



Ελληνική Δημοκρατία  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό  
Ίδρυμα Ηπείρου

# Βιοχημεία - Αρχές Βιοτεχνολογίας

Ενότητα 4: Ένζυμα, συνένζυμα, συμπαράγοντες,  
κινητική

Γεώργιος Παπαδόπουλος



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων

## Βιοχημεία - Αρχές Βιοτεχνολογίας

Ενότητα 4: Ένζυμα, συνένζυμα, συμπαράγοντες,  
κινητική

Γεώργιος Παπαδόπουλος

Καθηγητής

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





# Χρηματοδότηση

- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Ηπείρου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

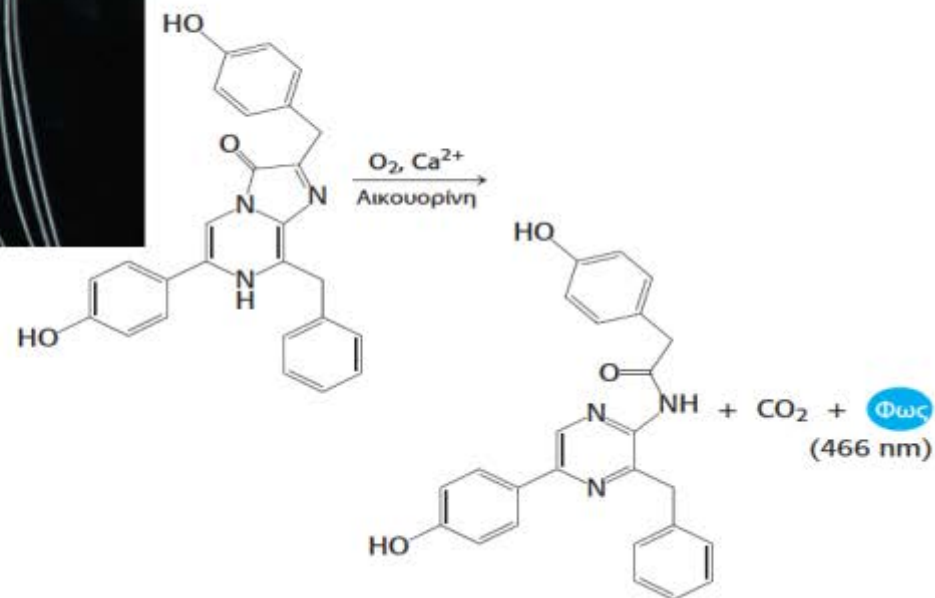


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

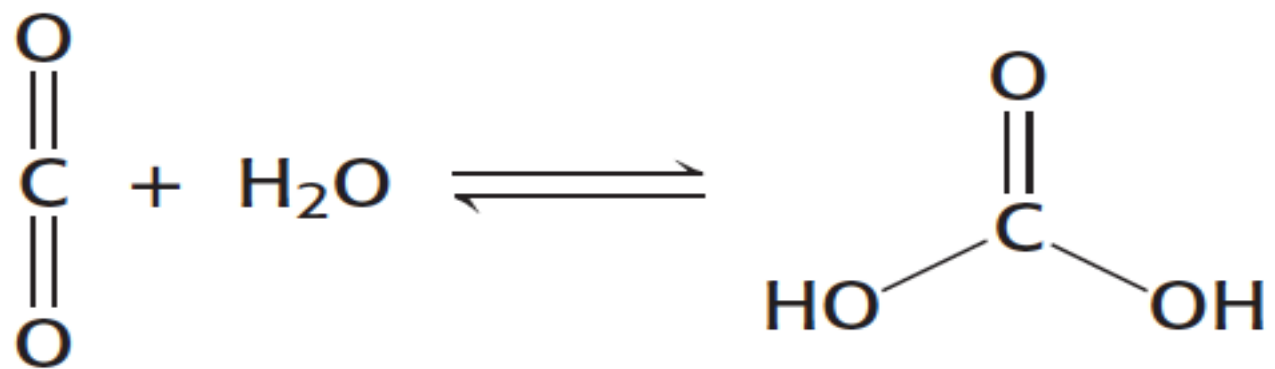
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

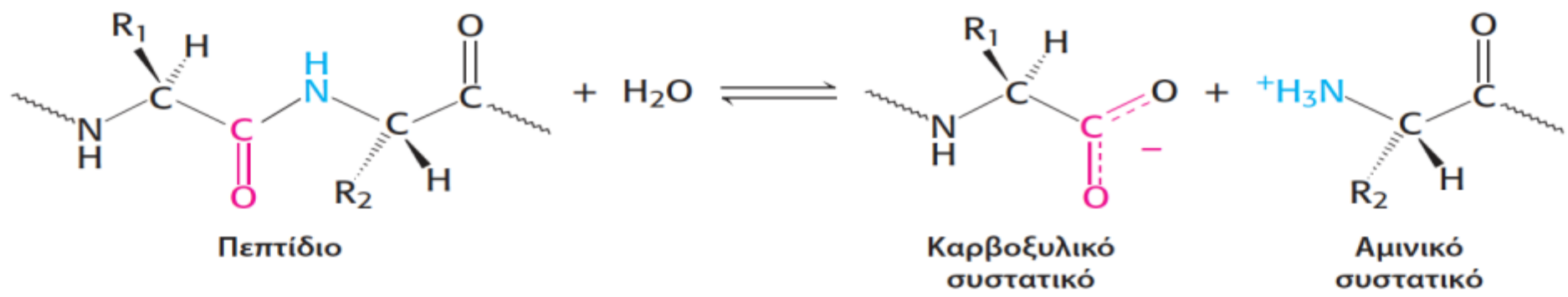


ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



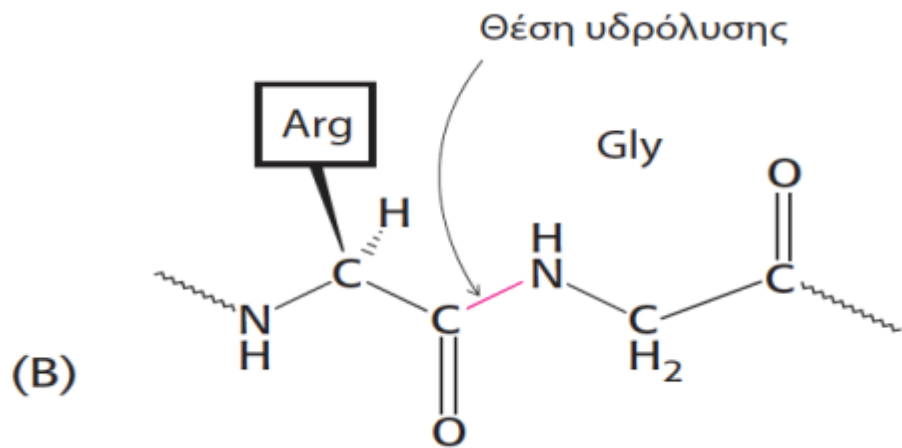
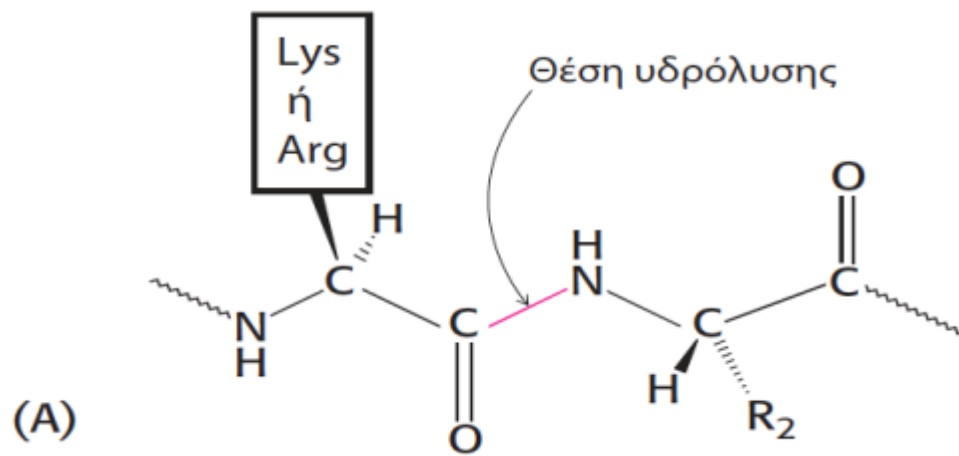
Η δραστηριότητα ενός ενζύμου είναι υπεύθυνη για τη λάμψη της φωταυγούς μέδουσας (επάνω). Το ένζυμο αικουορίνη καταλύει την οξείδωση μιας ένωσης από το οξυγόνο, με την παρουσία ασβεστίου, για να απελευθερώσει  $CO_2$  και φως. [(Επάνω] Lesya Castillo/Featurepics].]



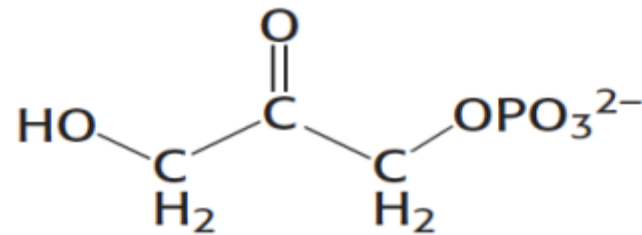




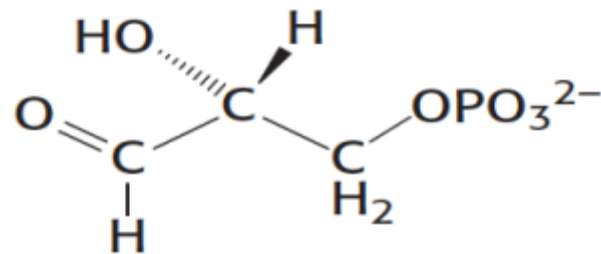




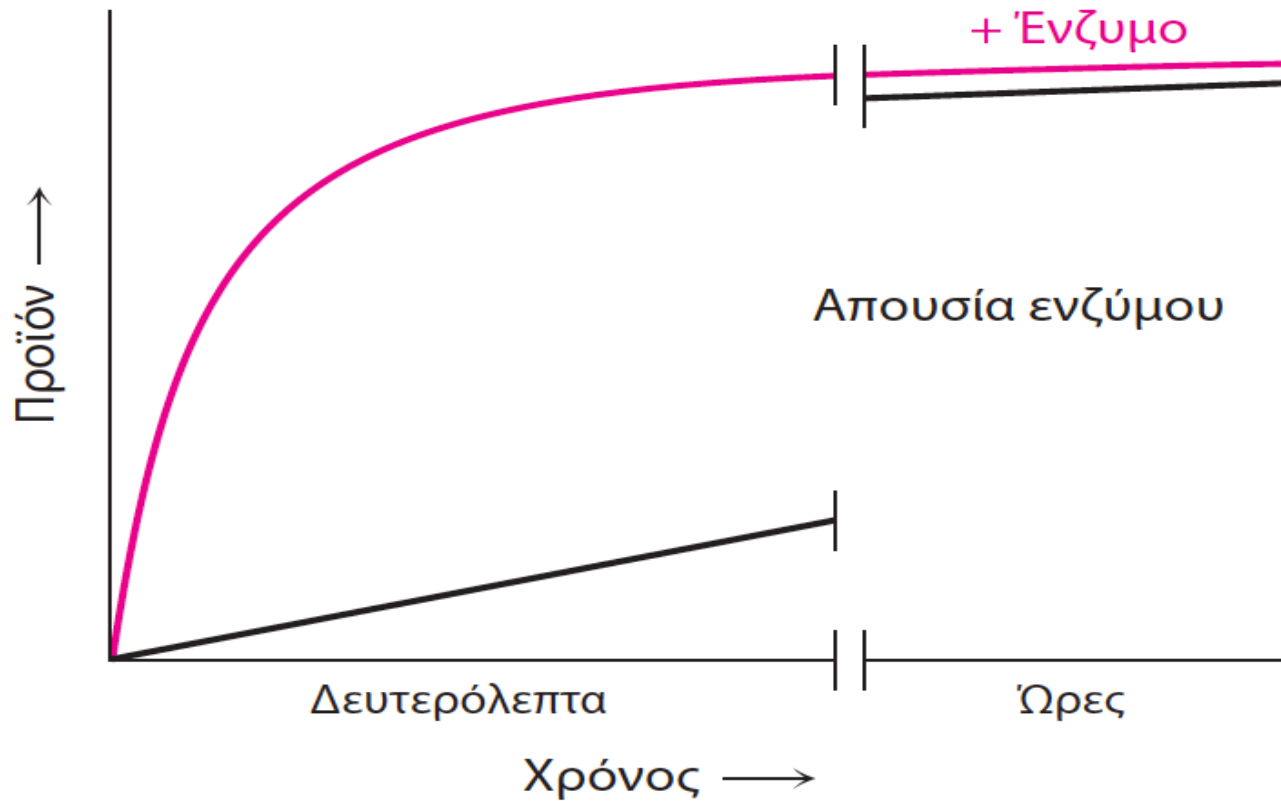
**Εικόνα 8.1 Εξειδίκευση ενζύμου.** (A) Η θρυψίνη διασπά τους δεσμούς στην καρβοξυ-τελική πλευρά των καταλοίπων αργινίνης και λυσίνης, ενώ (B) η θρομβίνη διασπά τους δεσμούς Arg—Gly ειδικά μόνο σε συγκεκριμένες αλληλουχίες.



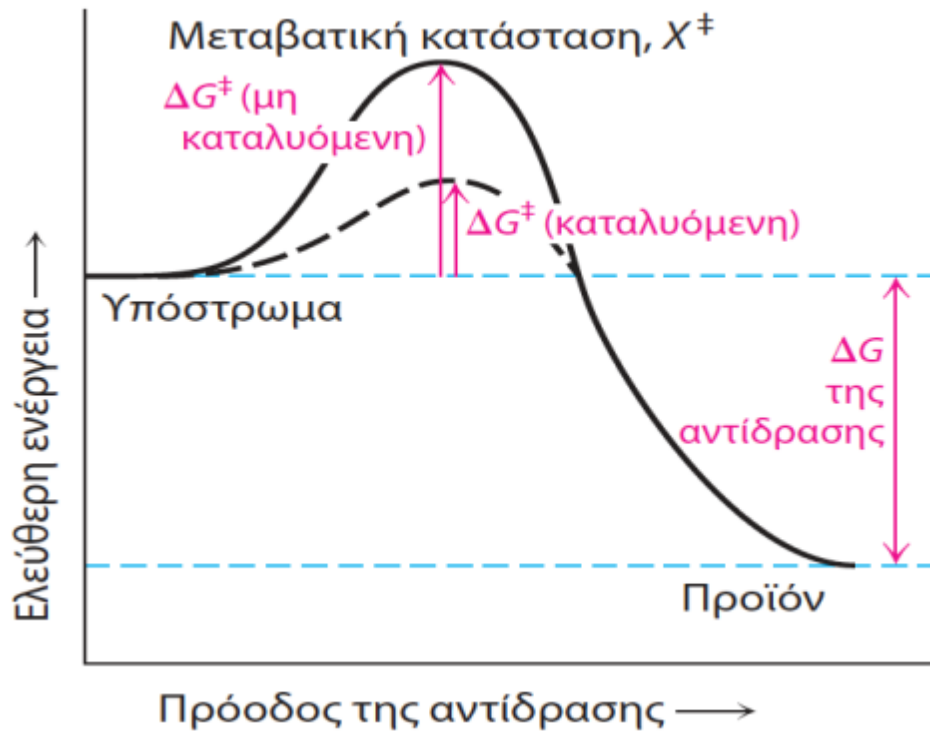
**Φωσφορική  
διυδροξυακετόνη  
(DHAP)**



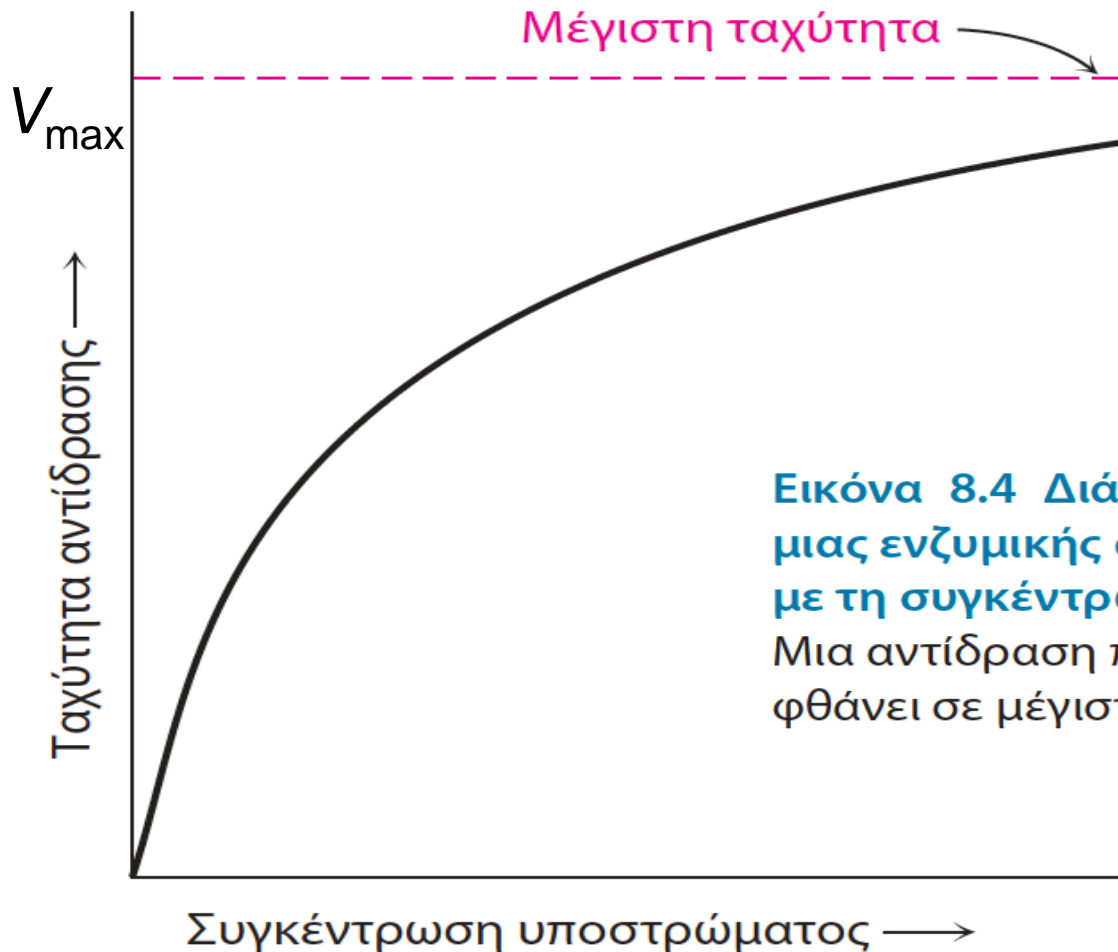
**3-φωσφορική  
γλυκεραλδεΐδη  
(GAP)**



**Εικόνα 8.2 Τα ένζυμα αυξάνουν την ταχύτητα της αντίδρασης.** Επιτυγχάνεται το ίδιο σημείο ισορροπίας αλλά πολύ πιο γρήγορα παρουσία ενός ενζύμου.

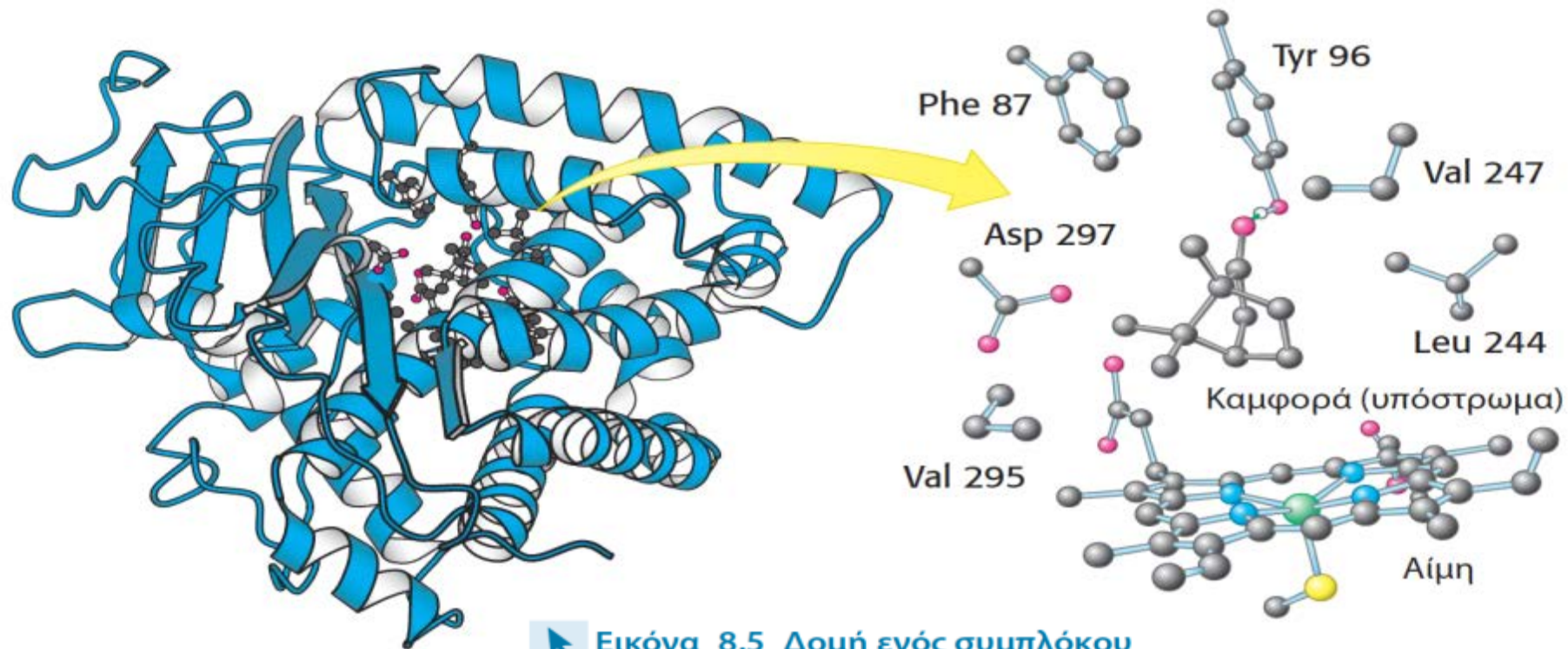


**Εικόνα 8.3 Τα ένζυμα ελαττώνουν την ενέργεια ενεργοποίησης.** Τα ένζυμα επιταχύνουν τις αντιδράσεις με το να ελαττώνουν τη  $\Delta G^{\ddagger}$ , την ελεύθερη ενέργεια ενεργοποίησης.



$$V = V_{max} [S]/([S] + K_M)$$

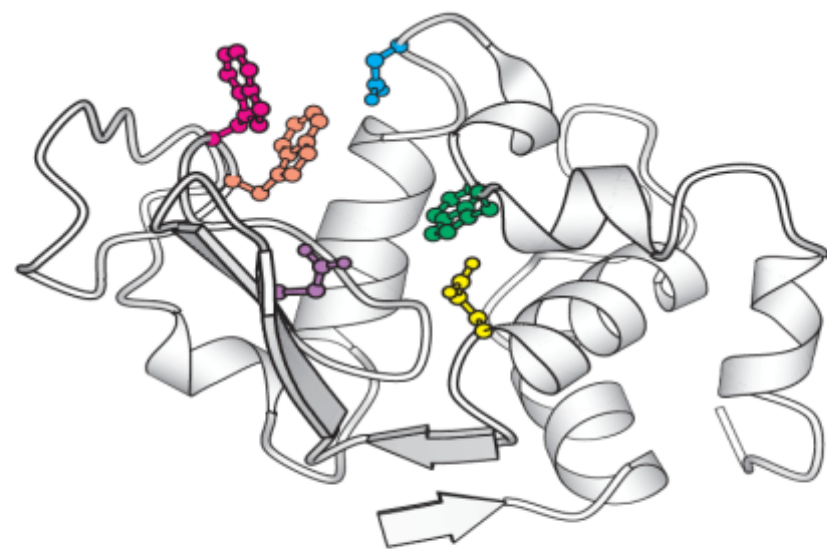
**Εικόνα 8.4** Διάγραμμα της ταχύτητας μιας ενζυμικής αντίδρασης σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του υποστρώματος. Μια αντίδραση που καταλύεται από ένζυμο φθάνει σε μέγιστη ταχύτητα.




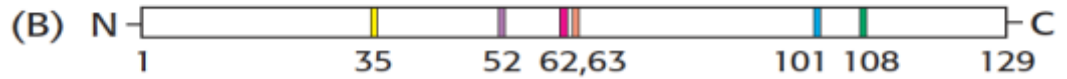
**Εικόνα 8.5** Δομή ενός συμπλόκου ενζύμου-υπόστρώματος. (Αριστερά) Το ένζυμο κυτόχρωμα P450 απεικονίζεται προσδεμένο στο υπόστρωμά του (καμφορά). (Δεξιά) Παρατηρήστε ότι στο ενεργό κέντρο, το υπόστρωμα περιβάλλεται από κατάλοιπα του ενζύμου. Επισημαίνεται η παρουσία ενός συμπαραγοντα αίμης. [Σχεδιασμένο από 2CPP.pdb.]

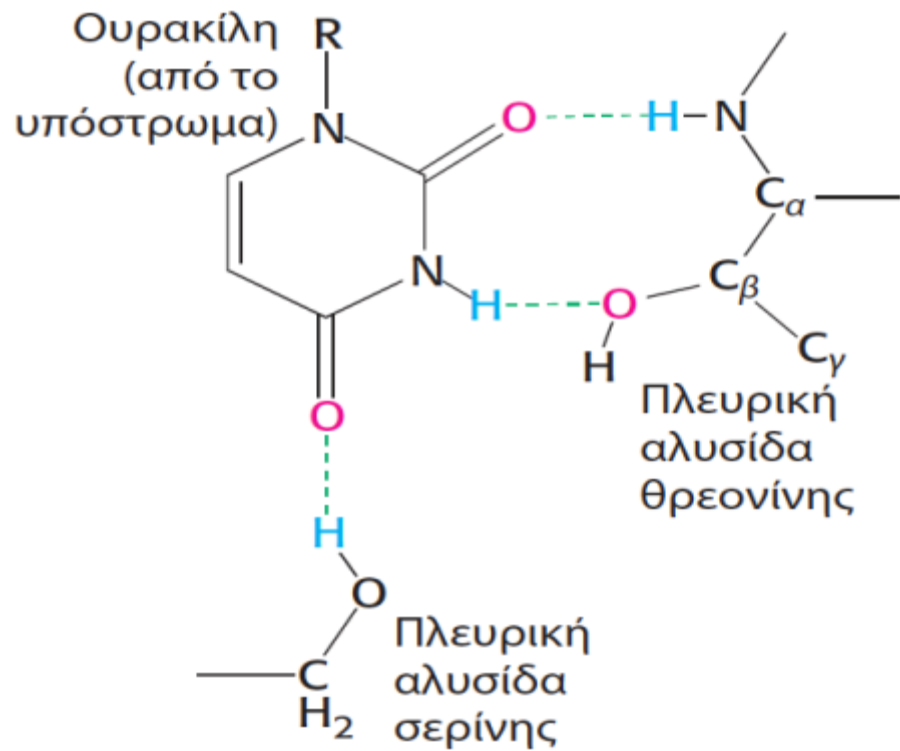


(A)



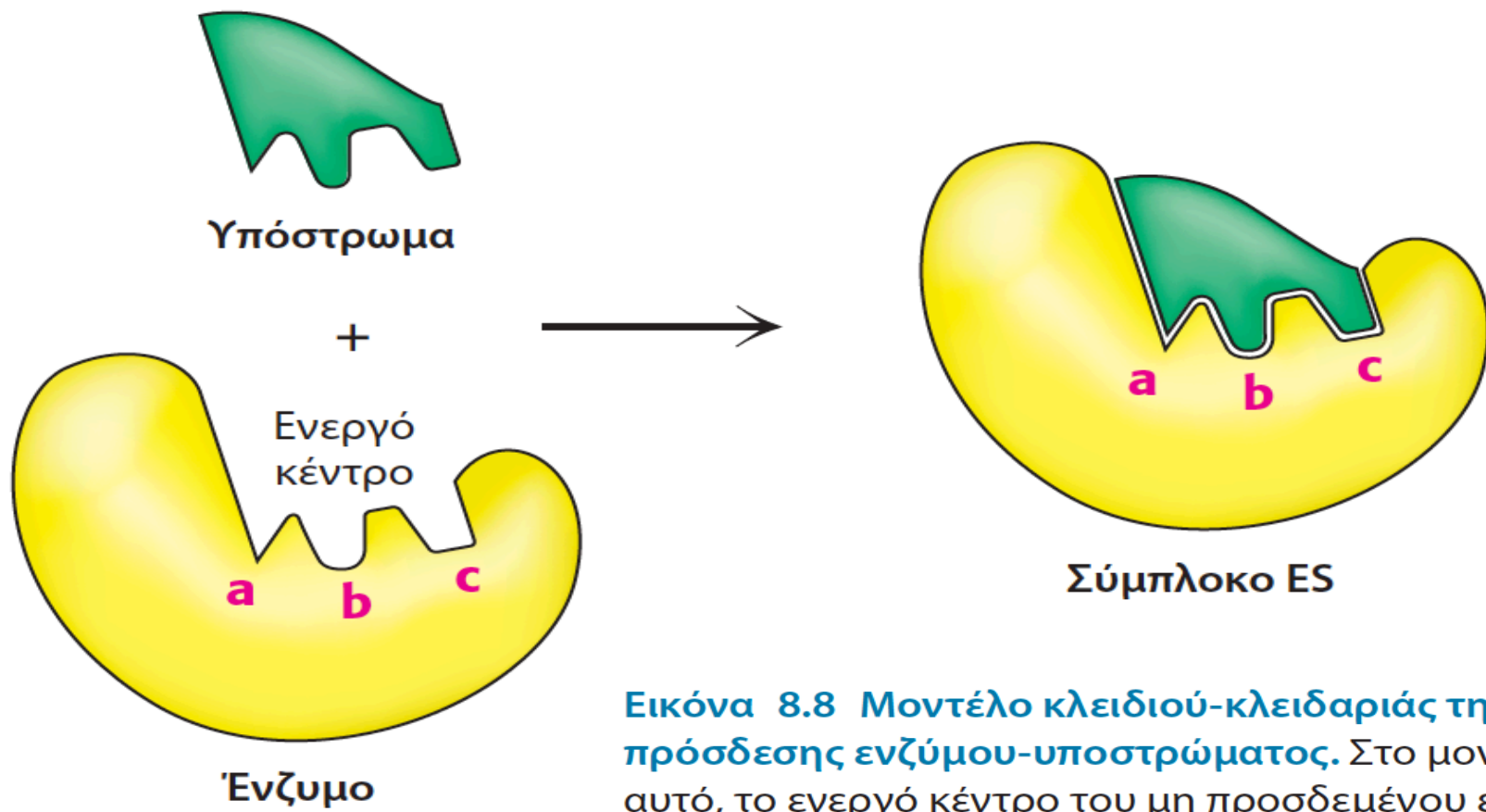

**Εικόνα 8.6 Τα ενεργά κέντρα μπορεί να περιλαμβάνουν απομακρυσμένα κατάλοιπα.** (A) Σχεδιάγραμμα κορδέλας του ενζύμου λυσοζύμη, στο οποίο αρκετά συστατικά του ενεργού κέντρου φαίνονται έγχρωμα. (B) Μια σχηματική αναπαράσταση της πρωτοταγούς δομής της λυσοζύμης δείχνει ότι το ενεργό κέντρο απαρτίζεται από κατάλοιπα που προέρχονται από διαφορετικά μέρη της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. [Σχεδιασμένο από 6LYZ.pdb.]



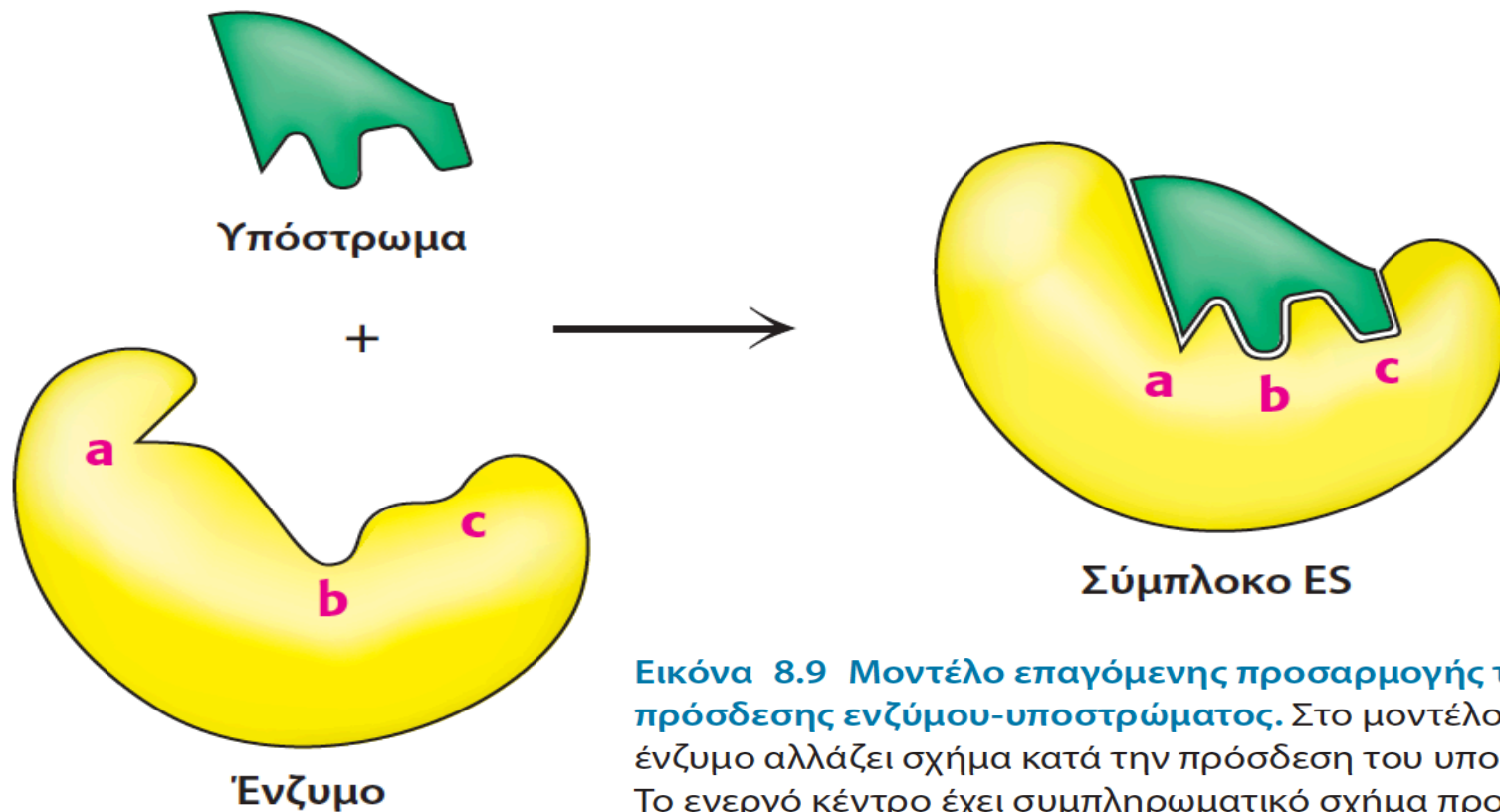


**Εικόνα 8.7 Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ ενζύμου και υποστρώματος.** Το ένζυμο ριβονουκλεάση σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με τη συνιστώσα ουριδίνης του υποστρώματος. [Κατά F.M. Richards, H.W. Wyckoff, and N. Allewell. Στο *The Neurosciences: Second Study Program*, F.O. Schmidt, ed. (Rockefeller University Press, 1970) p. 970.]





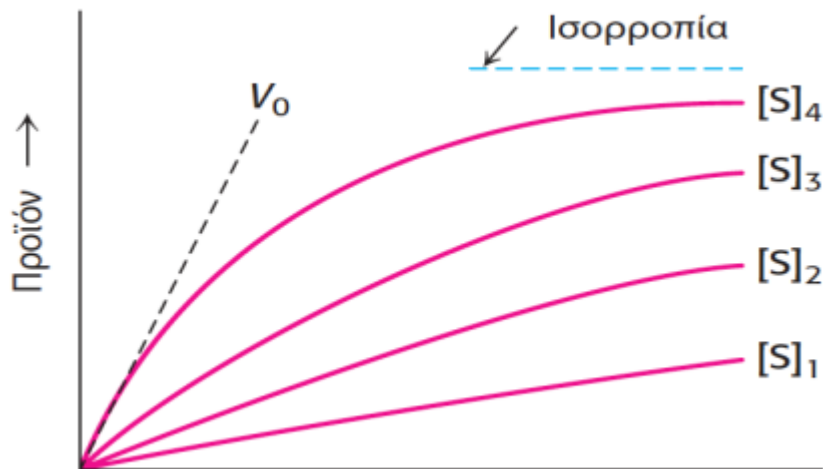
**Εικόνα 8.8 Μοντέλο κλειδιού-κλειδαριάς της πρόσδεσης ενζύμου-υποστρώματος.** Στο μοντέλο αυτό, το ενεργό κέντρο του μη προσδεμένου ενζύμου έχει συμπληρωματικό σχήμα προς εκείνο του υποστρώματος.



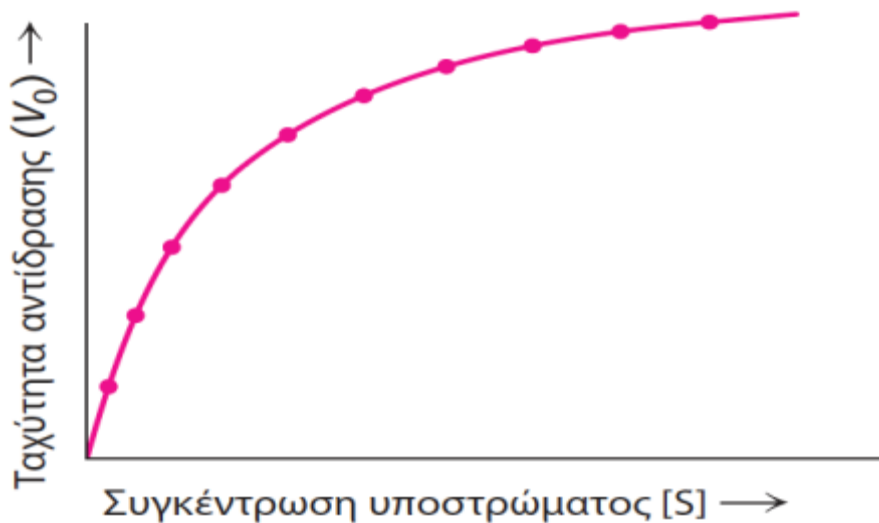
**Εικόνα 8.9 Μοντέλο επαγόμενης προσαρμογής της πρόσδεσης ενζύμου-υποστρώματος.** Στο μοντέλο αυτό, το ένζυμο αλλάζει σχήμα κατά την πρόσδεση του υποστρώματος. Το ενεργό κέντρο έχει συμπληρωματικό σχήμα προς εκείνο του υποστρώματος μόνο μετά την πρόσδεση του υποστρώματος.



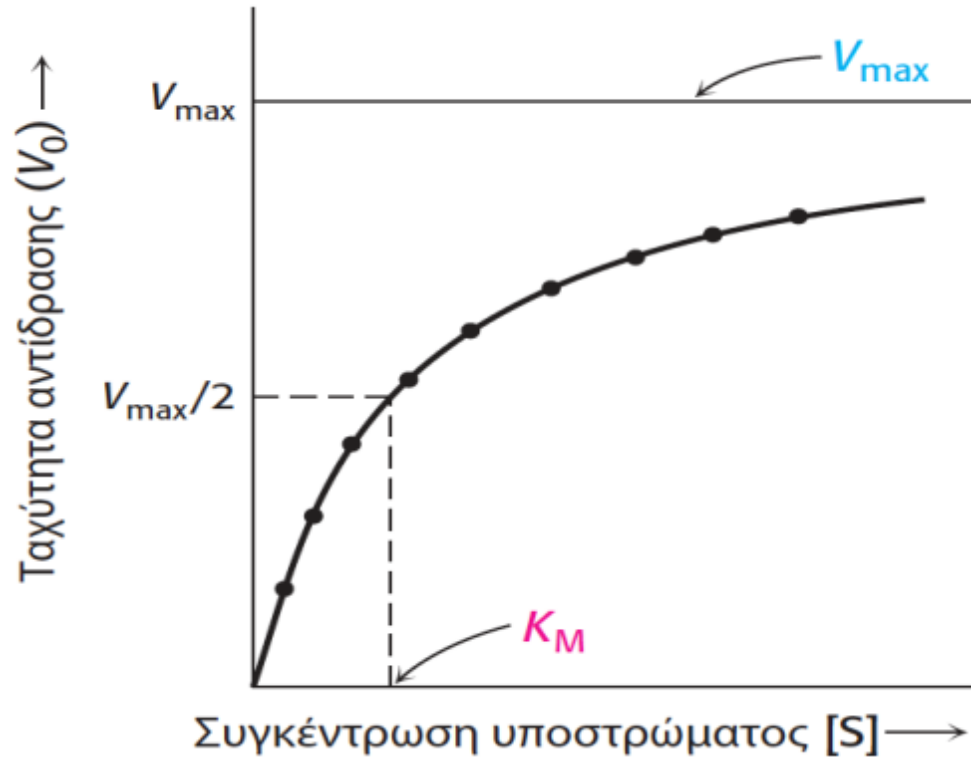
(A)



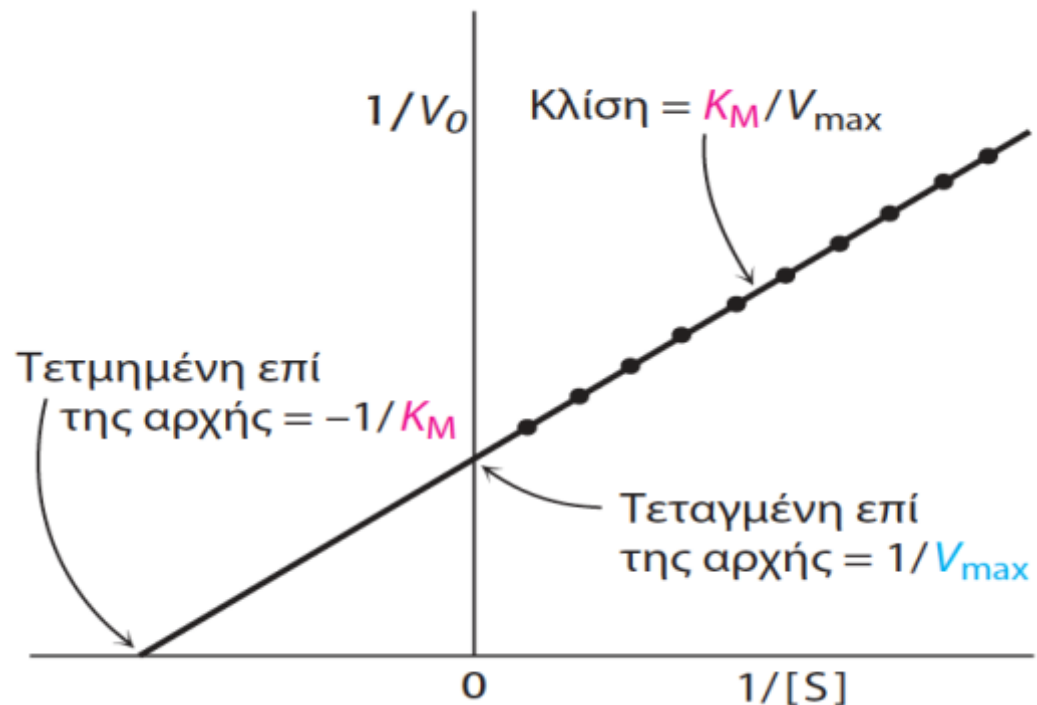
(B)



**Εικόνα 8.10 Προσδιορισμός της σχέσης μεταξύ της αρχικής ταχύτητας και της συγκέντρωσης του υποστρώματος.** (A) Η ποσότητα του προϊόντος που σχηματίζεται σε διαφορετικές συγκεντρώσεις υποστρώματος παριστάνεται γραφικά ως συνάρτηση του χρόνου. Η αρχική ταχύτητα ( $V_0$ ) για κάθε συγκέντρωση υποστρώματος προσδιορίζεται από την κλίση της καμπύλης στην αρχή της αντίδρασης, όταν η αντίστροφη αντίδραση είναι ασήμαντη. (B) Οι τιμές της αρχικής ταχύτητας που προσδιορίστηκαν στο διάγραμμα A παριστάνονται γραφικά ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος.

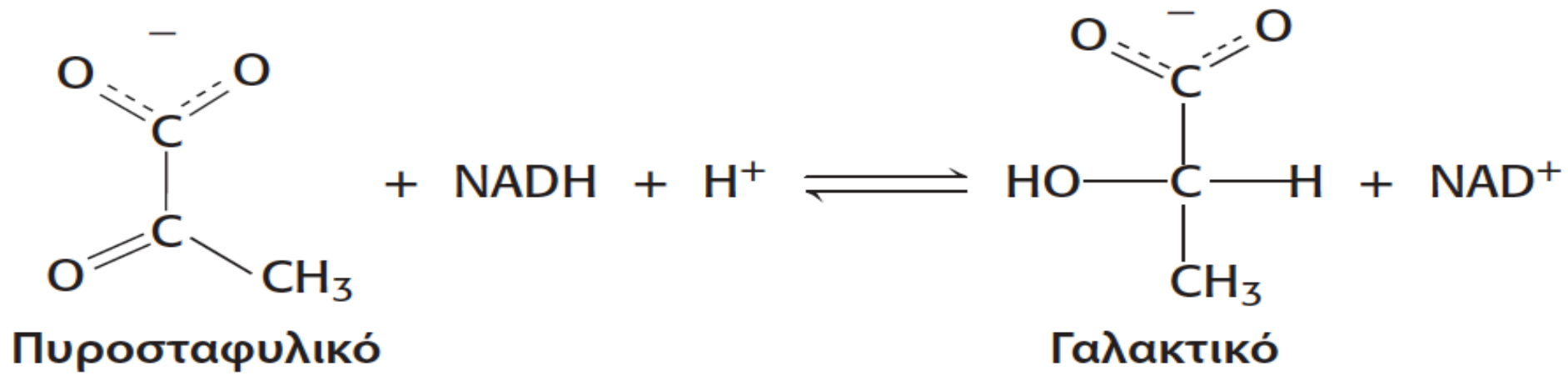


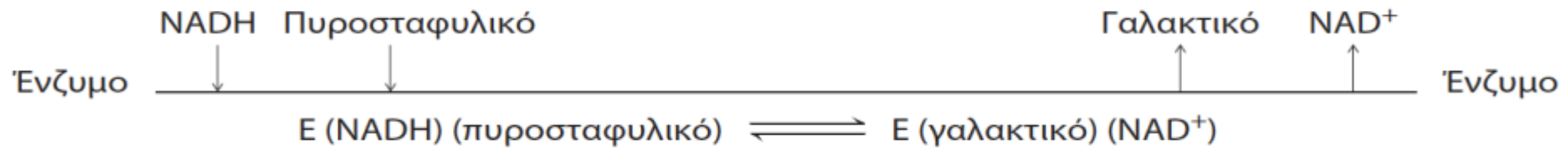
**Εικόνα 8.11 Κινητική Michaelis-Menten.** Διάγραμμα ταχύτητας ( $V_0$ ) μιας ενζυμικής αντίδρασης ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος  $[S]$ , για ένα ένζυμο που υπακούει στην κινητική Michaelis-Menten· δείχνει ότι η μέγιστη ταχύτητα ( $V_{max}$ ) προσεγγίζεται ασυμπτωτικά. Η σταθερά Michaelis ( $K_M$ ) είναι η συγκέντρωση υποστρώματος που παράγει μια ταχύτητα ίση με  $V_{max}/2$ .

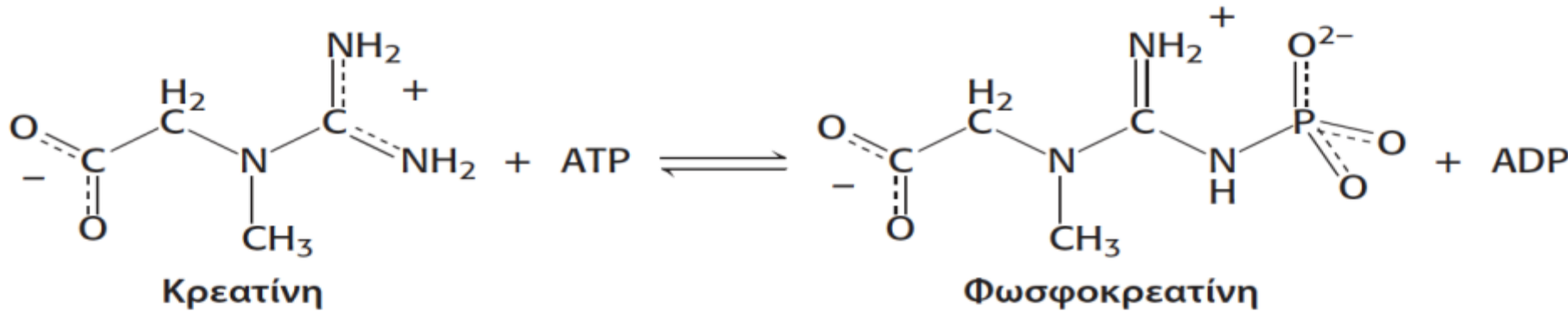


### Εικόνα 8.12 Διάγραμμα διπλού αντιστρόφου ή διάγραμμα Lineweaver-Burk.

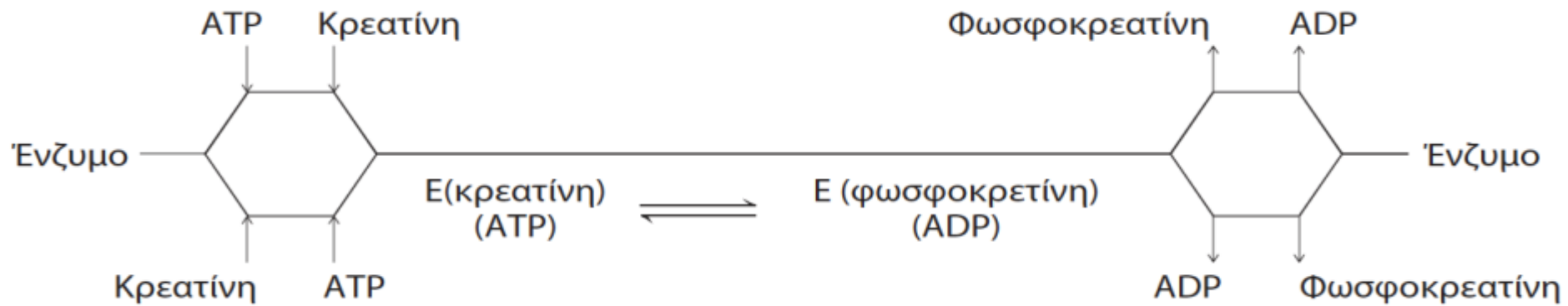
Το διάγραμμα διπλού αντιστρόφου της ενζυμικής κινητικής παράγεται παριστάνοντας γραφικά το  $1/V_0$  ως συνάρτηση του  $1/[S]$ . Η κλίση είναι  $K_M/V_{\max}$ , η τεταγμένη επί της αρχής είναι  $1/V_{\max}$  και η τετμημένη επί της αρχής είναι  $-1/K_M$ .

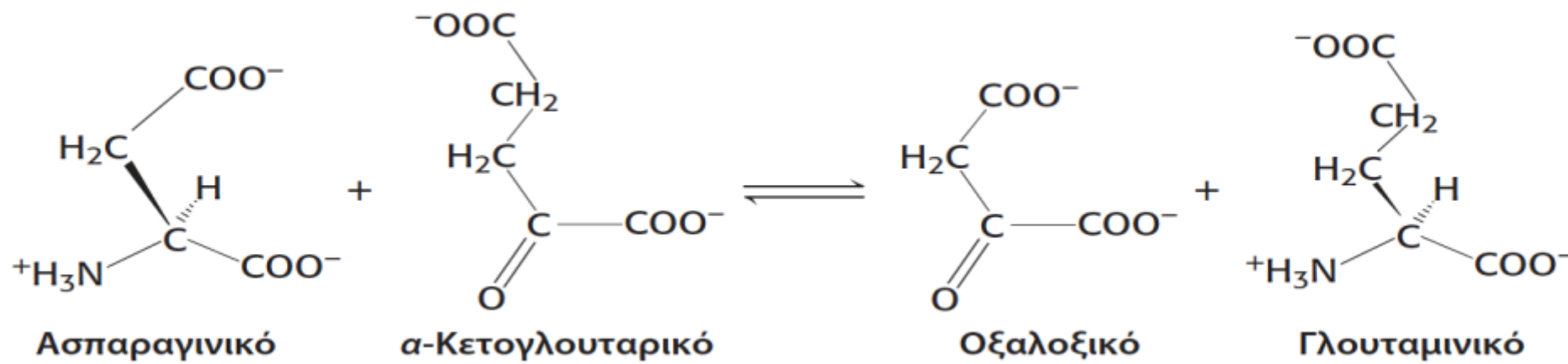


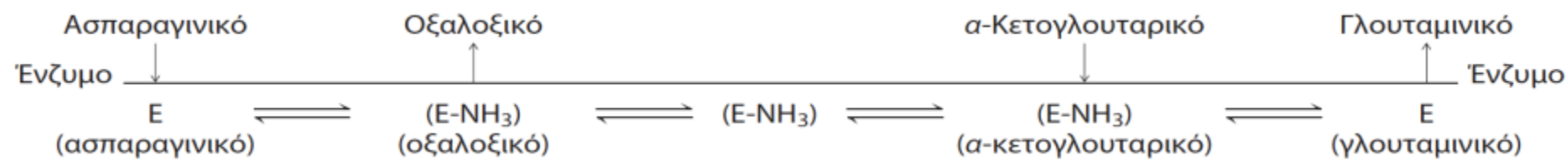






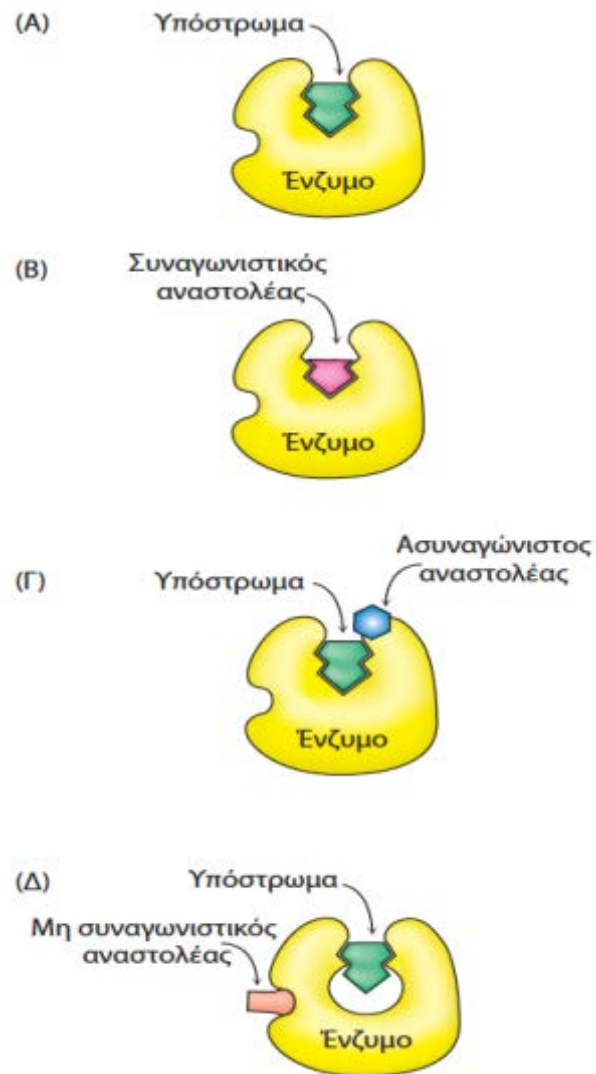




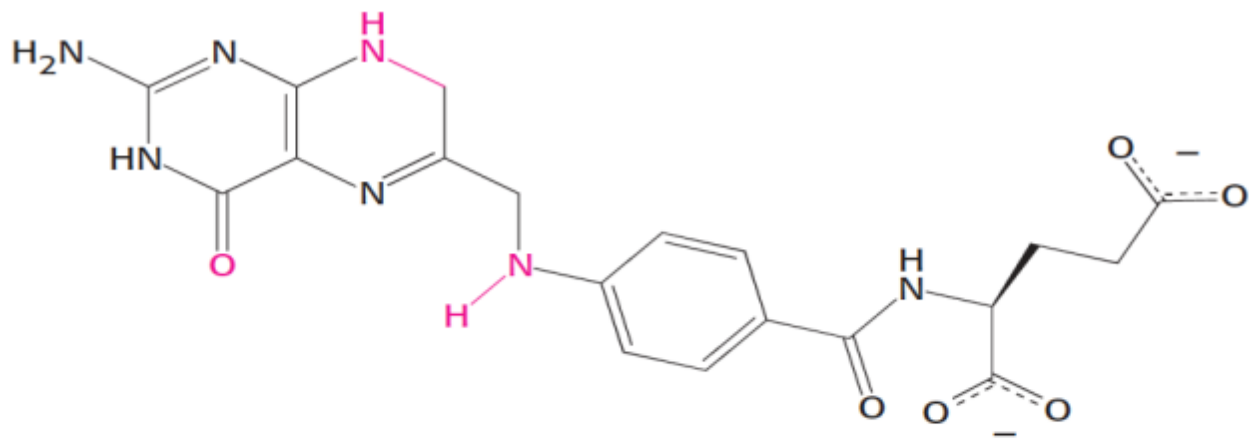




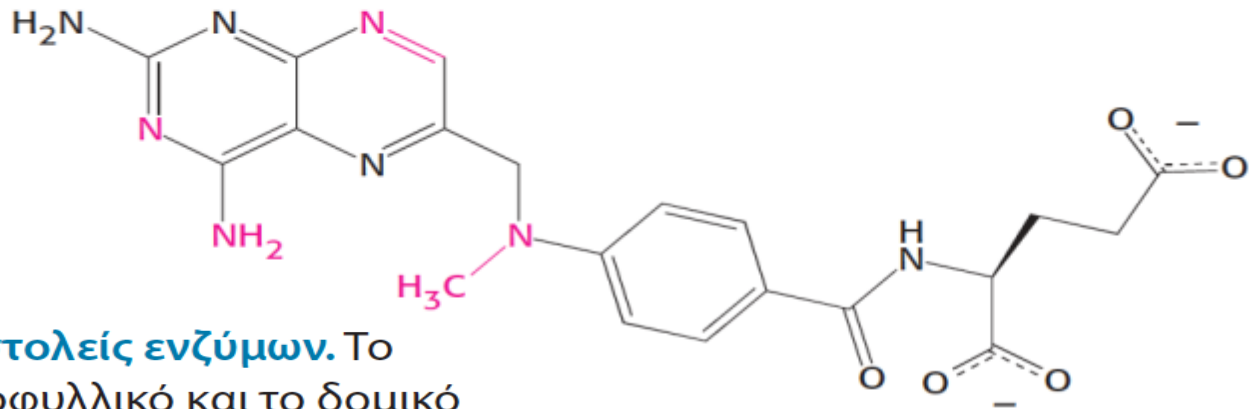
**Εικόνα 8.13 Κινητική ενός αλλοστερικού ενζύμου.** Τα αλλοστερικά ένζυμα εμφανίζουν σιγμοειδή εξάρτηση της ταχύτητας της αντίδρασης από τη συγκέντρωση του υποστρώματος.



**Εικόνα 8.14 Διάκριση μεταξύ αντιστρεπτών αναστολέων.** (Α) σύμπλοκο ενζύμου-υποστρώματος· (Β) ένας συναγωνιστικός αναστολέας προσδέεται στο ενεργό κέντρο και έτσι εμποδίζει την πρόσδεση του υποστρώματος· (Γ) ένας ασυναγωνιστικός αναστολέας προσδέεται μόνο στο σύμπλοκο ενζύμου-υποστρώματος· (Δ) ένας μη συναγωνιστικός αναστολέας δεν εμποδίζει την πρόσδεση του υποστρώματος.

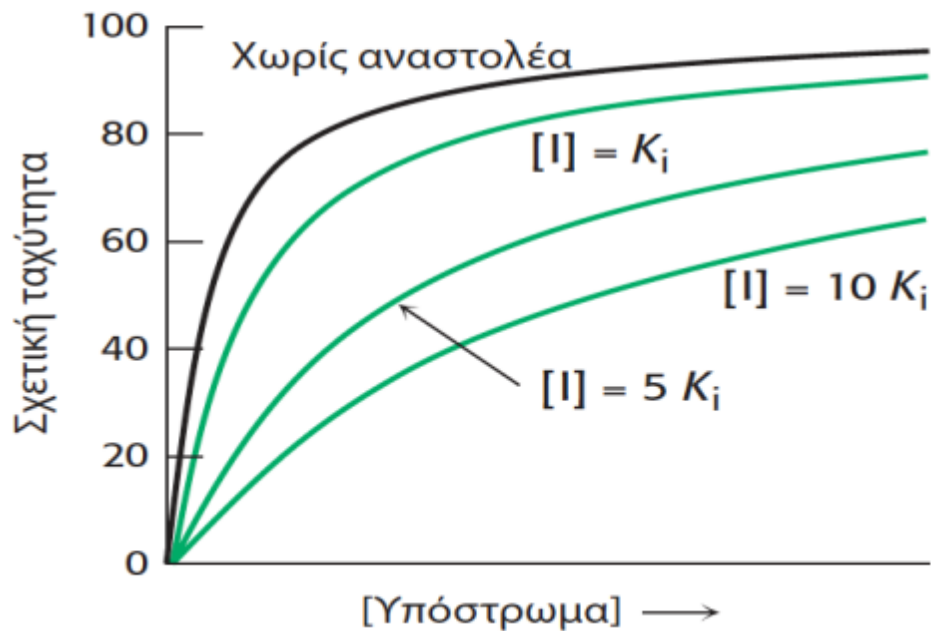
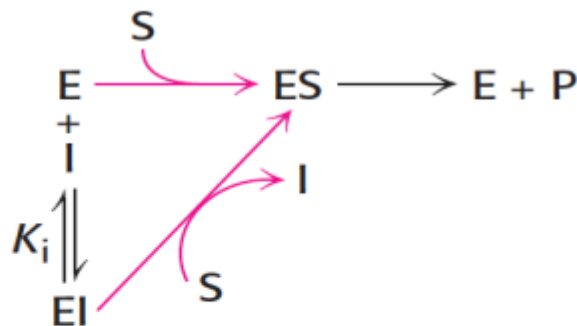


Διυδροφυλλικό

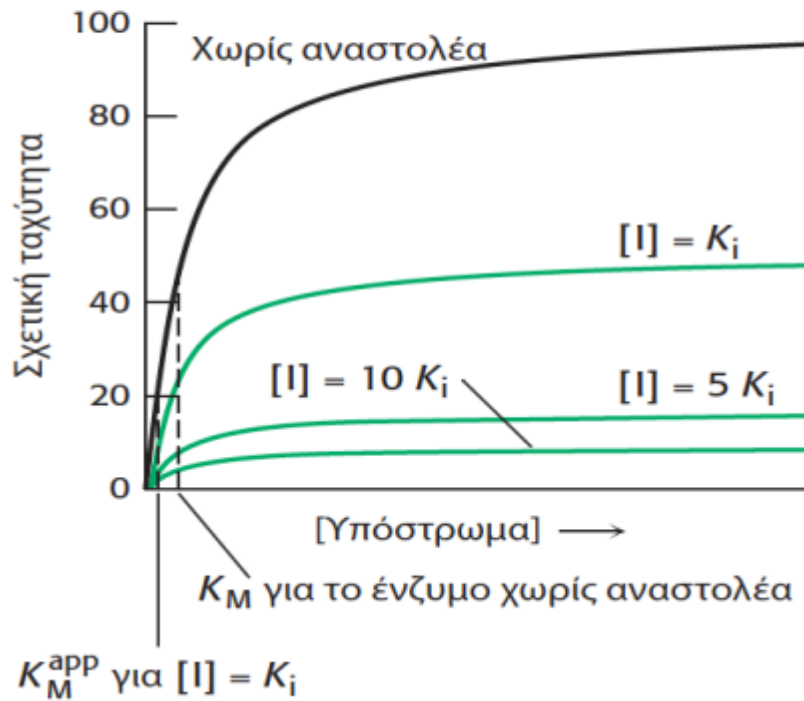
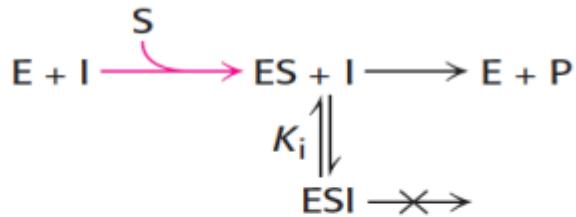


Μεθοτρεξάτη

**Εικόνα 8.15 Αναστολείς ενζύμων.** Το υπόστρωμα διυδροφυλλικό και το δομικό του ανάλογο μεθοτρεξάτη. Περιοχές με δομικές διαφορές δείχνονται με κόκκινο.

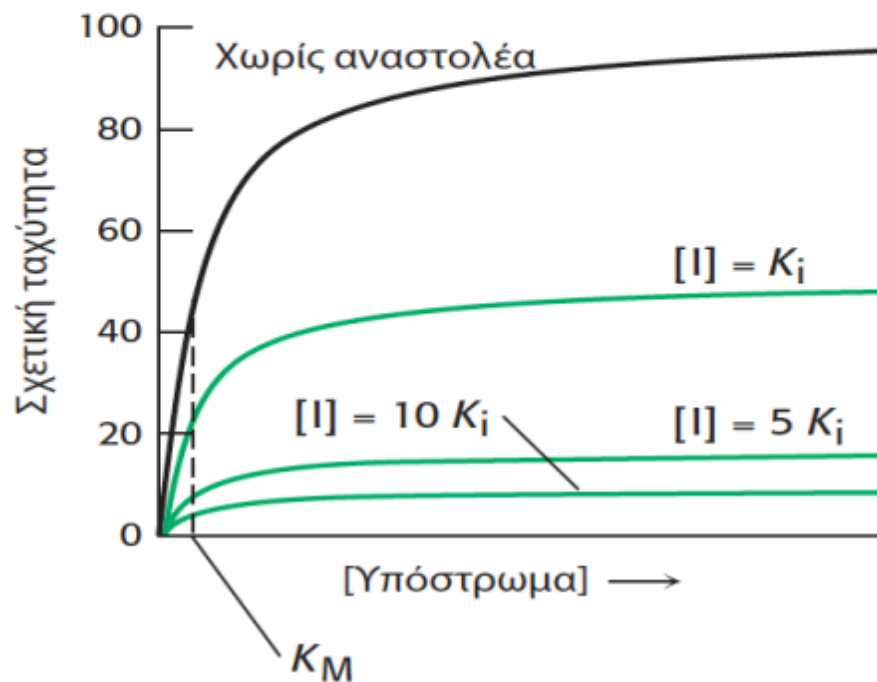
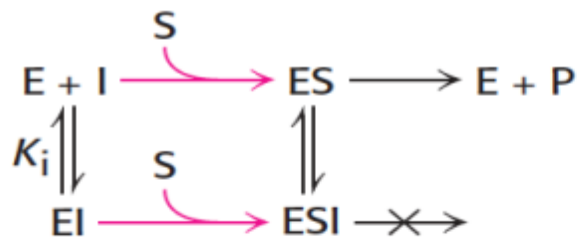


**Εικόνα 8.16 Κινητική ενός συναγωνιστικού αναστολέα.** Καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση ενός συναγωνιστικού αναστολέα, απαιτούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις υποστρώματος για να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη ενζυμική ταχύτητα. Η πορεία της αντίδρασης υποδηλώνει πόσο υψηλή συγκέντρωση υποστρώματος απαιτείται για να υπερνικηθεί η συναγωνιστική αναστολή.

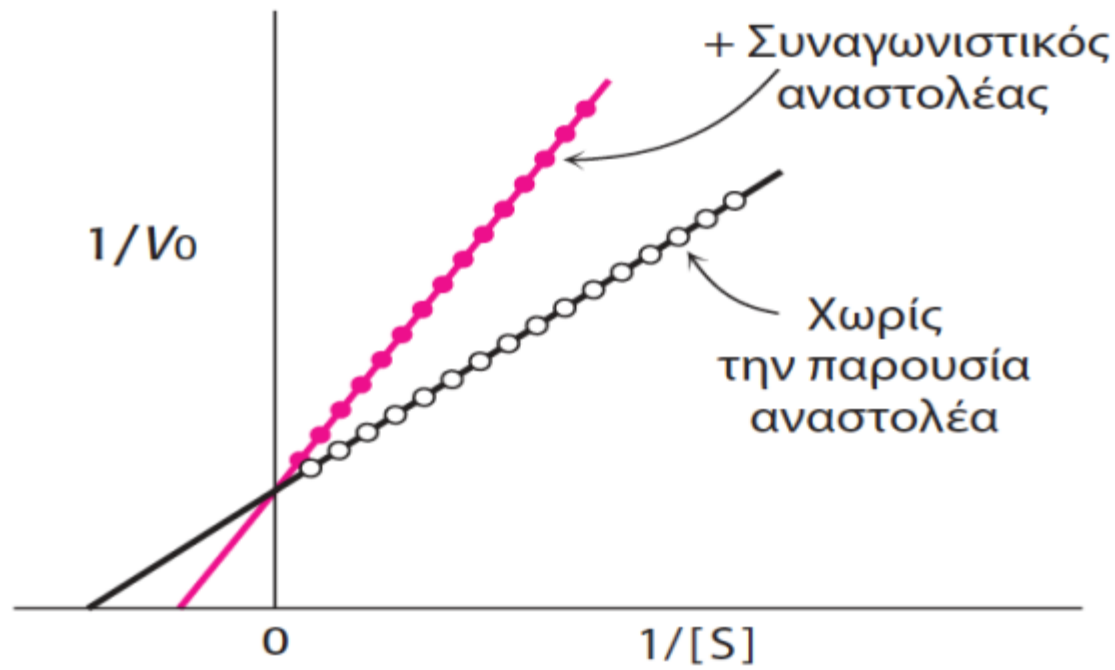


**Εικόνα 8.17 Κινητική ενός ασυναγώνιστου αναστολέα.** Η πορεία της αντίδρασης δείχνει ότι ο αναστολέας προσδένεται μόνο στο σύμπλοκο ενζύμου-υποστρώματος. Συνεπώς, η ταχύτητα δεν μπορεί να φθάσει τη μέγιστη τιμή  $V_{max}$ , ακόμη και σε υψηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος. Η φαινομενική τιμή της  $K_M$  μικραίνει και γίνεται ακόμη μικρότερη καθώς προστίθεται περισσότερος αναστολέας.

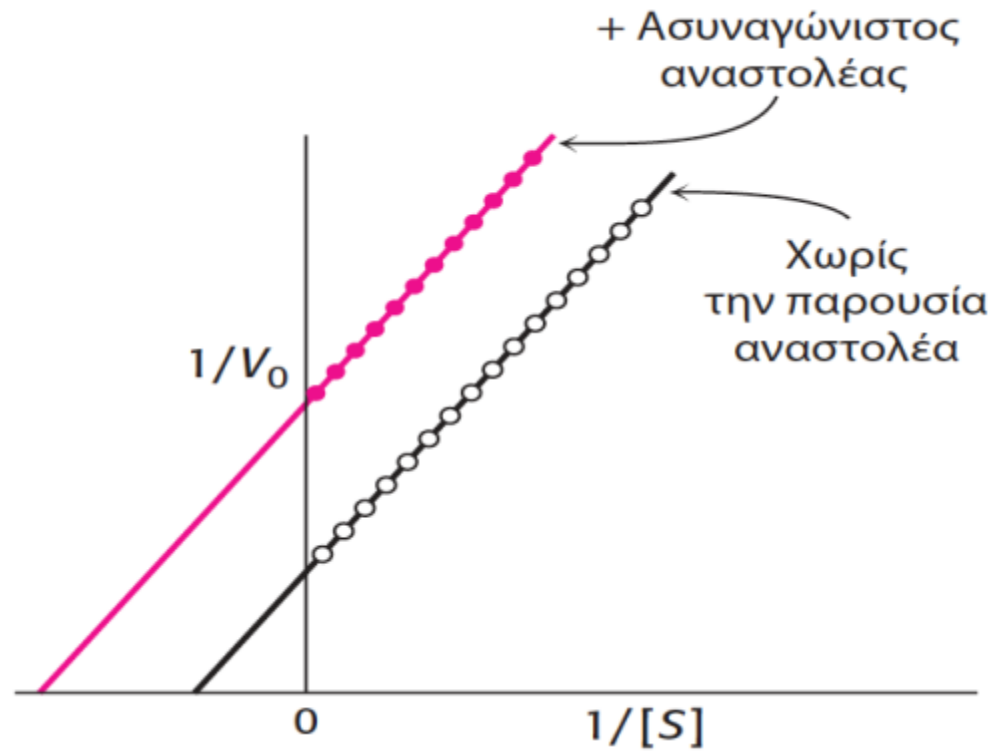




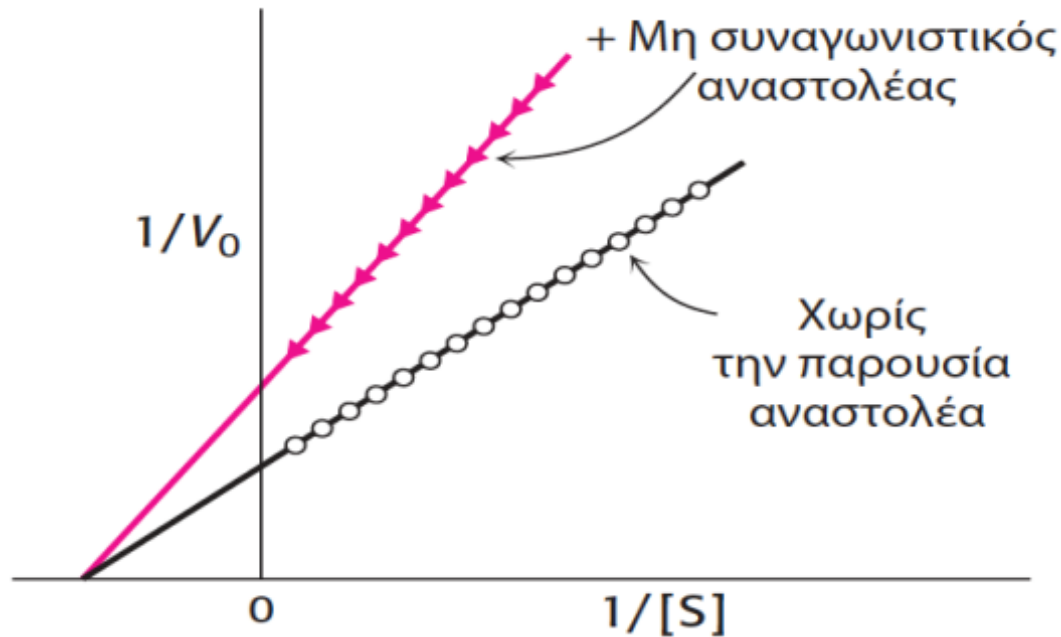
**Εικόνα 8.18 Κινητική ενός μη συναγωνιστικού αναστολέα.** Η πορεία της αντίδρασης δείχνει ότι ο αναστολέας προσδένεται και στο ελεύθερο ένζυμο και στο σύμπλοκο ενζύμου-υποστρώματος. Συνεπώς, όπως και στην ασυναγώνιστη αναστολή, η ταχύτητα δεν μπορεί να φθάσει τη μέγιστη τιμή  $V_{\max}$ . Η  $K_M$  παραμένει αμετάβλητη, και έτσι η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται πιο αργά σε χαμηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος απ' ό,τι συμβαίνει στην περίπτωση της ασυναγώνιστης αναστολής.



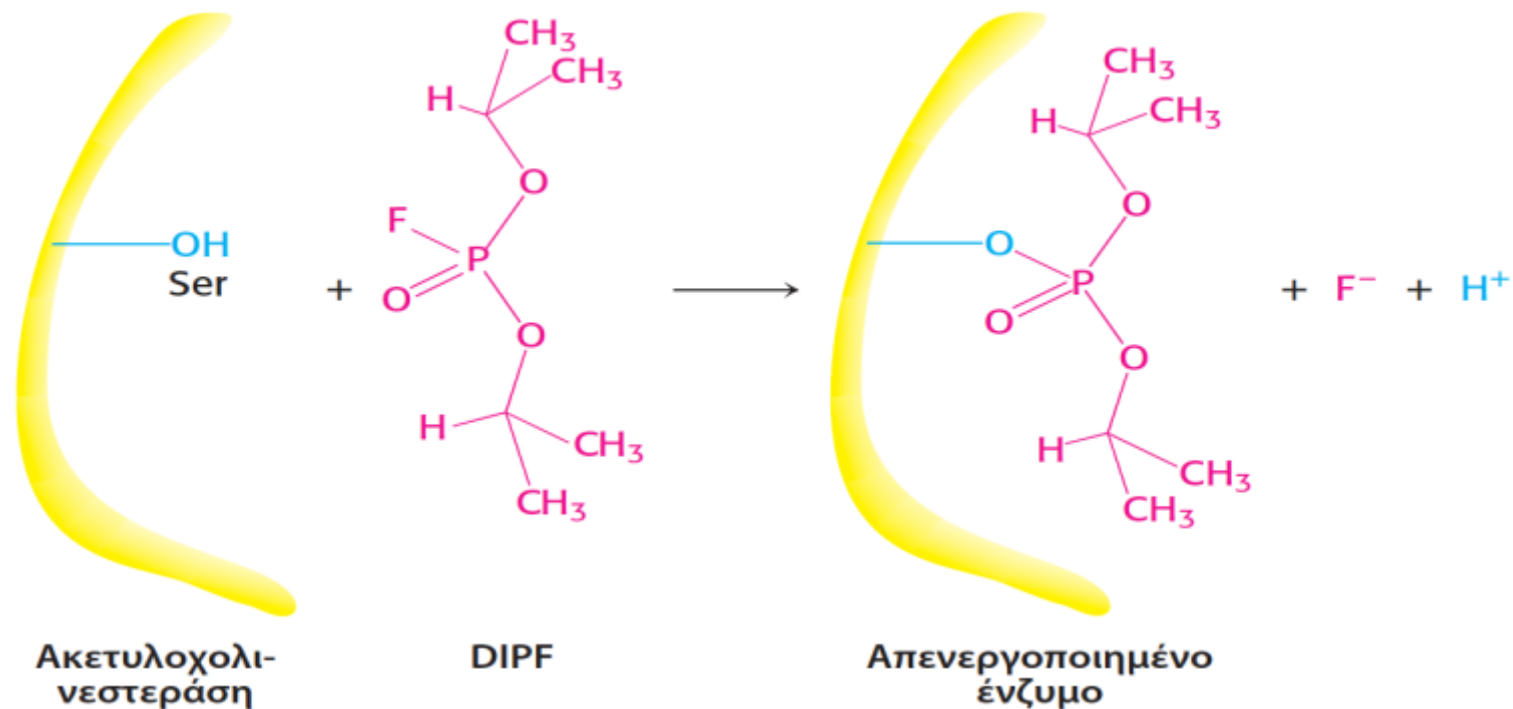
**Εικόνα 8.19 Συναγωνιστική αναστολή που απεικονίζεται σε ένα διάγραμμα διπλού αντιστρόφου.** Το διάγραμμα διπλού αντιστρόφου μιας ενζυμικής κινητικής παρουσία ή απουσία ενός συναγωνιστικού αναστολέα δείχνει ότι ο αναστολέας δεν επιδρά στη  $V_{\max}$  αλλά αυξάνει την  $K_M$



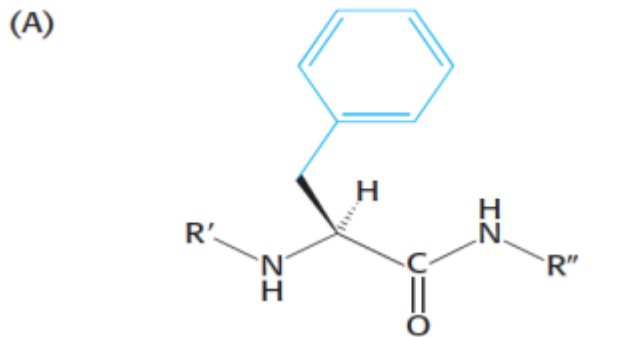
**Εικόνα 8.20 Ασυναγώνιστη αναστολή** όπως απεικονίζεται σε ένα διάγραμμα διπλού αντιστρόφου. Ένας ασυναγώνιστος αναστολέας δεν επηρεάζει την κλίση του διαγράμματος του διπλού αντιστρόφου. Η  $V_{\max}$  και η  $K_M$  ελαττώνονται ισοδύναμα.



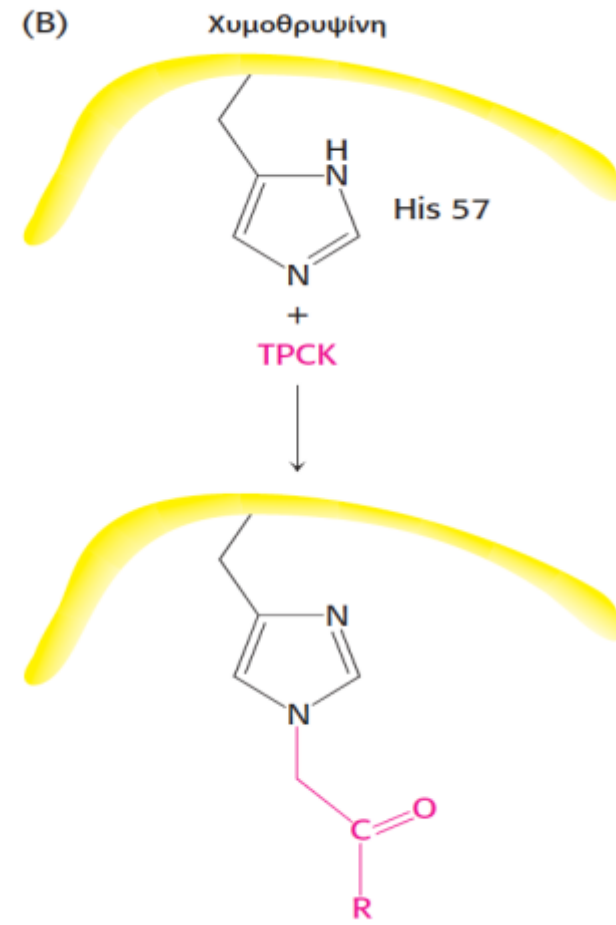
**Εικόνα 8.21 Μη συναγωνιστική αναστολή όπως απεικονίζεται σε ένα διάγραμμα διπλού αντιστρόφου.** Το διάγραμμα διπλού αντιστρόφου μιας ενζυμικής κινητικής παρουσία και απουσία ενός μη συναγωνιστικού αναστολέα δείχνει ότι η  $K_M$  δεν μεταβάλλεται και ότι η  $V_{max}$  ελαττώνεται.



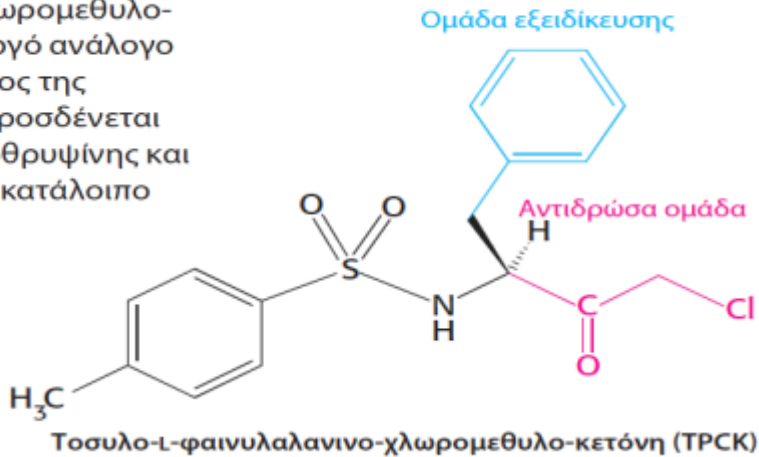
**Εικόνα 8.22** Ενζυμική αναστολή από διισοπροπυλοφωσφοθορίδιο (DIPF), ένα αντιδραστήριο με εξειδίκευση ομάδας. Το DIPF μπορεί να αναστείλει ένα ένζυμο με ομοιοπολική τροποποίηση ενός σημαντικού καταλοίπου σερίνης.

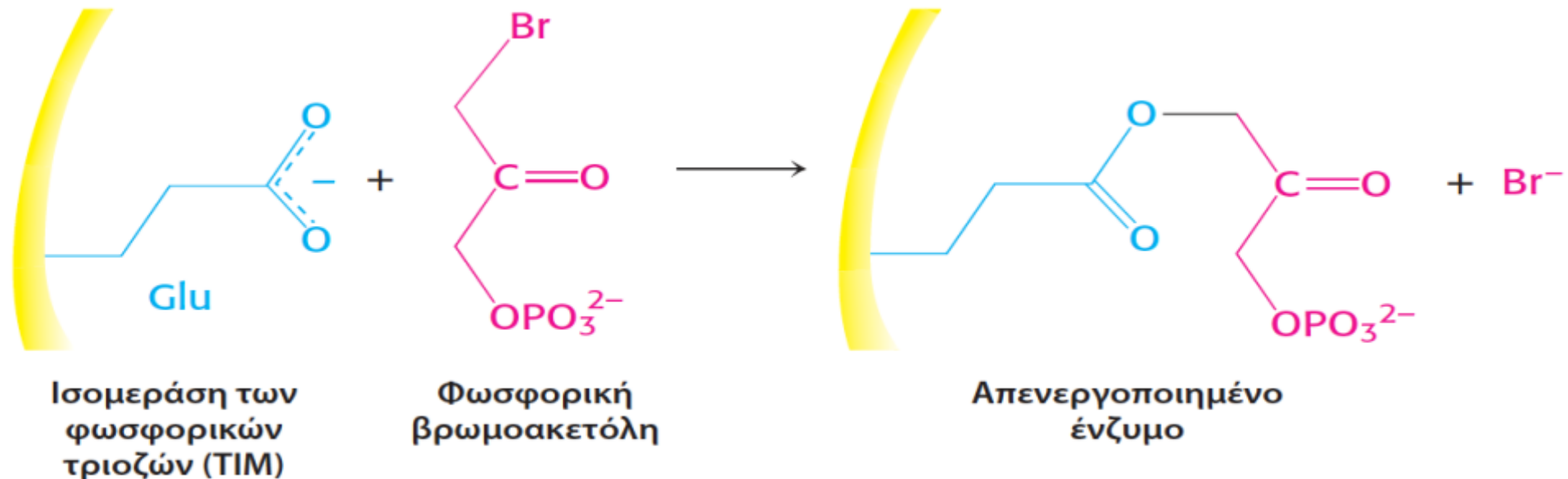


Φυσικό υπόστρωμα για τη χυμοθρυψίνη

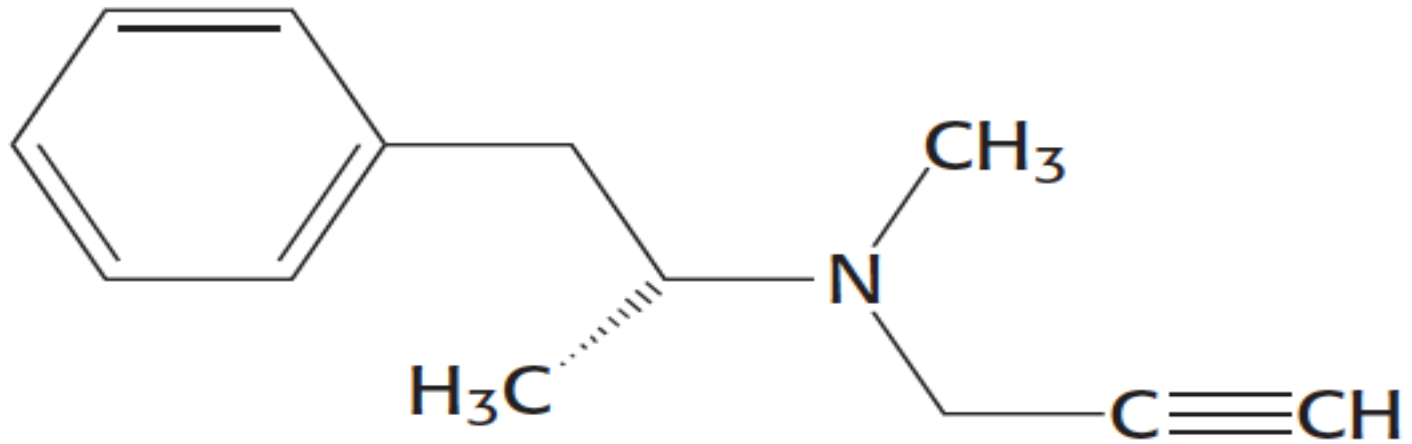


**Εικόνα 8.23 Σήμανση συγγένειας.** (A) Η τοσυλο-L-φαινυλαλανινο-χλωρομεθυλο-κετόνη (TPCK) είναι ένα ενεργό ανάλογο του κανονικού υποστρώματος της χυμοθρυψίνης. (B) Η TPCK προσδένεται στο ενεργό κέντρο της χυμοθρυψίνης και τροποποιεί ένα απαραίτητο κατάλοιπο ιστοιδίνης.



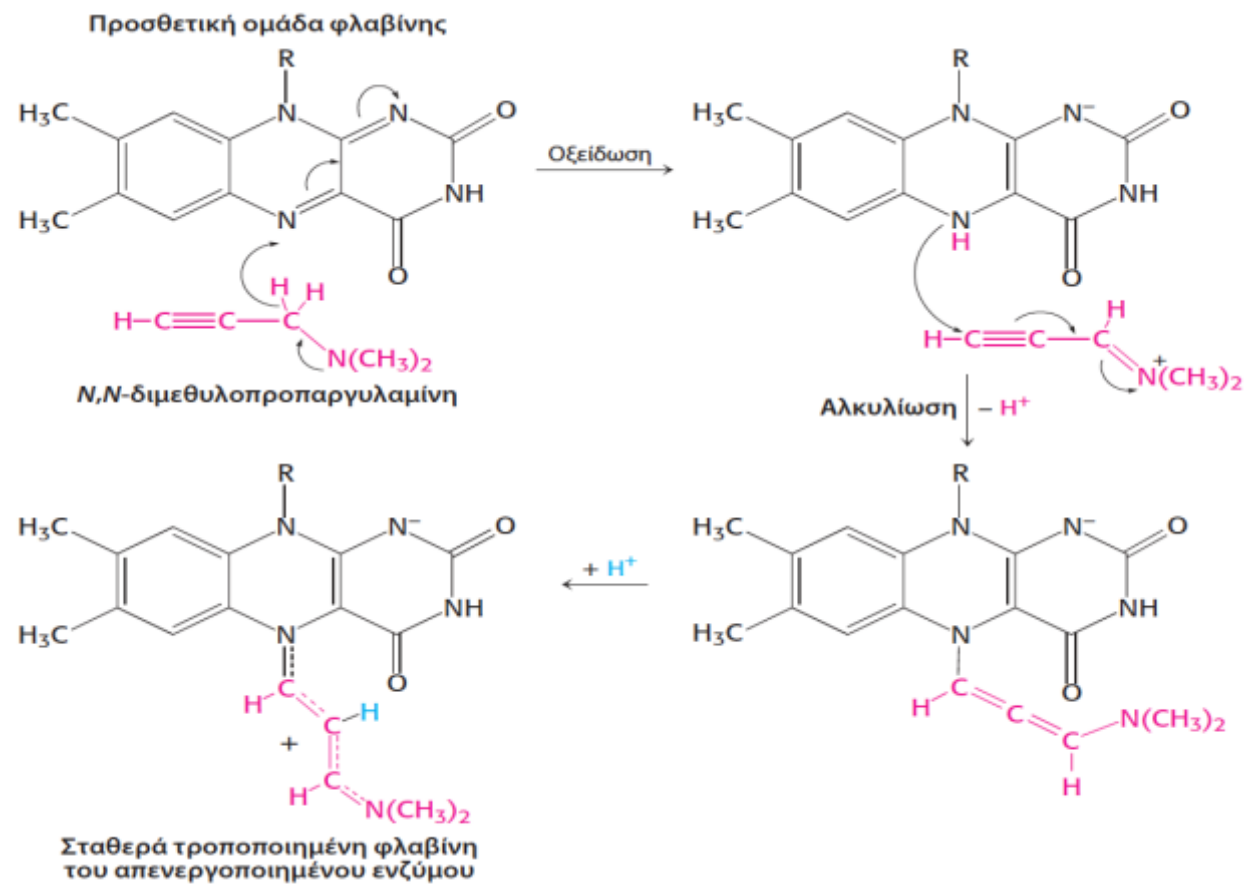


**Εικόνα 8.24** Φωσφορική βρωμοακετόλη, ένας ιχνηθέτης συγγένειας για την ισομεράση των φωσφορικών τριοζών (TIM). Η φωσφορική βρωμοακετόλη, ένα ανάλογο της φωσφορικής διυδροξυακετόνης, προσδένεται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου και τροποποιεί ομοιοπολικά ένα κατάλοιπο γλουταμινικού οξέος που απαιτείται για την ενζυμική δραστηριότητα.

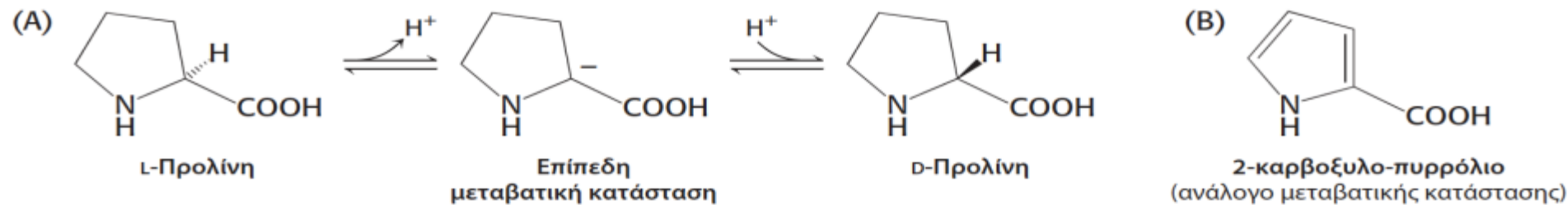


**(-)-Deprenyl**





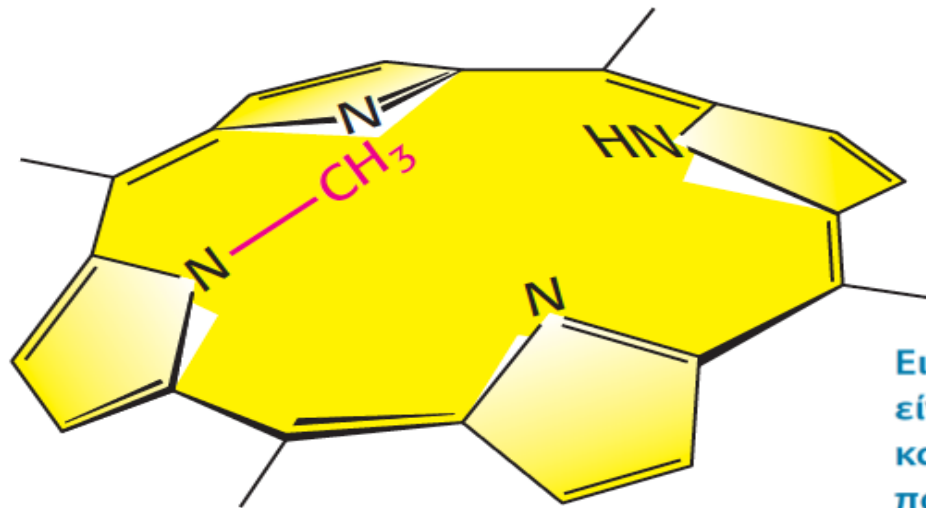
**Εικόνα 8.25 Αναστολή μηχανισμού (αυτοκτονίας).** Η οξειδάση των μονοαμινών, ένα ένζυμο σημαντικό για τη σύνθεση νευροδιαβιβαστών, χρειάζεται τον συμπαράγοντα FAD (φλαβινο-αδενινοδινουκλεοτίδιο). Η *N,N*-διμεθυλοπροπαργουλαμίνη αναστέλλει την οξειδάση των μονοαμινών τροποποιώντας ομοιοπολικά την προσθετική ομάδα φλαβίνης μόνο μετά την οξειδωση του αναστολέα. Το προϊόν προσθήκης N-5 της φλαβίνης σταθεροποιείται από την προσθήκη ενός πρωτονίου. Το R αντιπροσωπεύει το υπόλοιπο της προσθετικής ομάδας της φλαβίνης.



### Εικόνα 8.26 Αναστολή με ανάλογα μεταβατικής κατάστασης.

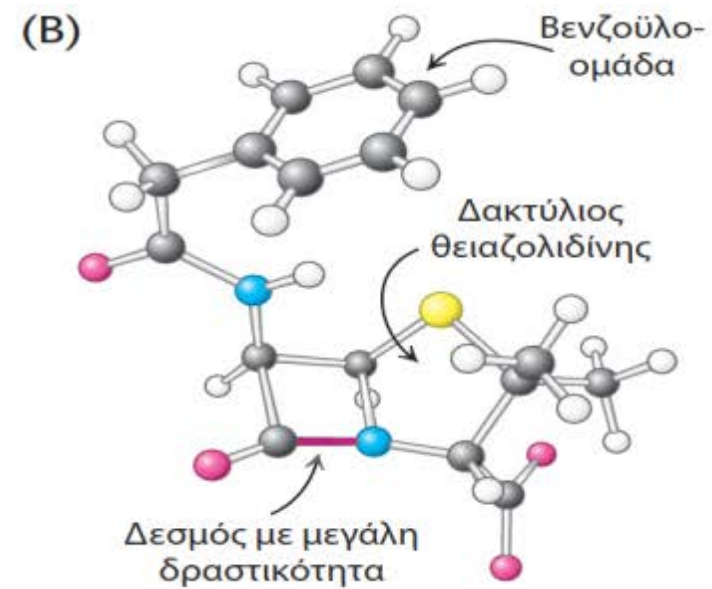
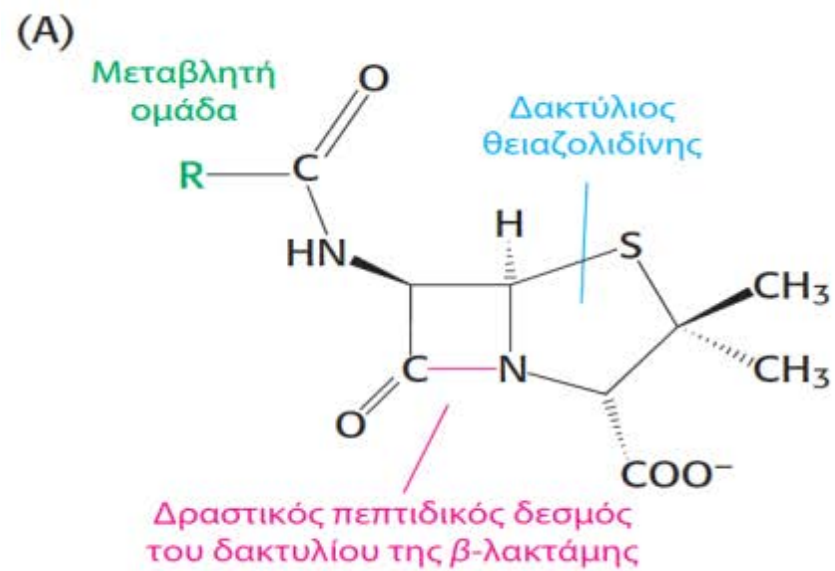
(A) Η ισομερείωση της L-προλίνης σε D-προλίνη από τη ρακεμάση της προλίνης, ένα βακτηριακό ένζυμο, προχωρεί μέσω μιας επίπεδης μεταβατικής κατάστασης στην οποία ο  $\alpha$ -άνθρακας είναι τριγωνικός παρά τετραεδρικός.

(B) Το 2-καρβοξυλο-πυρρόλιο, ένα ανάλογο μεταβατικής κατάστασης, λόγω της τριγωνικής γεωμετρίας του, είναι ένας ισχυρός αναστολέας της ρακεμάσης της προλίνης.

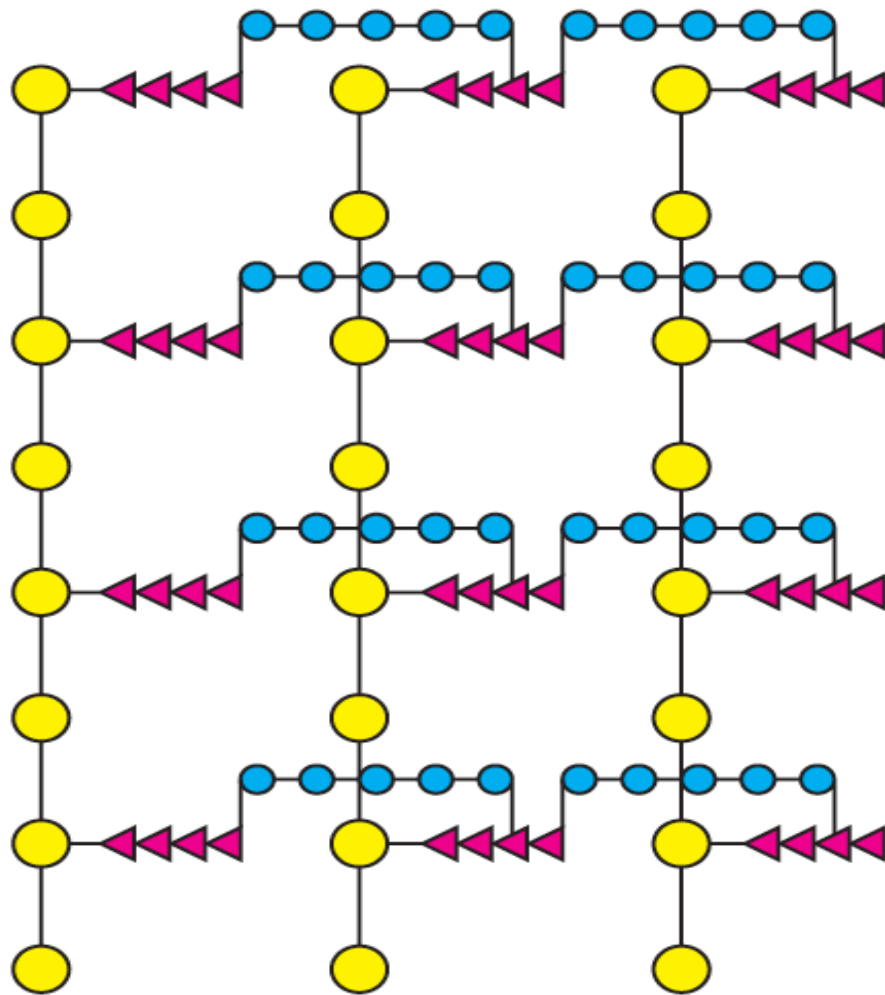


**Εικόνα 8.27** Η *N*-μεθυλομεσοπορφυρίνη είναι ένα ανάλογο μεταβατικής κατάστασης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή καταλυτικών αντισωμάτων.

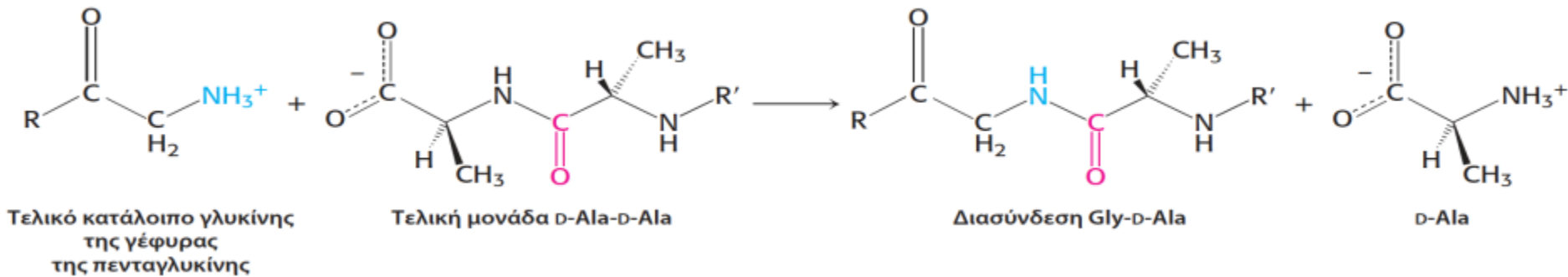
Η εισαγωγή ενός ιόντος μετάλλου σε μια πορφυρίνη από τη σιδηροχηλάση προχωρεί μέσω μιας μεταβατικής κατάστασης στην οποία κάμπτεται η πορφυρίνη. Η *N*-μεθυλομεσοπορφυρίνη, μια κεκλιμένη πορφυρίνη που μοιάζει με τη μεταβατική κατάσταση της αντίδρασης η οποία καταλύεται από τη σιδηροχηλάση, χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ενός αντισώματος το οποίο επίσης καταλύει την εισαγωγή ενός ιόντος μετάλλου στον πορφυρινικό δακτύλιο.



**Εικόνα 8.28** Η δραστική θέση της πενικιλίνης είναι ο πεπτιδικός δεσμός του δακτυλίου της β-λακτάμης. (A) Χημικός τύπος της πενικιλίνης και (B) δομικό μοντέλο της βενζοϋλο-πενικιλίνης.

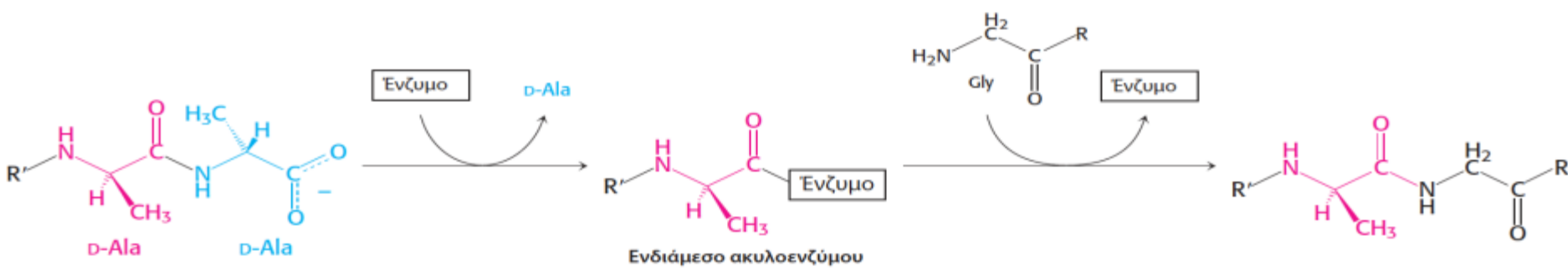


**Εικόνα 8.29** Σχηματική αναπαράσταση της πεπτιδογλυκάνης του *Staphylococcus aureus*. Τα σάκχαρα είναι κίτρινα, τα τετραπεπτίδια κόκκινα και οι γέφυρες πενταγλυκίνης μπλε. Το κυτταρικό τοίχωμα είναι ένα μοναδικό τεράστιο μακρομόριο σε σχήμα σακούλας, λόγω των εκτεταμένων διασυνδέσεων.

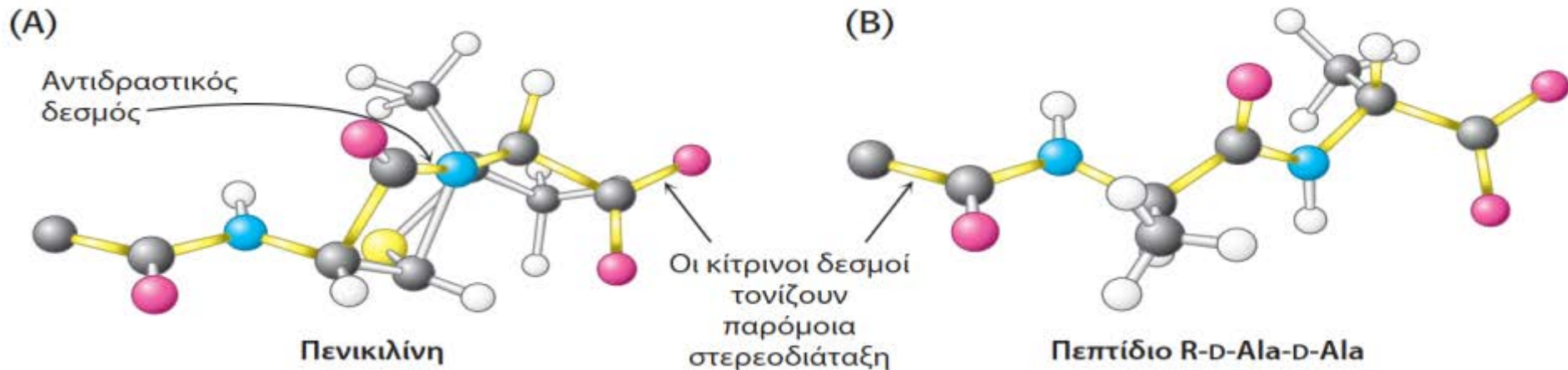


**Εικόνα 8.30 Σχηματισμός διασυνδέσεων στην πεπτιδογλυκάνη του *S. aureus*.**

Η τελική αμινική ομάδα της γέφυρας πενταγλυκίνης στο κυτταρικό τοίχωμα προσβάλλει τον πεπτιδικό δεσμό μεταξύ δύο καταλοίπων D-Ala για να σχηματίσει μια διασύνδεση.

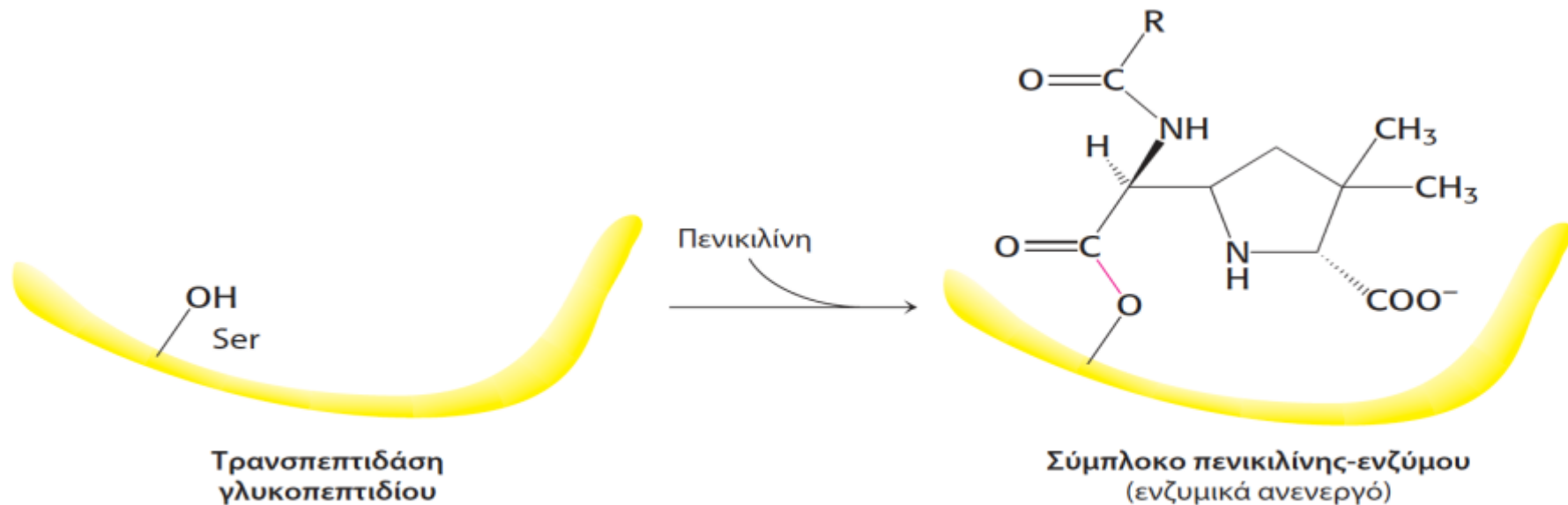


**Εικόνα 8.31 Αντίδραση της τρανσπεπτιδάσης.** Στην αντίδραση της τρανσπεπτιδάσης σχηματίζεται ένα ενδιάμεσο ακυλοενζύμου που οδηγεί στον σχηματισμό διασύνδεσης.

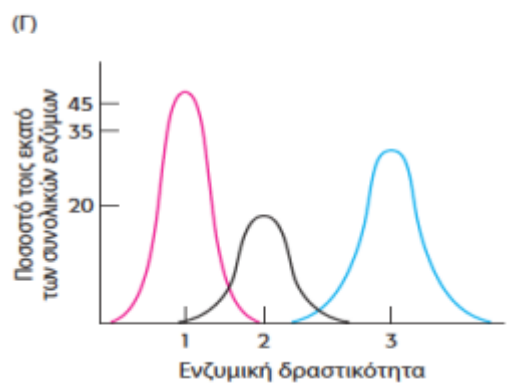
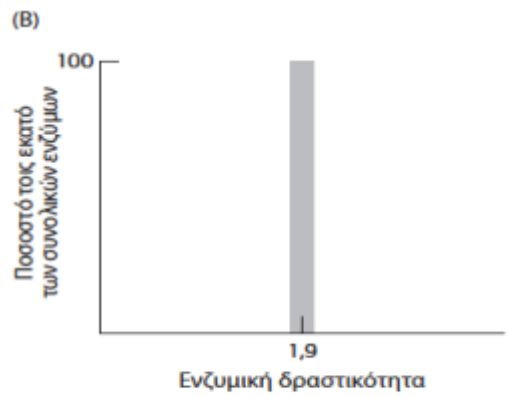


**Εικόνα 8.32 Στερεοδιατάξεις της πενικιλίνης και ενός κανονικού υποστρώματος.** Η στερεοδιάταξη της πενικιλίνης στην περιοχή του αντιδραστικού πεπτιδικού δεσμού (A) μοιάζει με τη στερεοδιάταξη της μεταβατικής κατάστασης του R-D-Ala-D-Ala (B) στην αντίδραση της τρανσπεπτιδάσης [Κατά B. Lee. *J. Mol. Biol.* 61:463-469, 1971.]

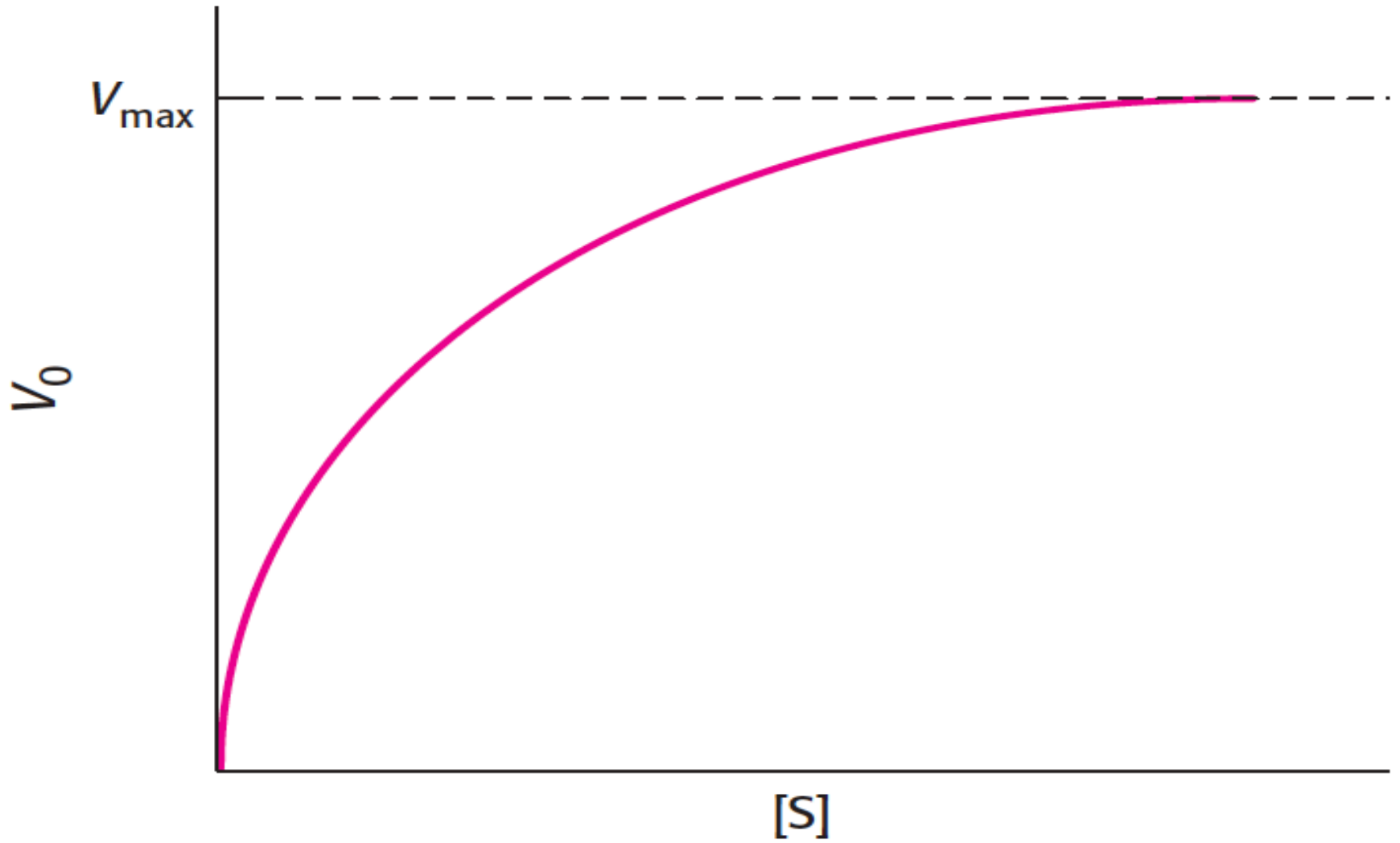




**Εικόνα 8.33 Σχηματισμός ενός συμπλόκου πενικιλίνης-ενζύμου.** Η πενικιλίνη αντιδρά με την τρανσπεπτιδάση για να σχηματίσει ένα ανενεργό σύμπλοκο, το οποίο είναι σταθερό επ' αόριστον.



**Εικόνα 8.34 Μελέτες μεμονωμένων μορίων αποκαλύπτουν μοριακή ετερογένεια.** (A) Σύμπλοκα βιομορίων, όπως τα ένζυμα, εμφανίζουν μοριακή ετερογένεια. (B) Όταν μετράται μια ιδιότητα ενζύμου χρησιμοποιώντας μεθόδους συνόλου, το αποτέλεσμα είναι μια μέση τιμή όλων των μορίων του ενζύμου που είναι παρόντα. (Γ) Μελέτες μεμονωμένων μορίων αποκαλύπτουν μοριακή ετερογένεια, με τις διάφορες μορφές να εμφανίζουν διαφορετικές ιδιότητες.





---

[Πενικιλίνη]  
μM

---

Ποσότητα που  
υδρολύεται (nmol)

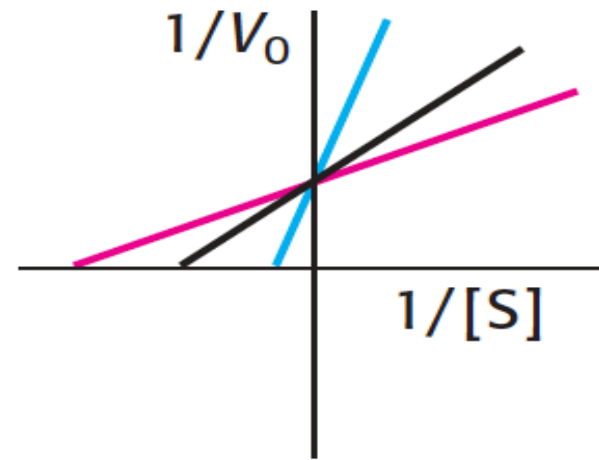
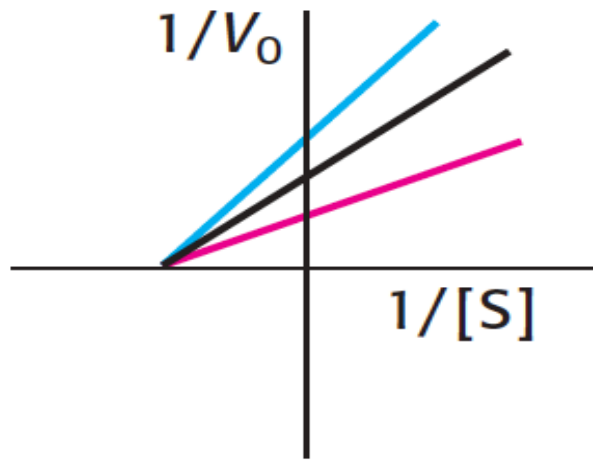
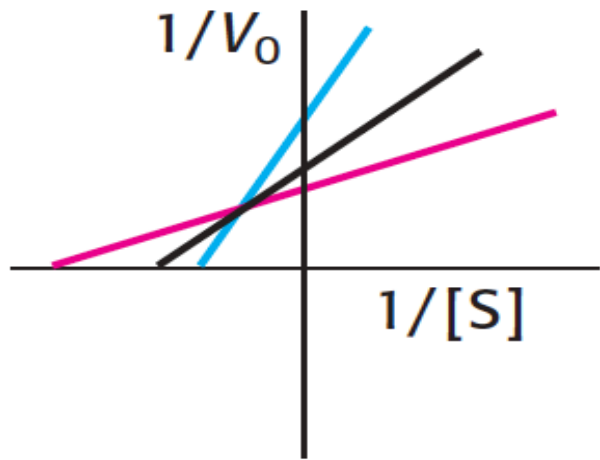
---

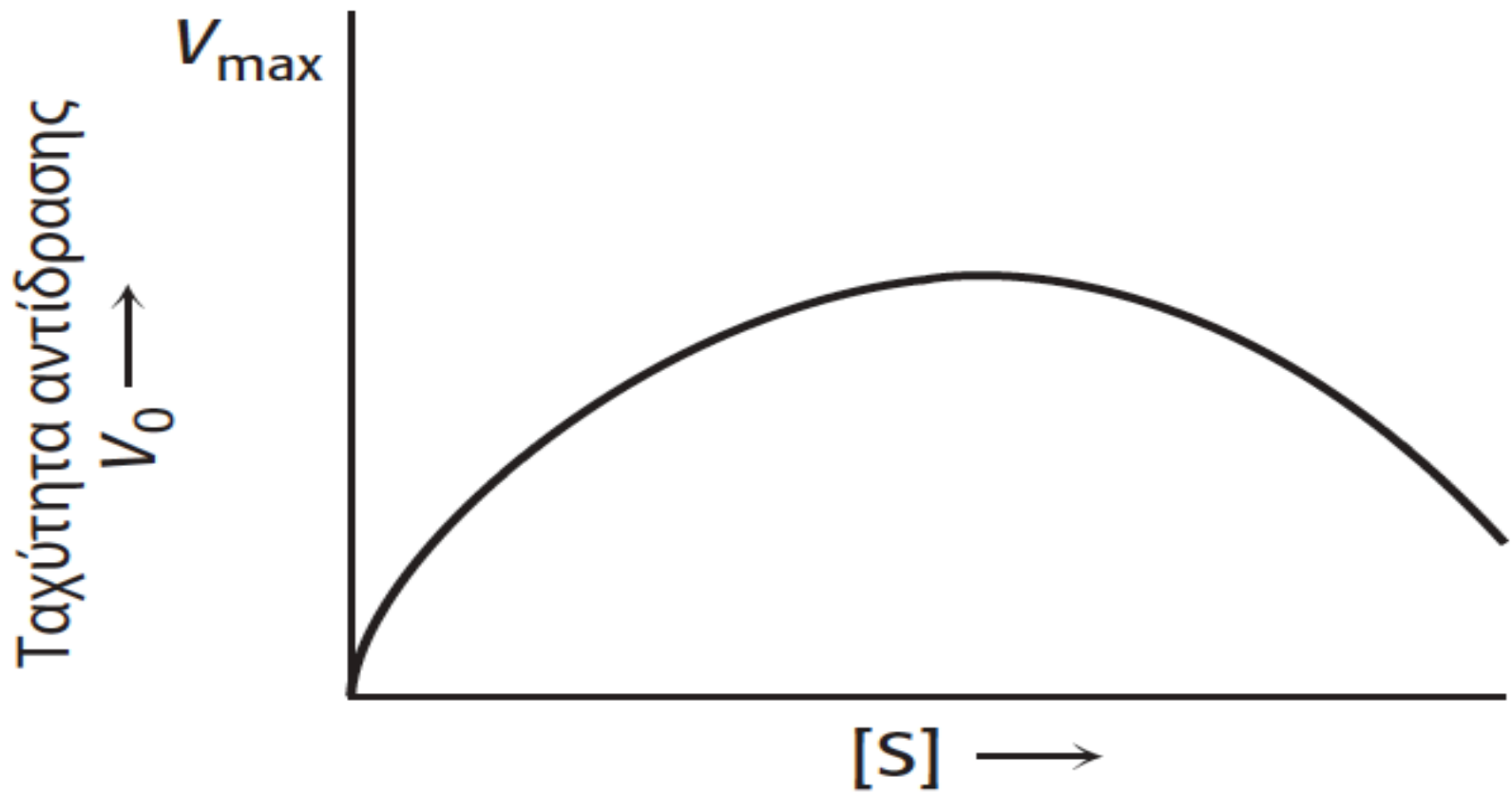
1	0,11
3	0,25
5	0,34
10	0,45
30	0,58
50	0,61

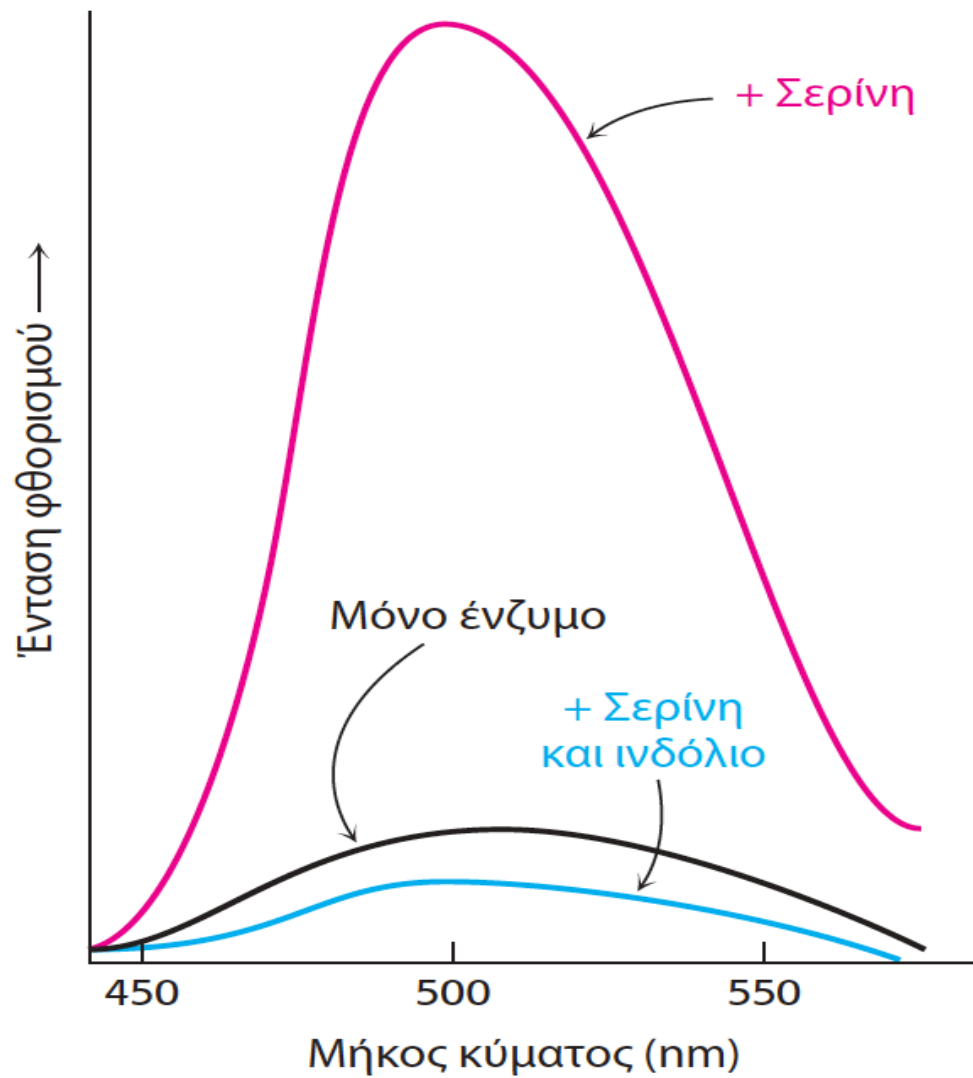
---



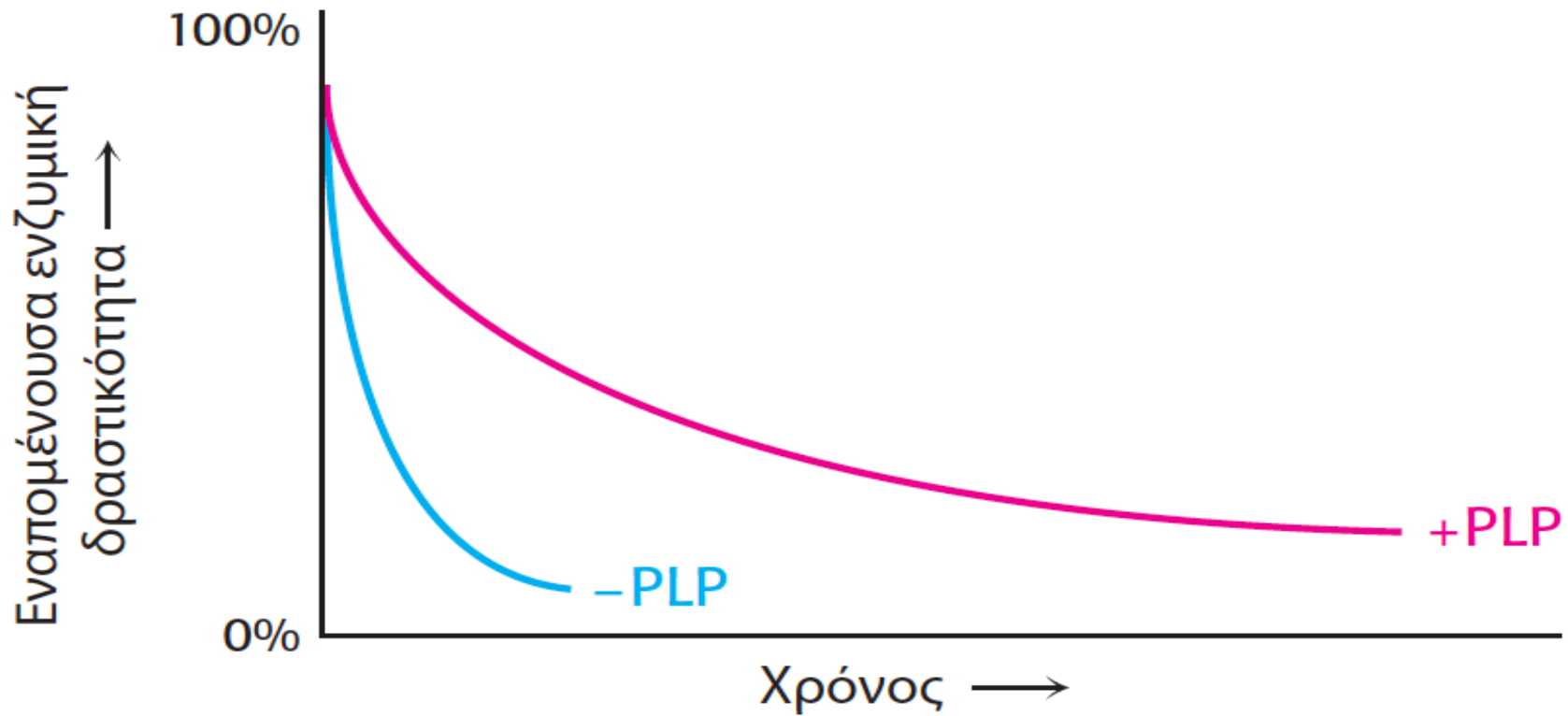
[S] ( $\mu\text{M}$ )	Ταχύτητα ( $\mu\text{mol min}^{-1}$ )	
	Χωρίς αναστολέα	Με αναστολέα
3	10,4	2,1
5	14,5	2,9
10	22,5	4,5
30	33,8	6,8
50	40,5	8,1













**Πίνακας 8.1** Αύξηση ταχύτητας από επιλεγμένα ένζυμα

Ένζυμο	Μη ενζυμική ημιζωή	Μη καταλυόμενη ταχύτητα ( $k_{un} s^{-1}$ )	Καταλυόμενη ταχύτητα ( $k_{cat} s^{-1}$ )	Αύξηση ταχύτητας ( $k_{cat} s^{-1}/k_{un} s^{-1}$ )	
Αποκαρβοξυλάση της OMP	78.000.000	χρόνια	$2,8 \times 10^{-16}$	39	$1,4 \times 10^{17}$
Σταφυλοκοκκική νουκλεάση	130.000	χρόνια	$1,7 \times 10^{-13}$	95	$5,6 \times 10^{14}$
Νουκλεοζιτάση της AMP	69.000	χρόνια	$1,0 \times 10^{-11}$	60	$6,0 \times 10^{12}$
Καρβοξυπεπτιδάση A	7,3	χρόνια	$3,0 \times 10^{-9}$	578	$1,9 \times 10^{11}$
Ισομεράση των κετοστεροειδών	7	εβδομάδες	$1,7 \times 10^{-7}$	66.000	$3,9 \times 10^{11}$
Ισομεράση των φωσφορικών τριοζών	1,9	ημέρες	$4,3 \times 10^{-6}$	4.300	$1,0 \times 10^9$
Μουτάση του χορισμικού	7,4	ώρες	$2,6 \times 10^{-5}$	50	$1,9 \times 10^6$
Ανθρακική ανυδράση	5	δευτερόλεπτα	$1,3 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^6$	$7,7 \times 10^6$

Συντομογραφίες: OMP, μονοφωσφορική οροτιδίνη· AMP, μονοφωσφορική αδενοσίνη.

Πηγή: Κατά A. Radzicka and R. Wolenden. *Science* 267:90–93, 1995.



## Πίνακας 8.2 Συμπαραγοντες ενζύμων

Συμπαραγοντας	Ένζυμο
<b>Συνένζυμο</b>	
Πυροφωσφορική θειαμίνη	Πυροσταφυλική αφυδρογονάση
Φλαβινο-αδενινο- νουκλεοτίδιο	Οξειδάση των μονοαμινών
Νικοτιναμιδο-αδενινο- νουκλεοτίδιο	Γαλακτική αφυδρογονάση
Φωσφορική πυριδοξάλη	Φωσφορυλάση του γλυκογόνου
Συνένζυμο A (CoA)	Καρβοξυλάση του ακετυλο-CoA
Βιοτίνη	Καρβοξυλάση του πυροσταφυλικού
5'-Δεοξαδενοσυλο- κοβαλαμίνη	Μουτάση του μεθυλομηλονικού
Τετραϋδροφυλλικό	Συνθάση του θυμιδικού
<b>Μέταλλο</b>	
Zn <sup>2+</sup>	Ανθρακική ανυδράση
Zn <sup>2+</sup>	Καρβοξυπεπτιδάση
Mg <sup>2+</sup>	<i>EcoRV</i>
Mg <sup>2+</sup>	Εξοκινάση
Ni <sup>2+</sup>	Ουρεάση
Mo	Αναγωγάση του νιτρικού
Se	Υπεροξειδάση της γλουταθειόνης
Mn	Δισμουτάση του σουπεροξειδίου
K <sup>+</sup>	Καρβοξυλάση του προπιονυλο- CoA



**Πίνακας 8.3** Σχέση μεταξύ της  $\Delta G^{\circ}$  και της  $K'_{eq}$  (στους 25°C)

$K'_{eq}$	$\Delta G^{\circ}$	
	$\text{kJ mol}^{-1}$	$\text{kcal mol}^{-1}$
$10^{-5}$	28,53	6,82
$10^{-4}$	22,84	5,46
$10^{-3}$	17,11	4,09
$10^{-2}$	11,42	2,73
$10^{-1}$	5,69	1,36
1	0,00	0,00
10	-5,69	-1,36
$10^2$	-11,42	-2,73
$10^3$	-17,11	-4,09
$10^4$	-22,84	-5,46
$10^5$	-28,53	-6,82



## Πίνακας 8.4 Τιμές $K_M$ μερικών ενζύμων

Ένζυμο	Υπόστρωμα	$K_M$ ( $\mu\text{M}$ )
Χυμοθρυψίνη	Ακετυλο-L-θρυπτοφαναμίδιο	5000
Λυσοζύμη	Εξα-N-ακετυλογλυκοζαμίνη	6
$\beta$ -Γαλακτοζιτάση	Λακτόζη	4000
Απαμινάση της θρεονίνης	Θρεονίνη	5000
Ανθρακική ανυδράση	$\text{CO}_2$	8000
Πενικιλινάση	Βενζυλοπενικιλίνη	50
Πυροσταφυλική καρβοξυλάση	Πυροσταφυλικό	400
	$\text{HCO}_3^-$	1000
	ATP	60
Συνθετάση του αργινο-tRNA	Αργινίνη	3
	tRNA	0,4
	ATP	300

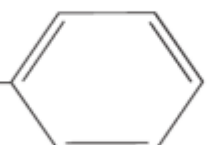


## Πίνακας 8.5 Αριθμοί μετατροπής μερικών ενζύμων

Ένζυμο	Αριθμός μετατροπής (ανά δευτερόλεπτο)
Ανθρακική ανυδράση	600.000
Ισομεράση των 3-κετοστεροειδών	280.000
Ακετυλοχολινεστεράση	25.000
Πενικιλινάση	2.000
Γαλακτική αφυδρογονάση	1.000
Χυμοθρυψίνη	100
DNA πολυμεράση I	15
Συνθετάση της θρυπτοφάνης	2
Λυσοζύμη	0,5



## Πίνακας 8.6 Προτιμήσεις της χυμοθρυψίνης για υποστρώματα

Αμινοξύ στον εστέρα	Πλευρική αλυσίδα αμινοξέος	$k_{\text{cat}}/K_M$ ( $\text{s}^{-1} \text{M}^{-1}$ )
Γλυκίνη	—H	$1,3 \times 10^{-1}$
Βαλίνη	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\   \\ \text{—CH} \\   \\ \text{CH}_2 \end{array}$	2,0
Νορβαλίνη	—CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	$3,6 \times 10^2$
Νορλευκίνη	—CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	$3,0 \times 10^3$
Φαινυλαλανίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_2 \\   \\ \text{—C} \end{array}$ 	$1,0 \times 10^5$

Πηγή: Κατά A. Fersht, *Structure and Mechanism in Protein Science: A Guide to Enzyme Catalysis and Protein Folding* (W. H. Freeman and Company, 1999), Table 7.3.



**Πίνακας 8.7** Ένζυμα των οποίων ο λόγος  $k_{cat}/K_M$  είναι κοντά στην ελεγχόμενη από διάχυση ταχύτητα συνάντησης υποστρώματος

Ένζυμο	$k_{cat}/K_M$ ( $s^{-1} M^{-1}$ )
Ακετυλοχολινεστεράση	$1,6 \times 10^8$
Ανθρακική ανυδράση	$8,3 \times 10^7$
Καταλάση	$4 \times 10^7$
Κροτωνάση	$2,8 \times 10^8$
Φουμαράση	$1,6 \times 10^8$
Ισομεράση των φωσφορικών τριοζών	$2,4 \times 10^8$
$\beta$ -Λακταμάση	$1 \times 10^8$
Δισμουτάση του σουπεροξειδίου	$7 \times 10^9$

Πηγή: Κατά A. Fersht, *Structure and Mechanism in Protein Science: A Guide to Enzyme Catalysis and Protein Folding* (W. H. Freeman and Company, 1999), Table 4.5.





**Πίνακας 8.8** Οι έξι κύριες κατηγορίες ενζύμων

Κατηγορία	Τύπος αντίδρασης	Παράδειγμα	Κεφάλαιο
1. Οξειδοαναγωγάσες	Οξείδωση-αναγωγή	Γαλακτική αφυδρογονάση	16
2. Μεταφοράσες	Μεταφορά ομάδας	Κινάση των μονοφωσφορικών νουκλεοζιτών (κινάση NMP)	9
3. Υδρολάσες	Αντιδράσεις υδρόλυσης (μεταφορά λειτουργικών ομάδων στο νερό)	Χυμοθρυψίνη	9
4. Λυάσες	Πρόσθεση ή αφαίρεση ομάδων για τον σχηματισμό διπλών δεσμών	Φουμαράση	17
5. Ισομεράσες	Ισομερείωση (ενδομοριακή μεταφορά ομάδας)	Ισομεράση των φωσφορικών τριοζών	16
6. Λιγάσες	Σύνδεση δύο υποστρωμάτων με δαπάνη την υδρόλυση της ATP	Συνθετάση αμινοακυλο-tRNA	30



# Βιβλιογραφία

1. Jeremy M Berg, John L Tymoczko, Lubert Stryer, ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ, 5<sup>η</sup> έκδοση, Α τόμος, Παν/κές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2004. Βλέπε και διαδικτυακό τόπο του βιβλίου [www.whfreeman.com/Berg7e/](http://www.whfreeman.com/Berg7e/)
2. Διαμαντίδη Γρ., ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ, 3<sup>η</sup> έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2007/2010.
3. Campbell NA, Reece JB. *Βιολογία*, τόμος Ι. 8<sup>η</sup> έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2010.
4. Γ. Μουρκίδη, Γεωργική Χημεία, Θεσσαλονίκη, 1971. Υπάρχει στη Βιβλιοθήκη του ιδρύματος.
5. Geoffrey [Zubay](#), William [Parson](#), Diane E. [Vance](#). Αρχές βιοχημείας, [ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης](#), Αθήνα 1999. Υπάρχει στη Βιβλιοθήκη του ιδρύματος.
6. David L. [Nelson](#), Michael M. [Cox](#). *Lehninger*, Principles of Biochemistry (υπάρχει και μεταφρασμένη ελληνική έκδοση) Βασικές αρχές βιοχημείας. Μεταφραστές: Κ.Ε. [Σταματόπουλος](#), Α.Ν. [Χατζηδημητρίου](#). Επιμελητής: Α.Γ. [Παπαβασιλείου](#). [ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης](#), Αθήνα, 2007. Υπάρχει στη Βιβλιοθήκη του ιδρύματος.
7. Mathews D, van Holde KE. BIOCHEMISTRY, 3<sup>rd</sup> edition, Benjamin Cummings, Menlo Park, 2003. Υπάρχει στη Βιβλιοθήκη του ιδρύματος.
8. John Clark, Robert ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ. Παν/κές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1992, 2<sup>η</sup> εκτύπωση, 2001. Υπάρχει στη Βιβλιοθήκη του ιδρύματος.
9. ΙΓ Γεωργάτσου, Δ. Κυριακίδης, Τ. Γιουψάνης, κ.ά. Εργαστηριακές Ασκήσεις Βιοχημείας. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη, 2004. Υπάρχει στη Βιβλιοθήκη του ιδρύματος.
10. Οδηγός μελέτης του μαθήματος (φυλλάδιο που χορηγείται στη διάλεξη).



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.





# Σημείωμα Αναφοράς

Παπαδόπουλος, Γ. Βιοχημεία - Αρχές Βιοτεχνολογίας.  
Τεχνολογικό Ίδρυμα Ηπείρου. Διαθέσιμο από:  
<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG119/>





# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



# Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Αντώνιος Σακελλάριος  
Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΒΟΝΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





# Τέλος Ενότητας

Ένζυμα, συνένζυμα, συμπαράγοντες, κινητική



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
Πρόγραμμα για τη ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ