρικό κύτταρο το απαραίτητο γενετικό υλικό</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Η σύνθεση των απαραίτητων ειδών RNA</li> </ul>                                                                      |
| <b>Ανάγκη</b><br>(πότε;)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ανάπτυξη, αντικατάσταση φθαρμένων κυττάρων, επούλωση πληγών, αναπαραγωγή</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Σύνθεση συγκεκριμένων κάθε φορά πολυπεπτιδικών αλυσίδων</li> </ul>                                                  |
| <b>Επανάληψη</b><br>(συχνότητα) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Γίνεται μια φορά στον κύκλο ζωής του κυττάρου</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Γίνεται πολλές φορές στον κύκλο ζωής του κυττάρου</li> </ul>                                                        |
| <b>Θέσεις έναρξης</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Το μόριο του DNA ανοίγει ταυτόχρονα σε πολλά σημεία (Euc.) ή σε ένα (Proc.)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Το μόριο του DNA ανοίγει σε ένα μόνο σημείο (στο γονίδιο ή στο οπερόνιο)</li> </ul>                                 |
| <b>Προϊόν</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ένα είδος DNA</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Τρία είδη RNA (m, t, r) στους προκαρυωτικούς</li> <li>Τέσσερα είδη RNA (m, t, r, sn) στους ευκαρυωτικούς</li> </ul> |
| <b>Τροποποίηση προϊόντος</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Όχι</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ναι στους ευκαρυωτικούς</li> <li>Όχι στους προκαρυωτικούς</li> </ul>                                                |
| <b>Εύρος διαδικασίας</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Αντιγράφονται και οι δυο αλυσίδες κάθε μορίου DNA σε όλο το μήκος τους</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Μεταγράφεται τμήμα μόνο της μιας αλυσίδας του DNA (μεταγραφόμενος κλώνος)</li> </ul>                                |
| <b>Κύριο ένζυμο</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>DNA πολυμεράση</li> </ul>                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>RNA πολυμεράση</li> </ul>                                                                                           |
| <b>Μηχανισμοί επιδιόρθωσης</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Διαθέτει (DNA πολυμεράσες και επιδιορθωτικά ένζυμα)</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν διαθέτει</li> </ul>                                                                                             |
| <b>Άνοιγμα δίκλωνου</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Οι DNA ελικάσες ταυτόχρονα σε δυο αντίθετες κατευθύνσεις</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Η RNA πολυμεράση σε μια κατεύθυνση</li> </ul>                                                                       |
| <b>Εκκίνηση διαδικασίας</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Συντίθενται μικρά τμήματα RNA (πρωταρχικά) από το πριμόσωμα</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Μεταγραφικοί παράγοντες και υποκινητής</li> </ul>                                                                   |

## 2.46 ☼\* Μη μεταγραφόμενες περιοχές του DNA:

- Το 62 – 75% του γενετικού υλικού
- Τα γονίδια που δεν εκφράζονται στα διαφοροποιημένα κύτταρα
- Οι κωδικοί κλώνοι – αλυσίδες
- Οι υποκινητές
- Ο χειριστής

## 2.47 ☼\* Μη μεταφραζόμενες περιοχές του DNA:

- Οι μη μεταγραφόμενες περιοχές του DNA (βλέπε ερώτηση 2.46)
- Τα εσώνια (στα ευκαρυωτικά κύτταρα μόνο)
- Τα γονίδια που κωδικοποιούν για t, r και snRNA
- Οι 5' & 3' αμετάφραστες περιοχές των γονιδίων
- Τα κωδικόνια λήξης

## 2.48 ☼\* Μη μεταφραζόμενες περιοχές του mRNA:

- Τα εσώνια (στα ευκαρυωτικά κύτταρα μόνο)
- Οι 5' & 3' αμετάφραστες περιοχές
- Τα κωδικόνια λήξης

### 2.49 🌱🌱 Παράγοντες που διασφαλίζουν την πιστότητα αντιγραφής και μεταφοράς της γενετικής πληροφορίας ή συμβάλλουν στη μείωση των λαθών:

- Η συμπληρωματικότητα βάσεων, σε όλες τις διαδικασίες του κεντρικού δόγματος
- Οι DNA πολυμεράσες, κατά την αντιγραφή
- Τα επιδιορθωτικά ένζυμα, κατά την αντιγραφή
- Ο εκφυλισμένος γενετικός κώδικας (συνώνυμα κωδικόνια), κατά τη μετάφραση
- Ο μη επικαλυπτόμενος γενετικός κώδικας, κατά τη μετάφραση

#### Μόνο σε ευκαρυωτικούς οργανισμούς:

- Οι πολλές θέσεις έναρξης της αντιγραφής
- Τα διακεκομμένα ή ασυνεχή γονίδια
- Η τροποποίηση των πρωτεϊνών, μετά τη μετάφραση

### 2.50 Διαφορές κατά τη μεταγραφή, στο προϊόν της μεταγραφής και κατά τη μετάφραση ευκαρυωτικών και προκαρυωτικών οργανισμών:

| Κριτήριο                                | Ευκαρυωτικοί                                                                                                                  | Προκαρυωτικοί                                                                                                                             |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ποικιλία RNA πολυμερασών                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Τρία είδη</li> </ul>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ένα είδος</li> </ul>                                                                             |
| Είδη RNA                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• m, t, r και snRNA</li> </ul>                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• m, t και rRNA</li> </ul>                                                                         |
| Τροποποίηση προϊόντος                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ναι, ωρίμανση (στον πυρήνα)</li> <li>• Δυο είδη mRNA (πρόδρομο και ώριμο)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Όχι</li> <li>• Ένα είδος (ώριμο)</li> </ul>                                                      |
| Αριθμός πληροφοριών ανά mRNA            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ένα γονίδιο, μία Π-Π αλυσίδα</li> </ul>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Περισσότερα από ένα γονίδια και Π-Π αλυσίδες (π.χ. δομικά γονίδια, οπερόνιο λακτόζης)</li> </ul> |
| Γον. ρύθμιση                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ναι, σε πολλά επίπεδα</li> </ul>                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ναι, αλλά μόνο από το περιβάλλον</li> </ul>                                                      |
| Μετάφραση<br>(σε σχέση με τη μεταγραφή) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μετά την ολοκλήρωση της μεταγραφής, λόγω ύπαρξης πυρηνικής μεμβράνης</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Συνήθως πριν την ολοκλήρωση της μεταγραφής, λόγω μη ύπαρξης πυρηνικής μεμβράνης</li> </ul>       |

### 2.51 Αλληλουχίες «σηματοδότησης – σήμανσης» και ο ρόλος τους:

|                                                                  |                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| • Θέσεις έναρξης                                                 | ✓ Δράση των DNA ελικάσων κατά την αντιγραφή                                               |
| • Πρωταρχικά τμήματα RNA                                         | ✓ Εκκίνηση της αντιγραφής                                                                 |
| • Υποκινητής                                                     | ✓ Πρόσδεση των μεταγραφικών παραγόντων και της RNA πολυμεράσης                            |
| • Αλληλουχία λήξης μεταγραφής                                    | ✓ Λήξη μεταγραφής                                                                         |
| • 5' αμετάφραστη περιοχή                                         | ✓ Πρόσδεση στη μικρή υπομονάδα του ριβοσώματος<br>✓ Έναρξη μετάφρασης                     |
| • Κωδικόνιο έναρξης                                              | ✓ Έναρξη μετάφρασης                                                                       |
| • Κωδικόνια λήξης                                                | ✓ Λήξη της μετάφρασης                                                                     |
| • Οι αλληλουχίες δράσης των ενζύμων περιοριστικές ενδονουκλεάσες | ✓ Ανασυνδυασμός, μετασχηματισμός, γενετική τροποποίηση, άμυνα κατά ξένου DNA (π.χ. φάγου) |

## 2.52 🌟\* Νουκλεοπρωτεϊνικοί σχηματισμοί του ευκαρυωτικού κυττάρου:

- Μικρά ριβονουκλεοπρωτεϊνικά σωματίδια (snRNA + πρωτεΐνες)
- Ριβοσώματα (rRNA + πρωτεΐνες)
- Χρωμοσώματα, χρωματίδες, χρωματίνη, νουκλεοσώματα (DNA + πρωτεΐνες ιστόνες κ.ά.)

## 2.53 🌟\*🌟\* Περιοχές του DNA με ρυθμιστικό ρόλο:

### Κατά την αντιγραφή:

- Θέσεις έναρξης της αντιγραφής.  
→ Εκεί προσδένονται οι DNA ελικάσες και ανοίγει η διπλή έλικα του DNA για να γίνει η αντιγραφή του.

### Κατά τη μεταγραφή:

- Ο υποκινητής.  
→ Βρίσκεται στην αρχή κάθε γονιδίου και εκεί προσδένεται η RNA πολυμεράση με τη βοήθεια των μεταγραφικών παραγόντων, για να αρχίσει η μεταγραφή του γονιδίου.
- Οι αλληλουχία λήξης της μεταγραφής.  
→ Βρίσκεται στο τέλος κάθε γονιδίου και σταματά τη σύνθεση του RNA κατά τη μεταγραφή και επιτρέπει την απελευθέρωσή του.
- Γονίδια που κωδικοποιούν για τους μεταγραφικούς παράγοντες.  
→ Παίζουν καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση της μεταγραφής, συμβάλλοντας στη πρόσδεση της RNA πολυμεράσης στον υποκινητή.
- Το ρυθμιστικό γονίδιο του οπερονίου στα βακτήρια.  
→ Κωδικοποιεί για την πρωτεΐνη καταστολέα που συμβάλει στην έκφραση ή μη των δομικών γονιδίων του οπερονίου.
- Ο χειριστής του οπερονίου στα βακτήρια.  
→ Εκεί προσδένεται ο καταστολέας και εμποδίζει την RNA πολυμεράση να μεταγράψει τα δομικά γονίδια του οπερονίου.

### Μετά τη μεταγραφή:

- Τα όρια των εσώνων και εξωνίων.  
→ «Καθοδηγούν» τη διαδικασία της ωρίμανσης, βοηθώντας το σύμπλεγμα snRNA και πρωτεϊνών να αποκόψει τα εσώνια και να συρράψει τα εξώνια.
- Τα γονίδια που κωδικοποιούν για το snRNA και τις πρωτεΐνες των μικρών ριβονουκλεοπρωτεϊνικών σωματιδίων.

### Κατά τη μετάφραση:

- Τα κωδικόνια έναρξης και λήξης.  
→ Οριοθετούν την έναρξη και τη λήξη της πρωτεϊνοσύνθεσης αντίστοιχα.
- Οι 5' και 3' αμετάφραστες περιοχές.  
→ Συμβάλλουν στην πρόσδεση και αποδέσμευση του ριβοσώματος κατά την έναρξη και τη λήξη της πρωτεϊνοσύνθεσης αντίστοιχα.

## 2.54 Σύγκριση αντιγραφής, μεταγραφής και μετάφρασης.

| Κριτήριο                                         | ΑΝΤΙΓΡΑΦΗ                                                                             | ΜΕΤΑΓΡΑΦΗ                                                                                                                          | ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ                                                                                |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Συντίθεται τι, με «καλούπι» τι;                  | ✓ DNA με «καλούπι» DNA                                                                | ✓ RNA με «καλούπι» DNA                                                                                                             | ✓ Αλληλουχία αμινοξέων με «καλούπι» την αλληλουχία βάσεων του mRNA                       |
| Τι συντίθεται;                                   | ✓ Δύο δεοξυριβο- πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες                                          | ✓ Μία πολυριβονουκλεοτιδική αλυσίδα                                                                                                | ✓ Μία πολυπεπτιδική αλυσίδα                                                              |
| Κατεύθυνση σύνθεσης                              | ✓ DNA, 5' → 3'                                                                        | ✓ RNA, 5' → 3'                                                                                                                     | ✓ H <sub>2</sub> N- → -COOH                                                              |
| Κατεύθυνση διαβάσματος                           | ✓ DNA, 3' → 5'                                                                        | ✓ DNA, 3' → 5'                                                                                                                     | ✓ mRNA, 5' → 3'                                                                          |
| Εύρος διαδικασίας                                | ✓ Αντιγράφονται και οι δύο αλυσίδες κάθε μορίου DNA                                   | ✓ Μεταγράφεται μόνο η μία αλυσίδα του μορίου του DNA ενός γονιδίου                                                                 | ✓ Μεταφράζεται τμήμα του mRNA                                                            |
| Από πόσα σημεία ξεκινά η διαδικασία;             | ✓ Πολλά σημεία στα ευκαρυωτικά κύτταρα και<br>✓ Ένα σημείο στα προκαρυωτικά           | ✓ Από ένα σημείο για κάθε RNA (μετά τον υποκινητή)                                                                                 | ✓ Από το κωδικόνιο έναρξης                                                               |
| Από πού ξεκινά η διαδικασία;                     | ✓ Από τις θέσεις έναρξης αντιγραφής                                                   | ✓ Μετά τον υποκινητή                                                                                                               | ✓ Από το κωδικόνιο έναρξης 5' AUG 3'                                                     |
| Πού γίνεται;                                     | ✓ Στον πυρήνα κυρίως                                                                  | ✓ Στον πυρήνα κυρίως                                                                                                               | ✓ Στα ριβοσώματα                                                                         |
| Η «τύχη» των προϊόντων                           | ✓ Παραμένουν στον πυρήνα                                                              | ✓ Μετακινούνται στο κυτταρόπλασμα κυρίως                                                                                           | ✓ Μετακινούνται σε όποιο σημείο του κυττάρου είναι αναγκαίο ή εκκρίνονται στο περιβάλλον |
| Πόσα μονομερή χρησιμοποιούνται;                  | ✓ 4 είδη (δεοξυριβονουκλεοτίδια)                                                      | ✓ 4 είδη (ριβονουκλεοτίδια)                                                                                                        | ✓ 20 το πολύ διαφορετικά αμινοξέα                                                        |
| Με τι δεσμό ενώνονται;                           | ✓ Με 3-5' φωσφοδιεστερικό                                                             | ✓ Με 3-5' φωσφοδιεστερικό                                                                                                          | ✓ Με πεπτιδικό                                                                           |
| Συμπληρωματικότητα βάσεων                        | DNA A T G C<br>II II III III<br>DNA T A C G                                           | DNA A T G C<br>II II III III<br>RNA U A C G                                                                                        | mRNA A U G C<br>II II III III<br>tRNA U A C G                                            |
| Ένζυμα και άλλοι παράγοντες που χρησιμοποιούνται | ✓ DNA ελικάση<br>✓ Πριμόσωμα<br>✓ DNA πολυμεράσες<br>✓ DNA δεσμάση<br>✓ Επιδιορθωτικά | ✓ RNA πολυμεράσες<br>✓ Μεταγραφικοί παράγοντες                                                                                     | ✓ Ένζυμα<br>✓ Παράγοντες:<br>→ έναρξης<br>→ επιμήκυνσης<br>→ απελευθέρωσης               |
| Αντιστοιχία μονομερών                            | ✓ 1 : 1                                                                               | ✓ 1 : 1                                                                                                                            | ✓ 3 : 1, για το μεταφράσιμο τμήμα                                                        |
| Είναι υπεύθυνη για:                              | ✓ Τη διατήρηση και μεταβίβαση της γενετικής πληροφορίας                               | ✓ Τη μεταφορά της γενετικής πληροφορίας (mRNA),<br>✓ για τη σύνθεση πρωτεϊνών (tRNA, rRNA), αλλά και<br>✓ για τη γονιδιακή ρύθμιση | ✓ την έκφραση των γενετικών πληροφοριών                                                  |

### 2.55 ☼\* Διευκρίνιση – επισήμανση για τη συσχέτιση των διαδικασιών της αντιγραφής, μεταγραφής και μετάφρασης με τον κύκλο ζωής του κυττάρου.

- Όπως γνωρίζουμε, ο κύκλος ζωής των σωματικών κυττάρων περιλαμβάνει τη μεσόφαση, που καταλαμβάνει το 95% περίπου της ζωής του κυττάρου, και την κυτταρική διαίρεση-μίτωση στο 5%. Η συνολική διάρκεια του κύκλου εξαρτάται από το είδος του κυττάρου.
- Στη διάρκεια της **μεσόφασης** το κύτταρο εκτελεί τις λειτουργίες του, ενώ ταυτόχρονα φροντίζει να απορροφήσει ύλη και ενέργεια από το περιβάλλον ώστε να αυξηθεί.  
Στη μεσόφαση, και ιδίως στην **αρχή** της, γίνεται έντονη μεταγραφή του DNA και μετάφραση για τη δημιουργία όλων των απαραίτητων δομικών ή λειτουργικών πρωτεϊνών του κυττάρου. Με τις νέες του πρωτεΐνες το κύτταρο, αφενός αυξάνει τον κυτταρικό του όγκο (το ενδοπλασματικό δίκτυο, τις μεμβράνες του κλπ.) και αφετέρου πραγματοποιεί τη λειτουργία για την οποία είναι προορισμένο.  
Προς το **μέσο** της μεσόφασης πραγματοποιείται και η αντιγραφή του DNA, ενώ αμέσως μετά συνεχίζεται η μεταγραφή και η μετάφραση με πιο ήπιους ρυθμούς.  
Προς το **τέλος** της μεσόφασης διπλασιάζονται και τα ημιαυτόνομα οργανίδια, μιτοχόνδρια και χλωροπλάστες.  
Λογικό είναι λοιπόν, κατά τη μεσόφαση, ο ρυθμός συσπείρωσης της χρωματίνης να είναι μικρός, ώστε τα ένζυμα, τα οποία είναι υπεύθυνα για τις διαδικασίες της αντιγραφής και μεταγραφής, να έχουν εύκολη πρόσβαση στη διπλή έλικα του DNA.
- Στη διάρκεια της **μίτωσης**, ο μεγάλος βαθμός συσπείρωσης της χρωματίνης δεν επιτρέπει στα ένζυμα να έχουν πρόσβαση στη διπλή έλικα κι έτσι κάθε διαδικασία μεταγραφής σταματά. Η διαίρεση των χρωμοσωμάτων ολοκληρώνεται γρήγορα, ώστε ο κυτταρικός μεταβολισμός να συνεχιστεί αμέσως στα θυγατρικά κύτταρα.

### 2.56 Σύγκριση της ροής της γενετικής πληροφορίας σε ευκαρυωτικούς και προκαρυωτικούς οργανισμούς.

| Κριτήριο                                   | ΡΟΗ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ                                                            |                                                                    |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                            | ΣΕ ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ                                                         | ΣΕ ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ                                      |
| Αριθμός θέσεων έναρξης αντιγραφής          | ✓ Πολλές                                                                             | ✓ Μία                                                              |
| Είδη RNA πολυμερασών                       | ✓ Τρία                                                                               | ✓ Ένα                                                              |
| Σχηματισμός snRNA                          | ✓ Ναι                                                                                | ✓ Όχι                                                              |
| Ωρίμανση                                   | ✓ Ναι                                                                                | ✓ Όχι                                                              |
| Γονιδίωμα οργανωμένο σε οπερόνια           | ✓ Όχι                                                                                | ✓ Ναι                                                              |
| Πληροφορίες ανά mRNA                       | ✓ Μία                                                                                | ✓ Μπορεί περισσότερες                                              |
| Μετάφραση σε σχέση με τη μεταγραφή         | ✓ Όχι                                                                                | ✓ Ταυτόχρονα                                                       |
| Επίπεδα γονιδιακής ρύθμισης                | ✓ 4 επίπεδα                                                                          | ✓ 1, κυρίως κατά τη μεταγραφή                                      |
| Μηχανισμοί μετα-μεταφραστικής τροποποίησης | ✓ Διαφορετικοί                                                                       | ✓ Δεν έχει                                                         |
| Σε τι αποσκοπεί η ρύθμιση;                 | ✓ Στην κυτταρική διαφοροποίηση<br>✓ Στην ανάπτυξη και στο συντονισμό των λειτουργιών | ✓ Στην προσαρμογή του μικροοργανισμού σε αλλαγές του περιβάλλοντος |

## 2.57 Θέσεις «υποδοχής» - πρόσδεσης και ο ρόλος τους:

|                                                            |                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| • Υποκινητής                                               | ✓ Πρόσδεση των μεταγραφικών παραγόντων και της RNA πολυμεράσης                                  |
| • Μια θέση πρόσδεσης στο χειριστή                          | ✓ Πρόσδεση του καταστολέα                                                                       |
| • Μια θέση πρόσδεσης στον καταστολέα (οπερόνιο λακτόζης)   | ✓ Πρόσδεση του επαγωγέα (λακτόζη)                                                               |
| • Μια θέση πρόσδεσης στη μικρή υπομονάδα του ριβοσώματος   | ✓ Πρόσδεση της 5' αμετάφραστης περιοχής του mRNA (με τη βοήθεια του rRNA της μικρής υπομονάδας) |
| • Δυο θέσεις εισδοχής στη μεγάλη υπομονάδα του ριβοσώματος | ✓ Πρόσδεση των tRNA που μεταφέρουν αμινοξέα (για το σχηματισμό πεπτιδικού δεσμού)               |
| • Μια θέση πρόσδεσης στο tRNA                              | ✓ Πρόσδεση του αμινοξέος                                                                        |

## 2.58 Διευκρίνιση – επισήμανση: Για ποιο λόγο είναι σημαντικό, το ρυθμιστικό γονίδιο να παράγει «συνεχώς» και «λίγα» μόρια του καταστολέα;

Γιατί «λίγα»; Για άμεση ενεργοποίηση του οπερόνιου και αποφυγή διαφυγόντων «κερδών»!

- Εάν τα μόρια του καταστολέα παράγονταν σε μεγάλο αριθμό, τότε, για να ενεργοποιηθεί το οπερόνιο θα έπρεπε να εισέλθει στο βακτήριο μια εξίσου μεγάλη ποσότητα λακτόζης. Αντίθετα, σε περίπτωση εισόδου μικρής ποσότητας λακτόζης, τα μόριά της δεν θα επαρκούσαν για να απενεργοποιήσουν όλους τους καταστολείς. Οπότε, ενώ το κύτταρο θα είχε μέσα του τροφή, έστω και σε μικρή ποσότητα, δεν θα μπορούσε να την αξιοποιήσει!!!

Γιατί «συνεχώς»; Γιατί αλλιώς θα είχαμε σπατάλη ενέργειας!

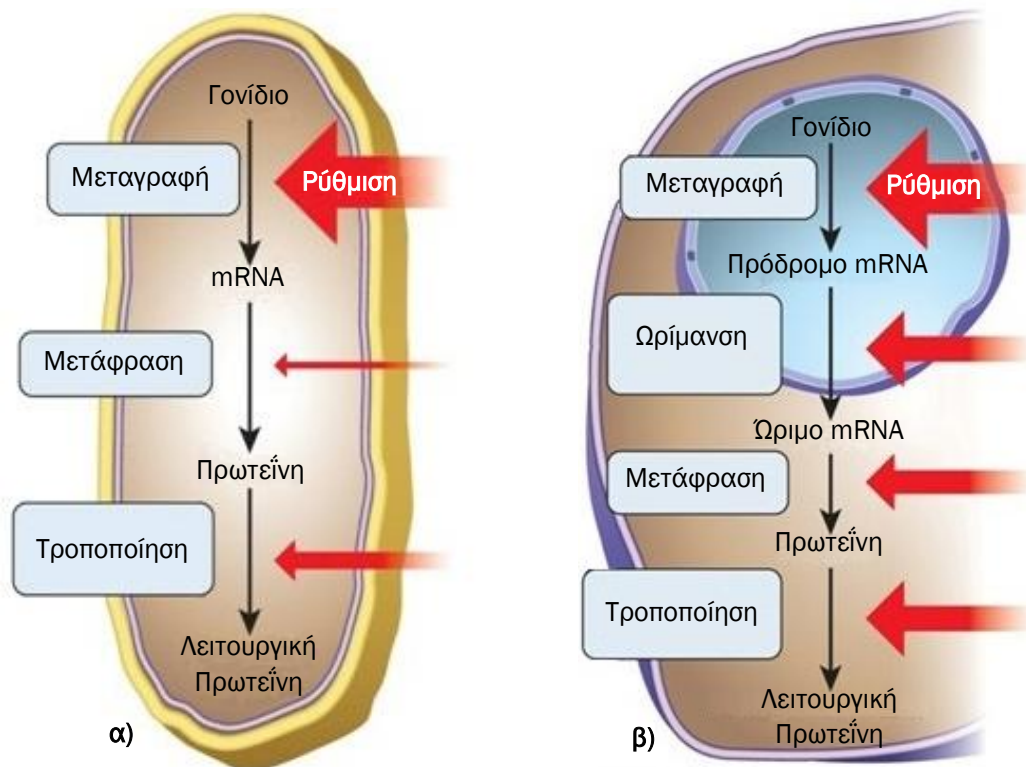
- Εάν τα μόρια του καταστολέα παράγονταν κατά αραιά διαστήματα, π.χ. μόνο δύο φορές την ημέρα, τότε όλα θα κυλούσαν σωστά μέχρι την είσοδο κάποιας ποσότητας λακτόζης, η οποία θα απενεργοποιούσε τους υπάρχοντες καταστολείς και θα ενεργοποιούσε το οπερόνιο. Μετά όμως από την ολοκλήρωση της διάσπασης της λακτόζης, από τα ένζυμα τα οποία κωδικοποιεί το οπερόνιο της, σταματά και η αναγκαιότητα παραγωγής των συγκεκριμένων ενζύμων. Αφού δεν υπάρχει λακτόζη δεν χρειάζεται να παράγουμε άλλα ένζυμα για τη διάσπασή της. Άρα θα έπρεπε το οπερόνιο να απενεργοποιηθεί με τη βοήθεια των καταστολέων. Αυτό όμως θα ήταν αδύνατο να συμβεί γιατί δεν θα υπήρχαν άλλοι διαθέσιμοι καταστολείς και το κύτταρο θα συνέχιζε υποχρεωτικά την παραγωγή ενζύμων μέχρι την επόμενη παραγωγή των καταστολέων, όσο και αν αυτή καθυστερούσε. Με αυτόν δηλαδή τον τρόπο το οπερόνιο χάνει την ευαισθησία του στο να προσαρμόζεται άμεσα στις συνθήκες του περιβάλλοντος (παρουσία ή απουσία λακτόζης) και υποχρεώνει το κύτταρο να δαπανά ενέργεια για τη σύνθεση ενζύμων που δεν χρειάζεται!

## 2.59 Σύγκριση της γονιδιακής ρύθμισης σε ευκαρυωτικούς και προκαρυωτικούς οργανισμούς

| Κριτήριο                         | ΡΥΘΜΙΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ |                                                                          |
|----------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                  | ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥΣ                                | ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥΣ                                                           |
| Πού αποσκοπεί;                   | ✓ Να ελεγχθεί προσεκτικά η ανάπτυξή τους     | ✓ Κυρίως στην προσαρμογή του οργανισμού στις εναλλαγές του περιβάλλοντος |
| Κυτταρική διαφοροποίηση          | ✓ Ναι                                        | ✓ Όχι                                                                    |
| Επίπεδα γονιδιακής ρύθμισης      | ✓ Τέσσερα                                    | ✓ Δύο                                                                    |
| Οργάνωση σε οπερόνια             | ✓ Όχι                                        | ✓ Ναι                                                                    |
| Ποικιλία μεταγραφικών παραγόντων | ✓ Τεράστια ποικιλία                          | ✓ Μικρότερη ποικιλία                                                     |
| Ωρίμανση                         | ✓ Ναι                                        | ✓ Όχι                                                                    |
| Τροποποίηση πρωτεϊνών            | ✓ Ναι                                        | ✓ Όχι                                                                    |

## 2.60 Η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης:

- α) στους **προκαρυωτικούς** οργανισμούς:
- πραγματοποιείται **κυρίως** στο επίπεδο της **μεταγραφής**
  - επιτρέπει έλεγχο του ρυθμού της μετάφρασης
  - *περιλαμβάνει και ορισμένες μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις*
- β) στους **ευκαρυωτικούς** οργανισμούς πραγματοποιείται:
- **συνήθως** στο επίπεδο της **μεταγραφής**
  - επίσης στο επίπεδο μετά τη μεταγραφή, όπου ελέγχεται
    - ✓ η διαδικασία της ωρίμανσης και
    - ✓ η ταχύτητα μεταφοράς του ώριμου mRNA στο κυτταρόπλασμα
  - επιπλέον στο επίπεδο της μετάφρασης, μέσω ρύθμισης
    - ✓ του χρόνου ζωής και αποικοδόμησης των μορίων mRNA
    - ✓ της ικανότητας πρόσδεσης του mRNA στα ριβοσώματα.
  - περιλαμβάνει και ποικίλες μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις, οι οποίες καθιστούν την πρωτεΐνη βιολογικά λειτουργική



**Εικόνα: Γονιδιακή ρύθμιση:**

α) στους προκαρυωτικούς και β) στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς