

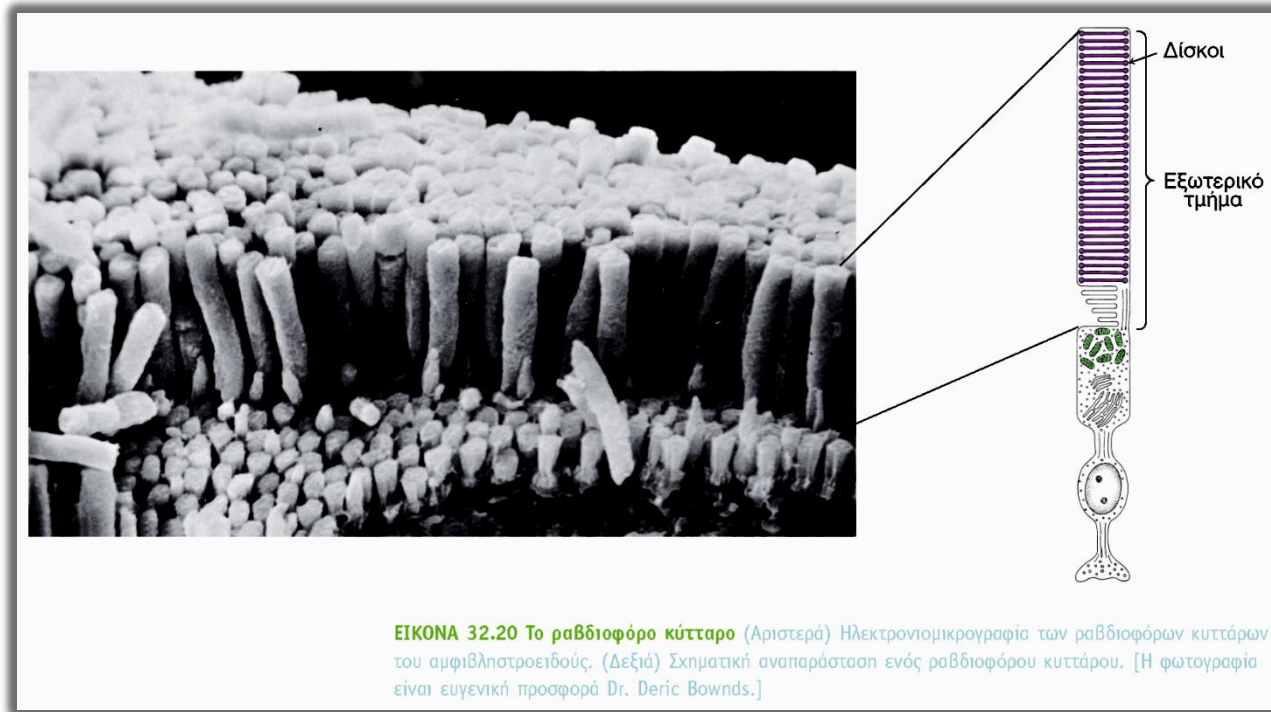
Όραση

Ντέρφφερ-Εφραιμίδης Μ. Παναγιώτης
Παπαευαγγέλου Α. Ευστάθιος

Πώς ανιχνεύεται το φώς;

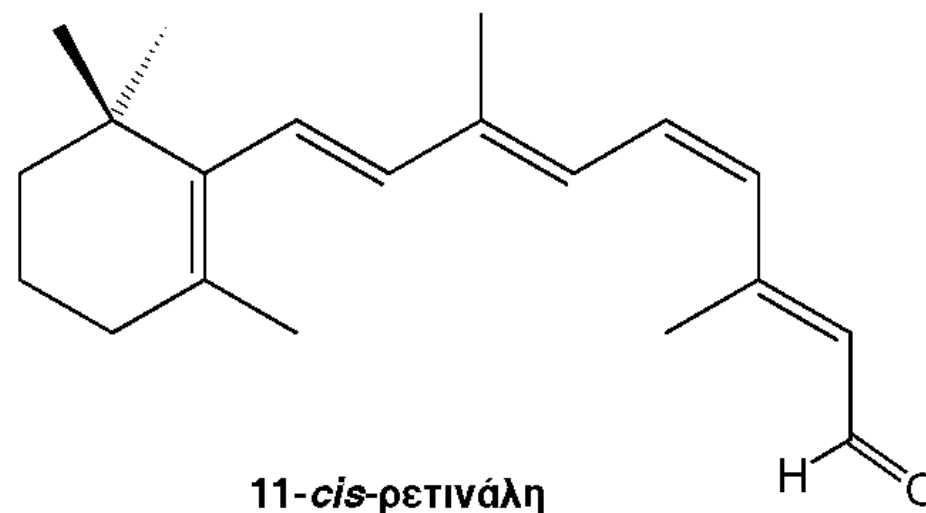
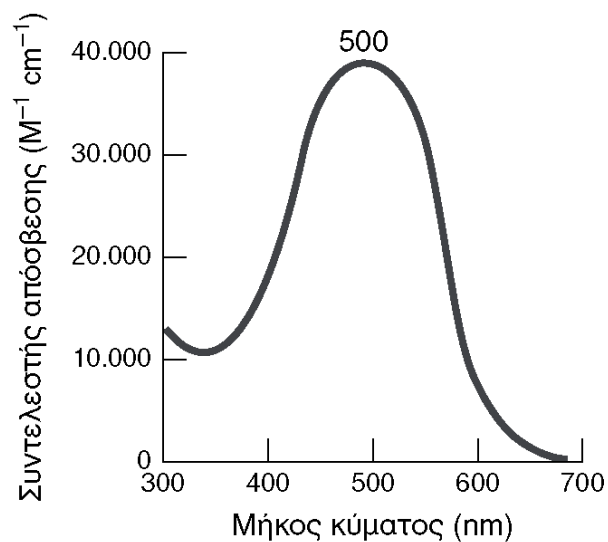
Με δύο ειδών φωτοϋποδοχείς:

- Τα ραβδιοφόρα κύτταρα (ραβδία) → αμυδρό φώς
- Τα κωνιοφόρα κύτταρα (κωνία) → έντονο φώς



Τί είναι η ροδοψίνη;

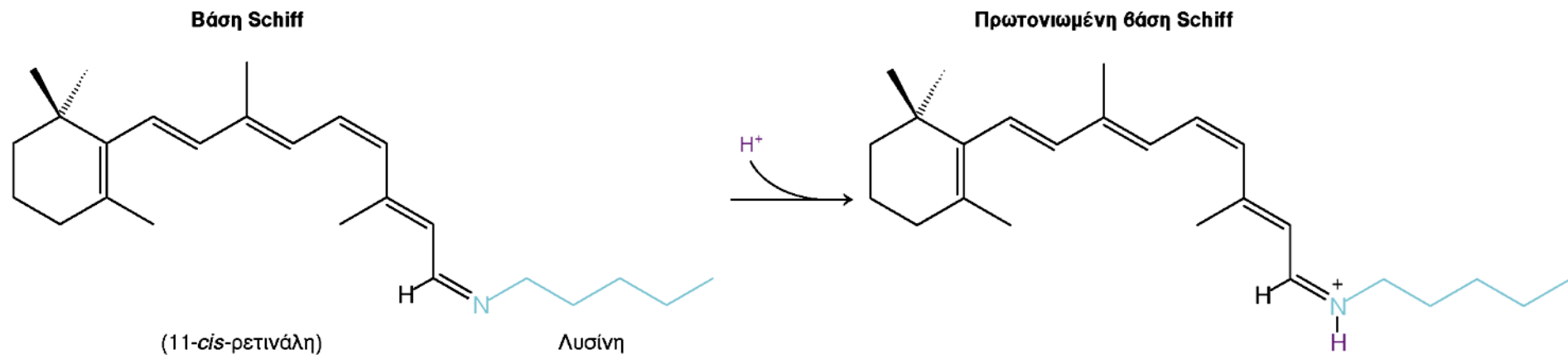
- Φωτοϋποδεκτικό μόριο των ραβδίων
- Σύμπλεγμα της πρωτεΐνης οψίνης με την **11-cis-ρετινάλη**



ΕΙΚΟΝΑ 32.21 Το φάσμα απορρόφησης της ροδοψίνης.

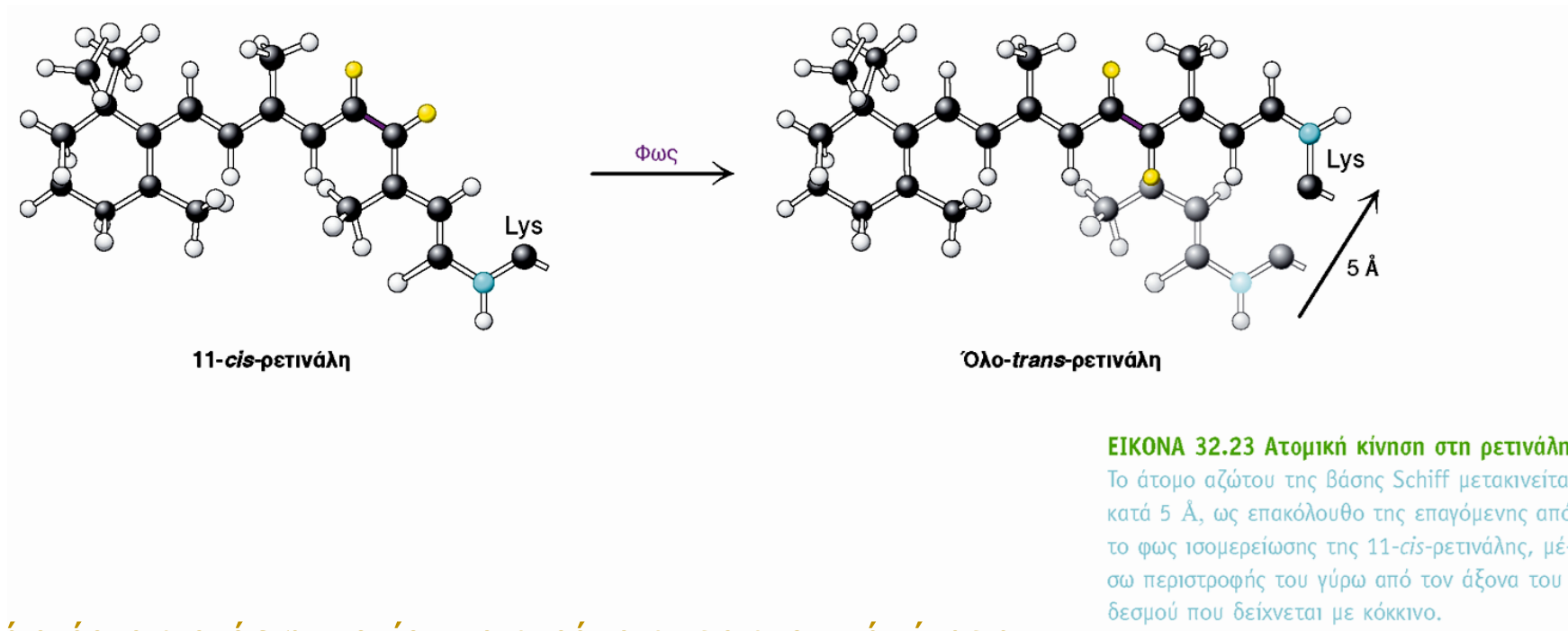
Η 11-cis-ρετινάλη (χρωμοφόρο) είναι ενωμένη με μια αμινική ομάδα του κατάλοιπου λυσίνης 296 σχεδόν στο κέντρο της πρωτεΐνης.

ΕΙΚΟΝΑ 32.22 Ο δεσμός λυσίνης-ρετινάλης. Η ρετινάλη συνδέεται με τη λυσίνη 296 της οψίνης με δεσμό τύπου βάσης Schiff. Σε κατάσταση ηρεμίας της ροδοψίνης, η βάση Schiff είναι πρωτονιωμένη.



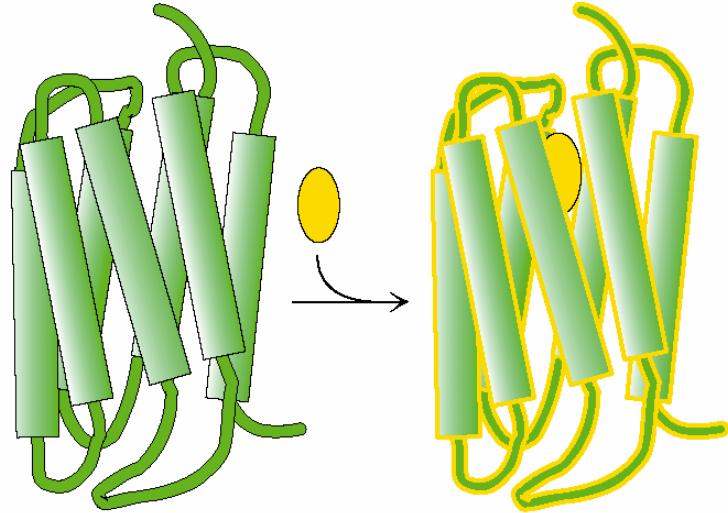
Οι ενώσεις όταν απορροφούν ενέργεια την μετατρέπουν σε άλλη μορφή **Θερμική,κινητική,διαμόρφωσης**

Η απορρόφηση φωτός έχει ως αποτέλεσμα την ισομερείωση της ομάδας της 11-*cis*-ρετινάλης της ροδοψίνης προς την όλο-*trans* μορφή της



Η φωτεινή ενέργεια ενός φωτονίου μετατρέπεται σε ατομική κίνηση

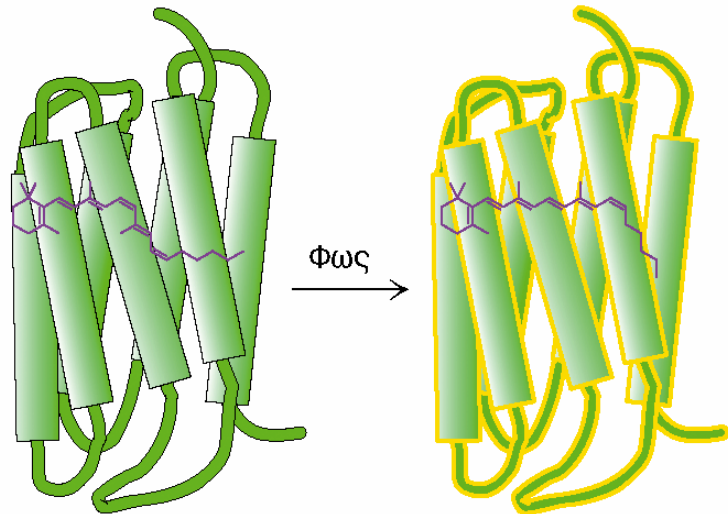
ΕΙΚΟΝΑ 32.24 Ανάλογα των υποδοχέων με επτά διαμεμβρανικές έλικες. Η μετατροπή της ροδοψίνης σε μεταροδοψίνη II ενεργοποιεί μια πορεία μεταγωγής σήματος ανάλογα με την ενεργοποίηση που επάγεται από τη δέσμευση των κατάλληλων προσδεμάτων σε άλλους υποδοχείς με επτά διαμεμβρανικές έλικες.



Υποδοχέας με 7 διαμεμβρανικές έλικες που έχει δεσμεύσει το πρόσδεμα

Η μεταροδοψίνη II είναι ανάλογη των υποδοχέων με επτά διαμεμβρανικές έλικες όταν έχουν δεσμεύσει το πρόσδεμα τους όπως ο αδρενεργικός υποδοχέας $\beta 2$ (υποδοχείς γεύσης και όσφρησης)

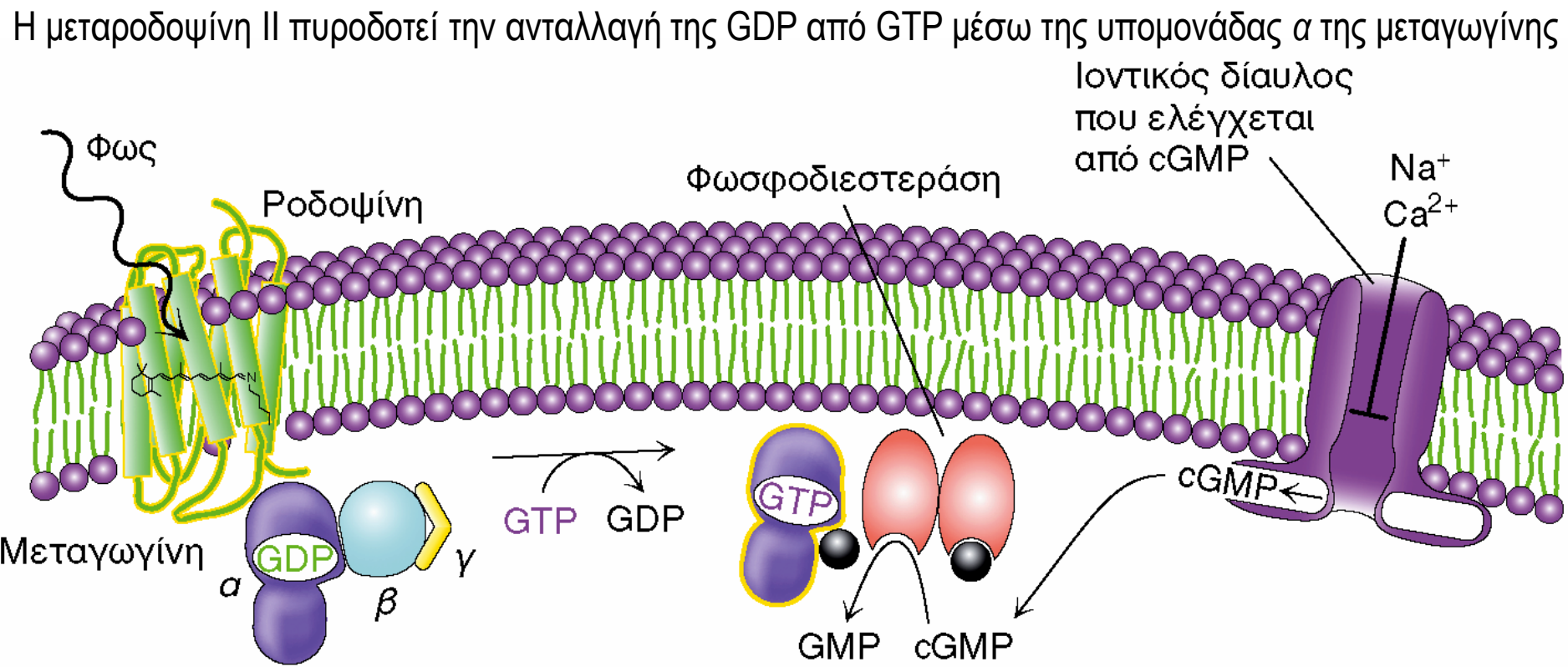
Στην ουσία, η φωτεινή ενέργεια ενός φωτονίου, μετατρέπεται σε ατομική κίνηση.



Μεταροδοψίνη II

Ισομερείωση της βάσης Schiff πραγματοποιείται μέσα σε πικοδευτερόλεπτα μετά την απορρόφηση του φωτονίου και ονομάζεται **βαθοροδοψίνη** (έχει μια εντεταμένη ομάδα *all-trans* ρετινάλη)

Το ενδιάμεσο παράγωγο μετατρέπεται σε **μεταροδοψίνη II**

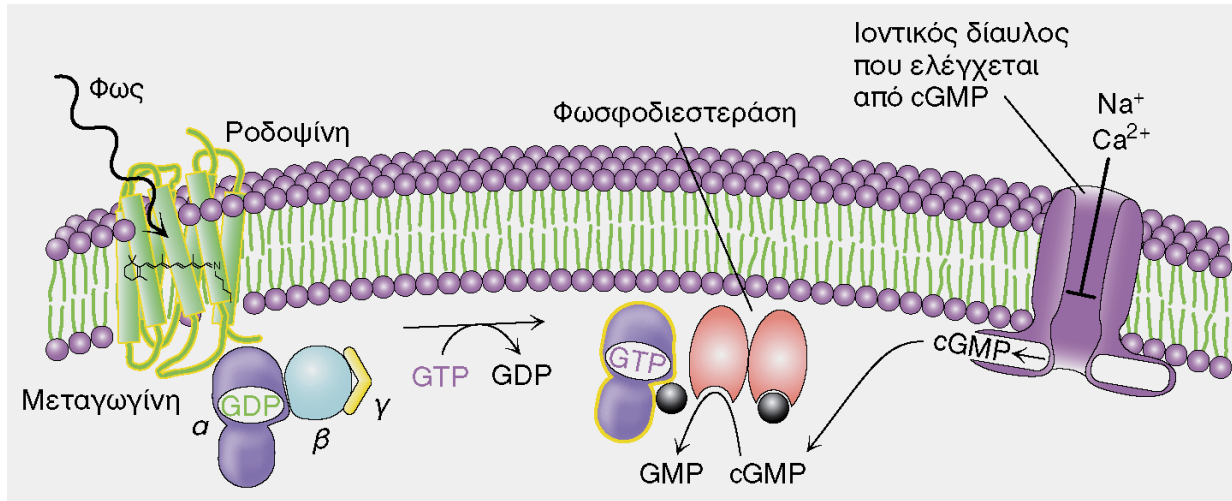


ΕΙΚΟΝΑ 32.25 Μεταγωγή οπτικών σημάτων. Η επαγόμενη από το φως ενεργοποίηση της ροδοψίνης οδηγεί σε υδρόλυση της cGMP, η οποία στη συνέχεια οδηγεί σε κλείσιμο ιοντικών διαύλων και σε έναρξη ενός δυναμικού ενέργειας.

Με τη δέσμευση της GTP απελευθερώνονται οι υπομονάδες $\beta\gamma$ της μεταγωγίνης και η υπομονάδα α θέτει σε λειτουργία μια φωσφοδιεστεράση της cGMP μέσω δέσμευσης και μετακίνησης μιας ανασταλτικής υπομονάδας της, μείωση της συγκέντρωσης της cGMP προκαλεί κλείσιμο των διαύλων που ελέγχονται από cGMP οδηγώντας σε υπερπόλωση της μεμβράνης και σε παραγωγή νευρικών ώσεων. Σε κάθε στάδιο της διεργασίας αυτής, το αρχικό σήμα – η απορρόφηση ενός μόνο φωτονίου- πολλαπλασιάζεται έτσι ώστε να οδηγεί σε επαρκή υπερπόλωση της μεμβράνης που καταλήγει σε σηματοδότηση

Η επαγόμενη από το φως μείωση του επιπέδου ασβεστίου συντονίζει την αποκατάσταση

Το οπτικό σύστημα αποκρίνεται σε αλλαγές του φωτός σε χιλιοστά του δευ/του αυτό σε αναλογία σημαίνει 1000 περίπου σήματα (πλαίσια ή εικόνες) ανά δευ/το



Η αρχική κατάσταση πρέπει να επανέλθει γρήγορα ώστε το σύστημα να είναι σε θέση να ενεργοποιηθεί ξανά
ενεργοποίηση της αποκατάστασης ταυτόχρονα με την ενεργοποίηση της μεταγωγίνης από το φωτεινό σήμα

Όπως και άλλες G πρωτεΐνες η υπομοναδα α έχει δραστηριότητα GTPασης με αυτό τον τρόπο ξεκινάει η αποκατάσταση $GTP \rightarrow GDP \rightarrow$ επανασύνδεση α με βγ

Ταυτόχρονα πρέπει να αυξηθούν τα επίπεδα του cGMP

Ενεργοποίηση

Αποκατάσταση

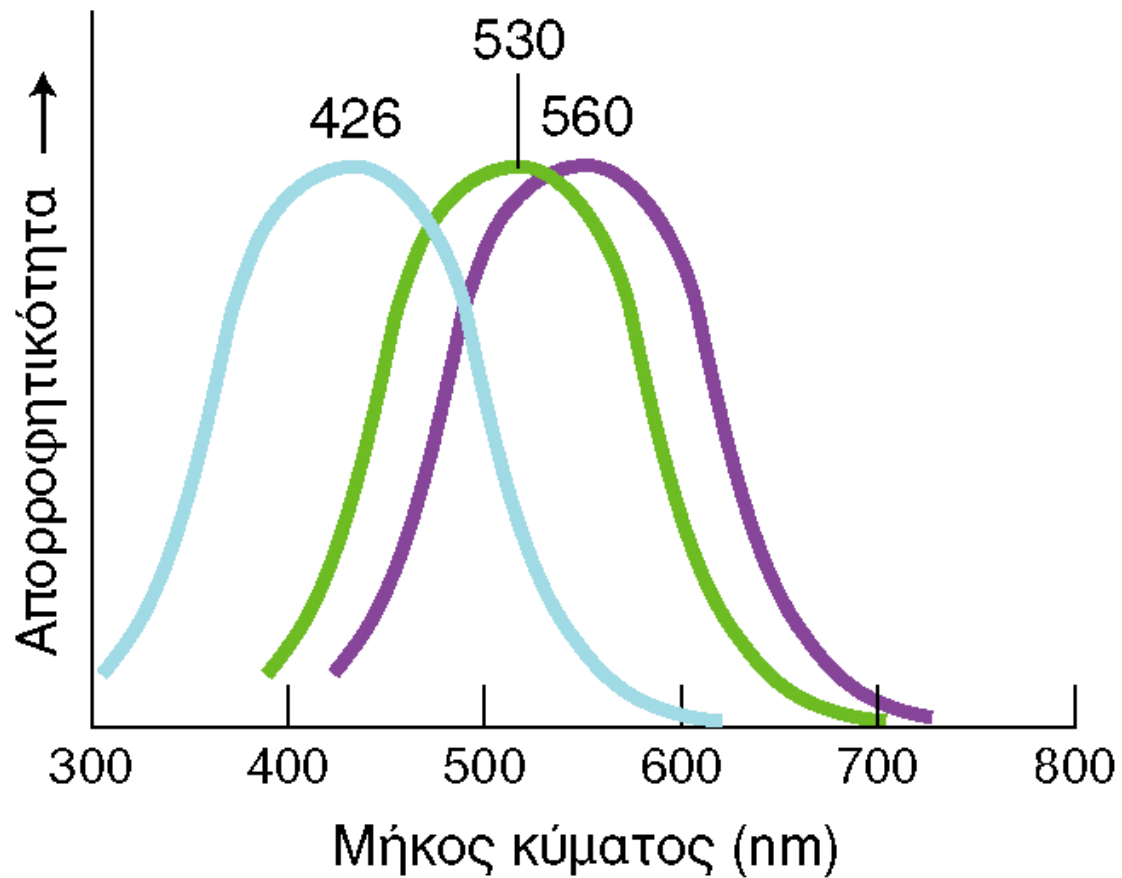
$[cGMP] \downarrow \rightarrow$ Κλειστοί ιοντικοί διάυλοι $\rightarrow [Ca^{2+}] \downarrow \rightarrow$ αυξημένη δραστηριότητα

γουανυλικής κυκλάσης $\rightarrow [cGMP] \uparrow$

Τα επίπεδα του Ca^{2+} μειώνονται από 500nM σε 50nM μετά τον φωτισμό. Ελέγχοντας το ρυθμό σύνθεσης της cGMP τα επίπεδα των Ca^{2+} ρυθμίζουν την ταχύτητα με την οποία το σύστημα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση.

Η έγχρωμη όραση διεκπεραιώνεται από τρεις υποδοχείς των κωνιοφόρων κυττάρων που είναι ομόλογοι της ροδοψίνης

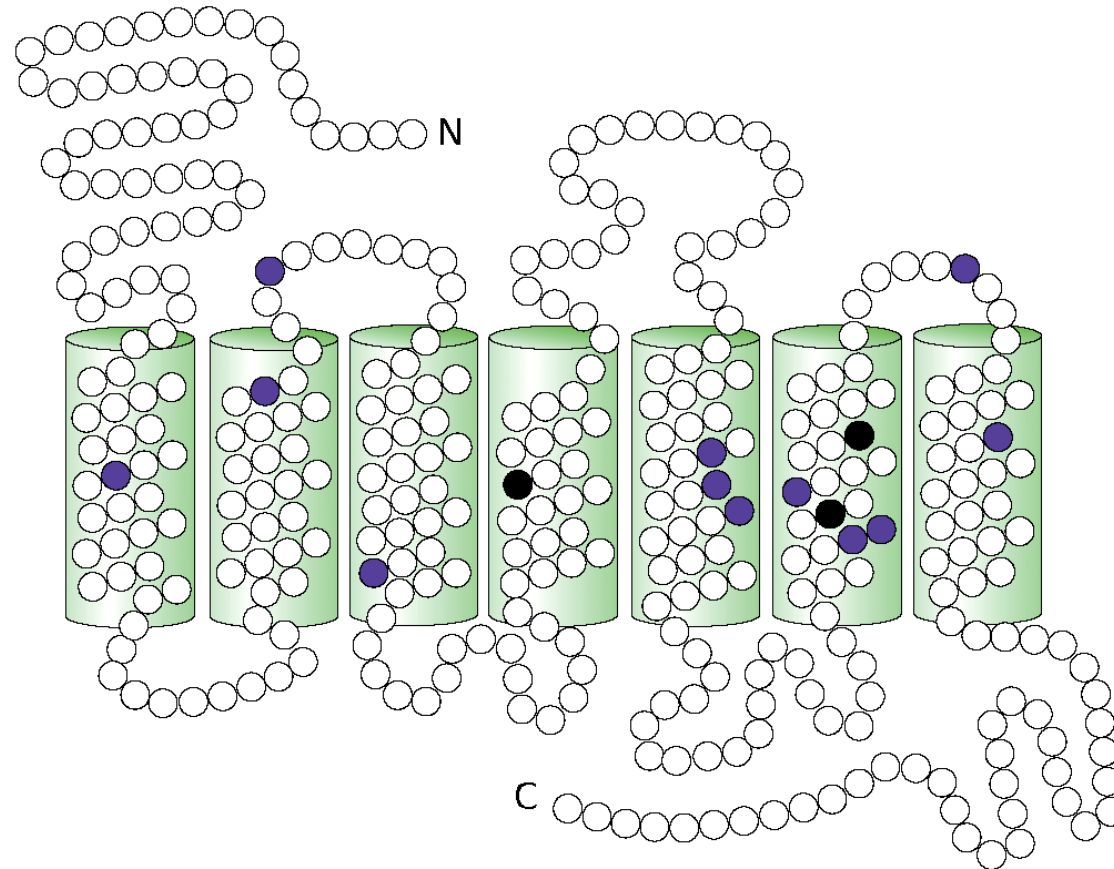
Στα κωνιοφόρα κύτταρα του ανθρώπου υπάρχουν **τρεις διαφορετικές φωτοϋποδεκτικές** πρωτεΐνες με μέγιστο απορρόφησης στα **426**, **530** και **~560** nm οι τιμές απορρόφησης αντιστοιχούν και καθορίζουν στην **κυανή**, στην **πράσινη** και στην **ερυθρή** περιοχή του φάσματος



ΕΙΚΟΝΑ 32.26 Το φάσμα απορρόφησης των χρωστικών των κωνιοφόρων κυττάρων. Το φάσμα απορρόφησης της οπτικής χρωστικής των κωνιοφόρων κυττάρων που είναι υπεύθυνο για την έγχρωμη όραση.

Οι φωτοϋποδοχείς για το πράσινο και το ερυθρό παρουσιάζουν ομοιότητα > 95%

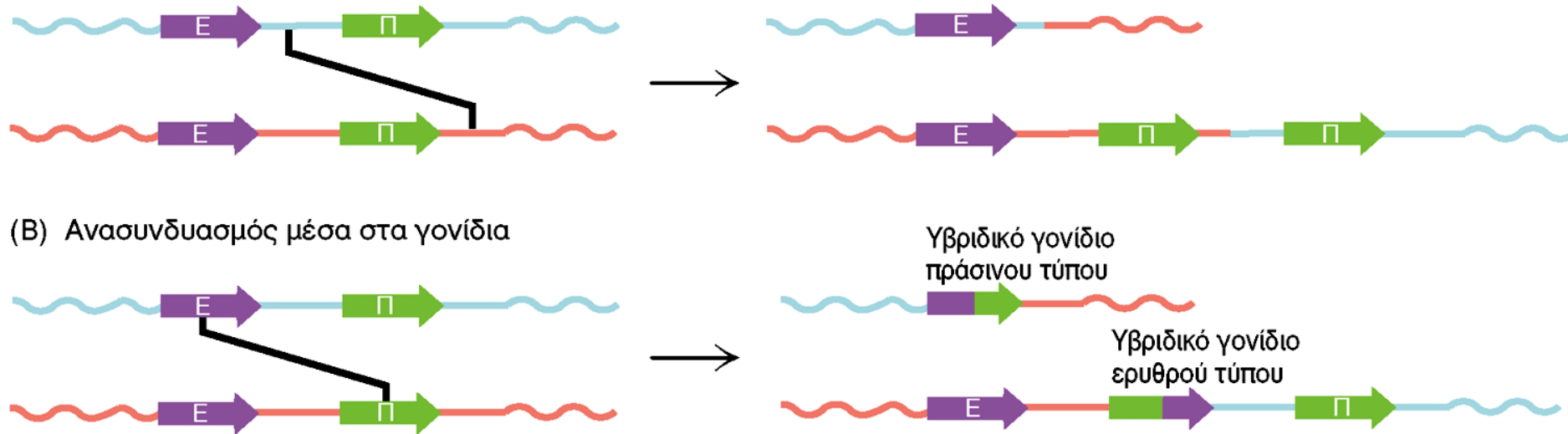
Μεταλλάξεις σε συγκεκριμένα αμινοξέα οδηγούν σε αλλαγή του μήκους κύματος απορρόφησης (ανίχνευσης) από τον **υποδοχέα**



ΕΙΚΟΝΑ 32.27 Σύγκριση της αλληλουχίας αμινοξέων των φωτοϋποδοχέων για το πράσινο και το ερυθρό. Οι ανοιχτοί κύκλοι αντιστοιχούν στα ταυτόσημα κατάλοιπα, ενώ, οι έγχρωμοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν κατάλοιπα που είναι διαφορετικά. Οι διαφορές στις τρεις μαύρες θέσεις είναι υπεύθυνες για τις περισσότερες από τις διαφορές των δύο τύπων φωτοϋποδοχέων στα φάσματα απορρόφησής τους.

Επαναδιατάξεις στα γονίδια για την πράσινη και την ερυθρή χρωστική οδηγούν σε αχρωματοψία

Γονίδια ταυτόσημα κατά 98% σε νουκλεοτιδικές αλληλουχίες είναι επιδεκτικές σε ομόλογο ανασυνδιασμό



ΕΙΚΟΝΑ 32.29 Πορείες ανασυνδιασμού που οδηγούν στην αχρωματοψία. Αναδιατάξεις στην πορεία διπλασιασμού του DNA μπορούν να οδηγήσουν (A) στην απώλεια γονιδίων για τις οπτικές χρωστικές ή (B) στον σχηματισμό υβριδικών γονιδίων χρωστικών που κωδικεύουν φωτοϋποδεκτικά μόρια με ανώμαλο φάσμα απορρόφησης. Επειδή τα αμινοξέα που είναι πιο σημαντικά για τον καθορισμό του φάσματος απορρόφησης βρίσκονται στο καρβοξυ-τελικό ήμισυ κάθε φωτοϋποδεκτικής πρωτεΐνης, το τμήμα του γονιδίου που κωδικεύει την περιοχή αυτή επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά απορρόφησης των υβριδικών υποδοχέων. [Προσαρμοσμένο από J. Nathans. *Neuron* 24 (1999): 329-312, με την άδεια του Cell Press.]

Σύμφωνα με το παραπάνω σενάριο 2% περίπου των χρωμοσωμάτων X του ανθρώπου έχουν ένα μόνο γονίδιο για έγχρωμη χρωστική, 20% έχουν δύο, 50% έχουν τρία, το 20% έχουν τέσσερα και το 5% έχουν πέντε ή περισσότερα

Ένθετο

Οι άνθρωποι έχουν 3 ειδών κωνιοφόρα κύτταρα, γεγονός που τους επιτρέπει να αντιλαμβάνονται κόκκινο, κίτρινο, μπλέ και τους συνδυασμούς τους, αντίθετα με τους σκύλους (και τις γάτες), οι οποίοι έχουν 2 τέτοιους φωτοϋποδοχείς. Έτσι, βλέπουν μπλέ και κίτρινο, και τους συνδυασμούς τους.



Πως οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τα χρώματα



Πως οι σκύλοι αντιλαμβάνονται τα χρώματα