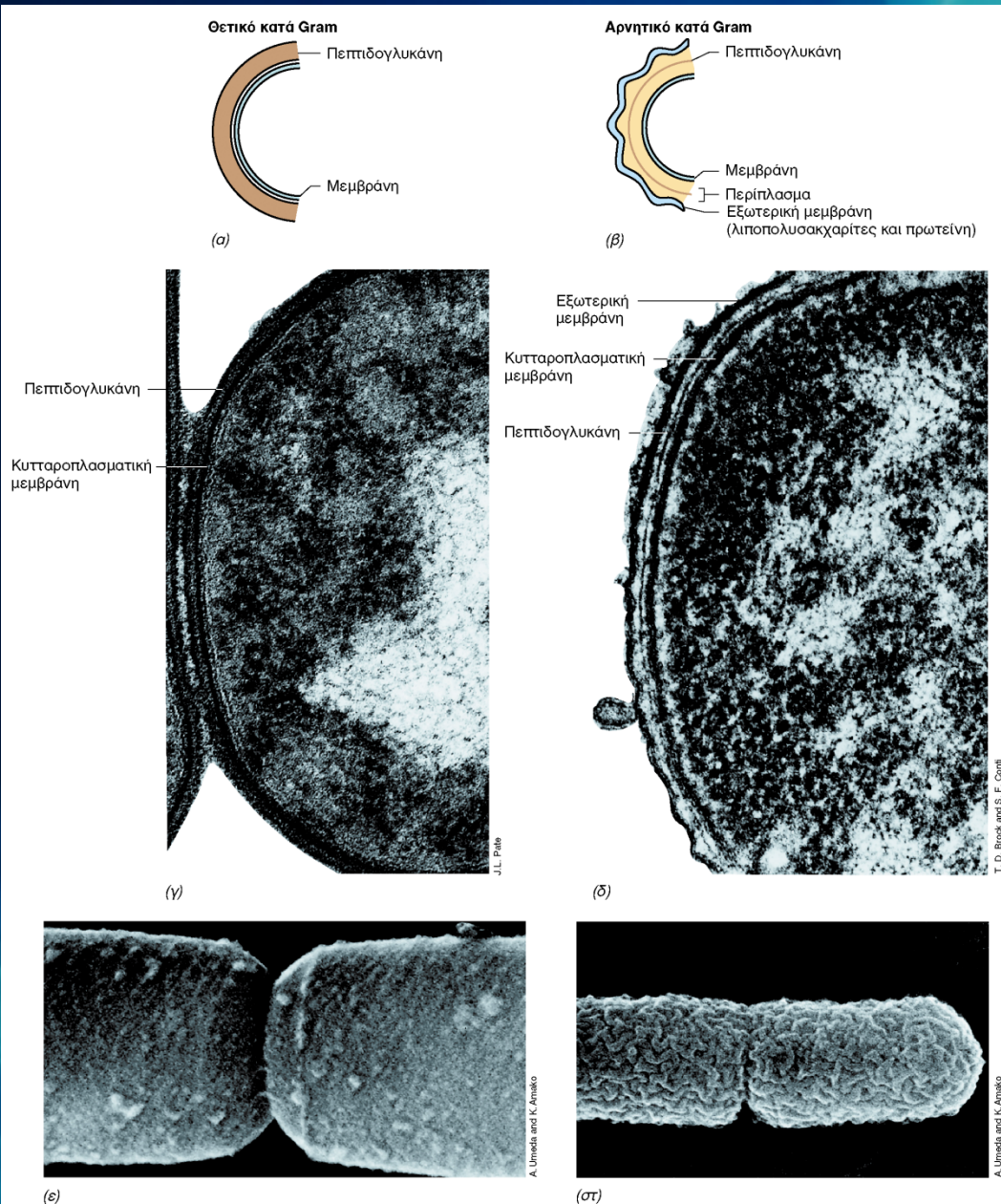


ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

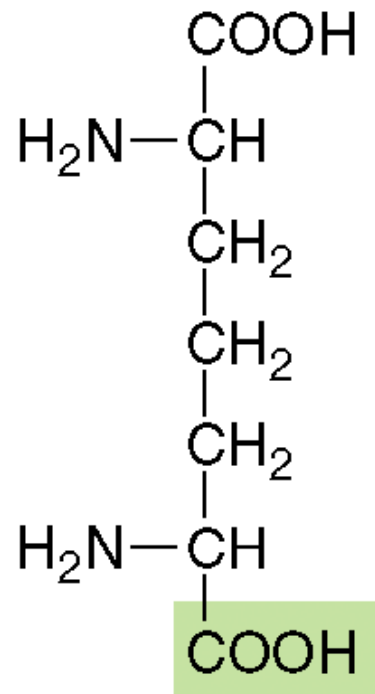
Γιώργος Τσιάμης

Επίκουρος Καθηγητής

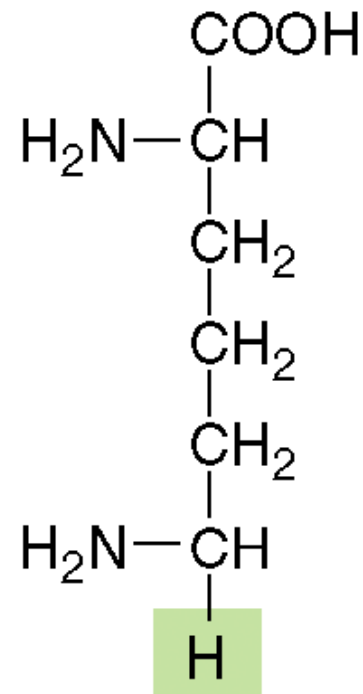
Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας



Εικόνα 4.28 Κυτταρικά τοιχώματα των βακτηρίων. (α, β) Σχεδιαγράμματα θετικών και αρνητικών κατά Gram κυτταρικών τοιχωμάτων. (γ) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα που δείχνει το κυτταρικό τοίχωμα ενός θετικού κατά Gram βακτηρίου, του *Arthrobacter crystallopoietes*. (δ) Ένα αρνητικό κατά Gram βακτήριο, το *Leucothrix mucor*. (ε, στ) Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα σάρωσης ενός βακτηρίου θετικού κατά Gram (*Bacillus subtilis*) και ενός αρνητικού κατά Gram (*Escherichia coli*). Παρατηρήστε την υφή επιφανείας στα κύτταρα των (ε) και (στ). Διάμετρος ενός κυττάρου *B. subtilis* ή *E. coli*: περί το 1 μm.

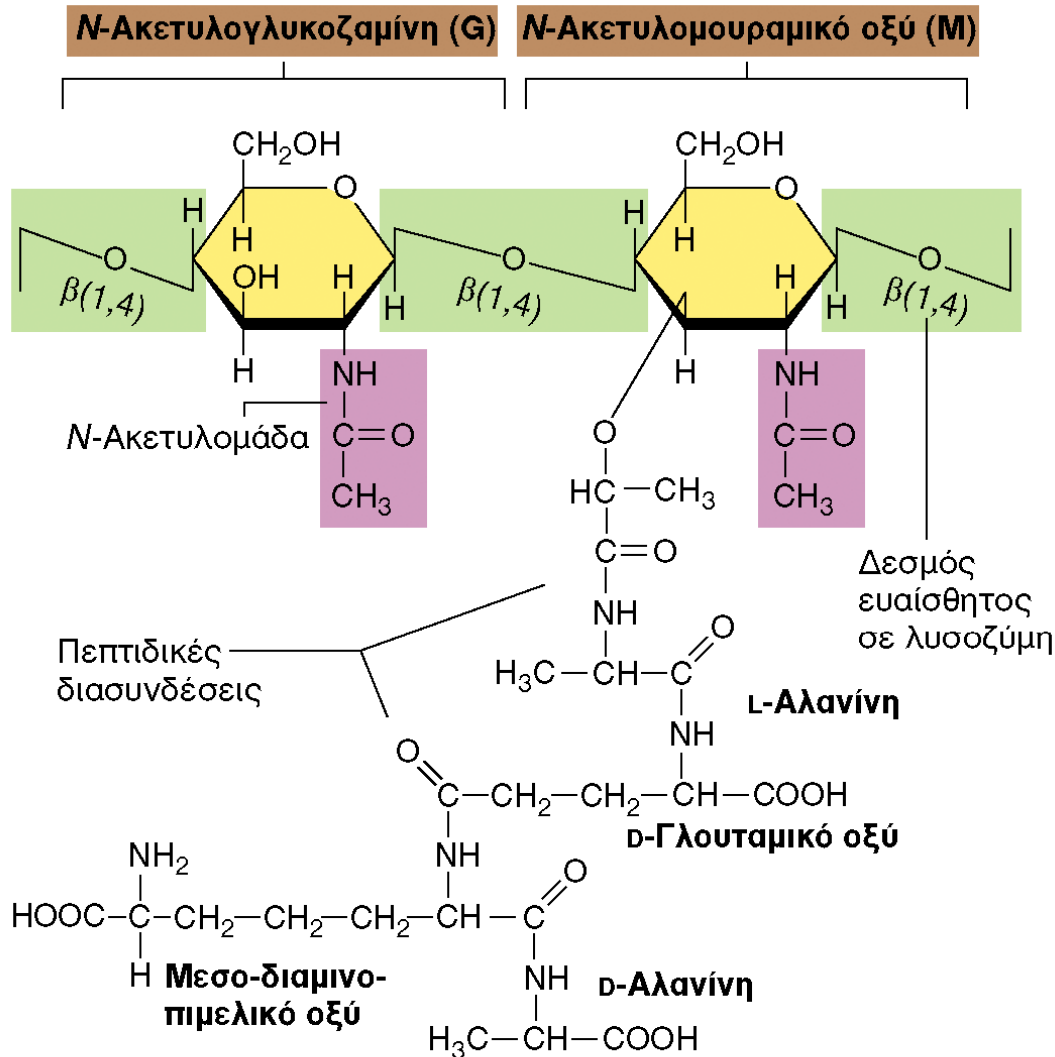


(a)

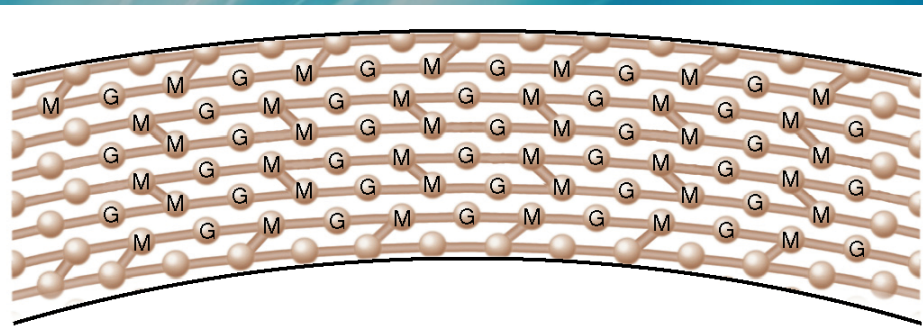
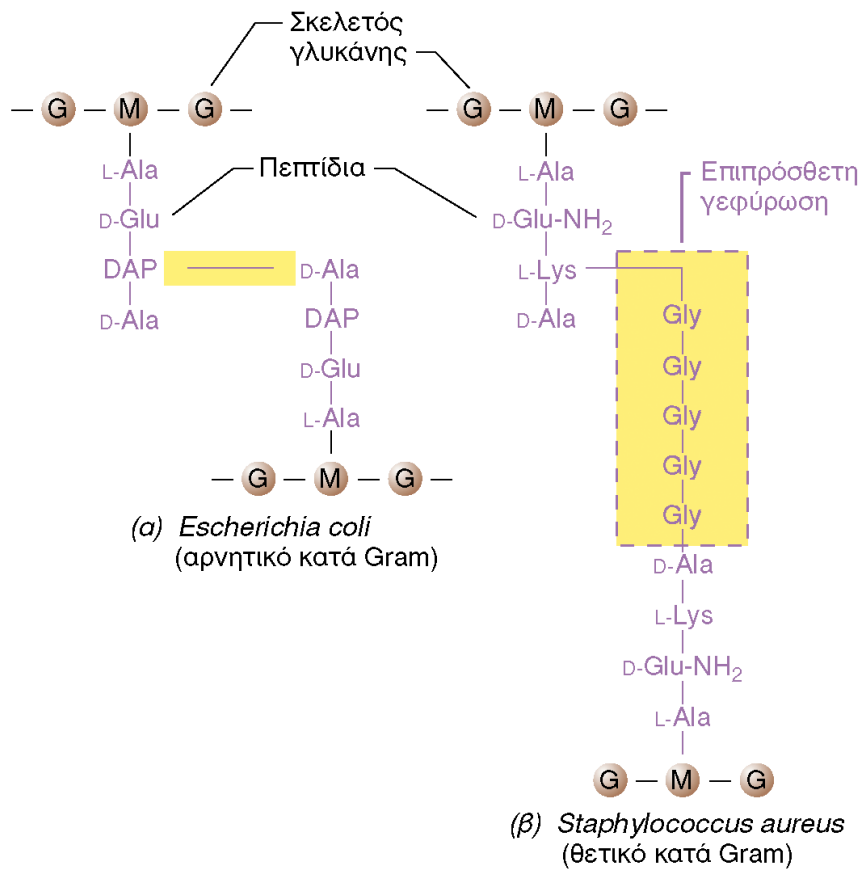


(β)

Εικόνα 4.29 (a) Διαμινοπιμελικό οξύ. (β) Λυσίνη. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο μορίων υποδεικνύεται με πράσινο χρώμα.

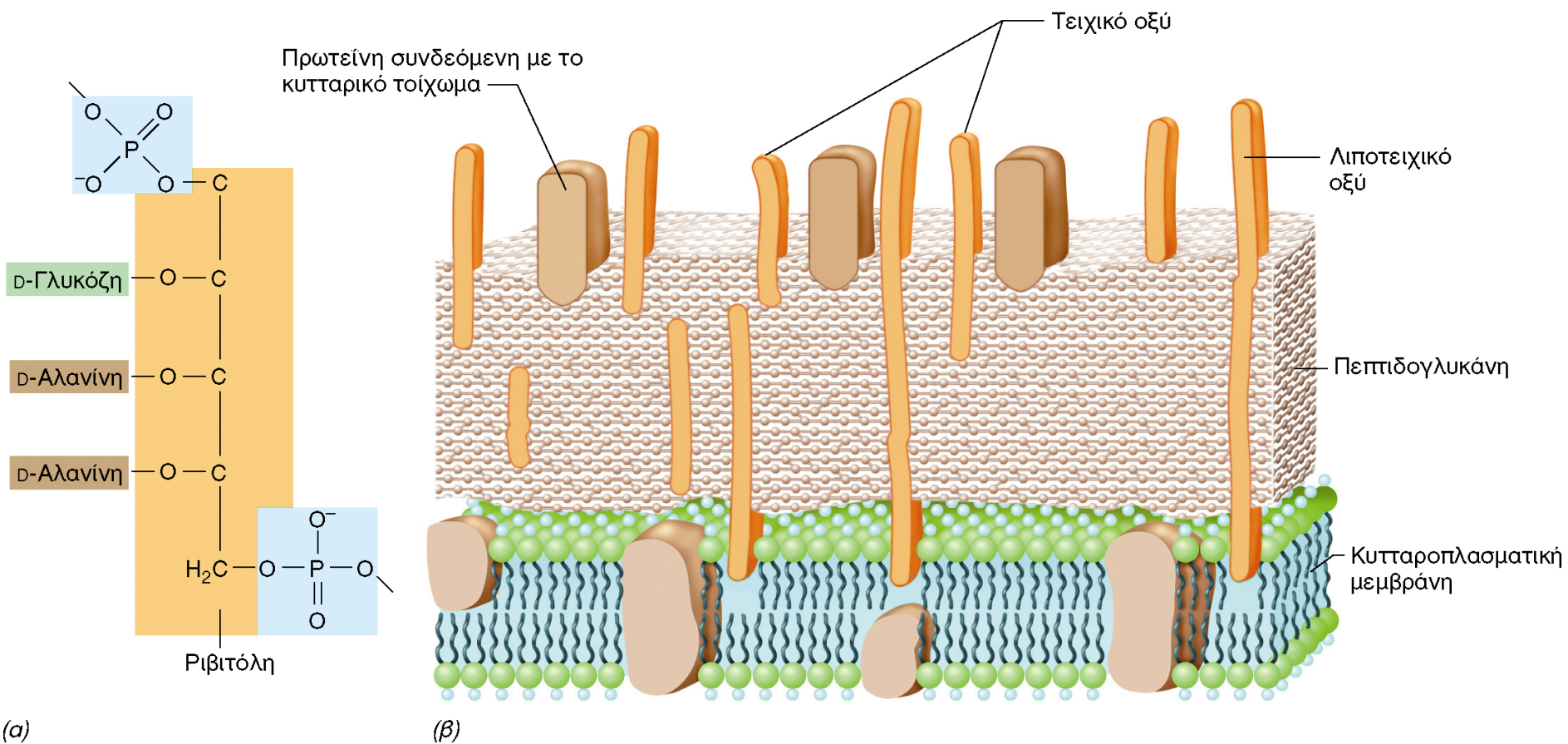


Εικόνα 4.30 Δομή του τετραπεπτιδίου γλυκάνης, μιας από τις επαναλαμβανόμενες μονάδες πεπτιδογλυκάνης στο βακτηριακό κυτταρικό τοίχωμα. Η ανωτέρω δομή απαντά στην *Escherichia coli* και, γενικότερα, στα περισσότερα αρνητικά κατά Gram βακτήρια. Υπάρχουν επίσης ορισμένα Βακτήρια στα οποία απαντούν διαφορετικά αμινοξέα.

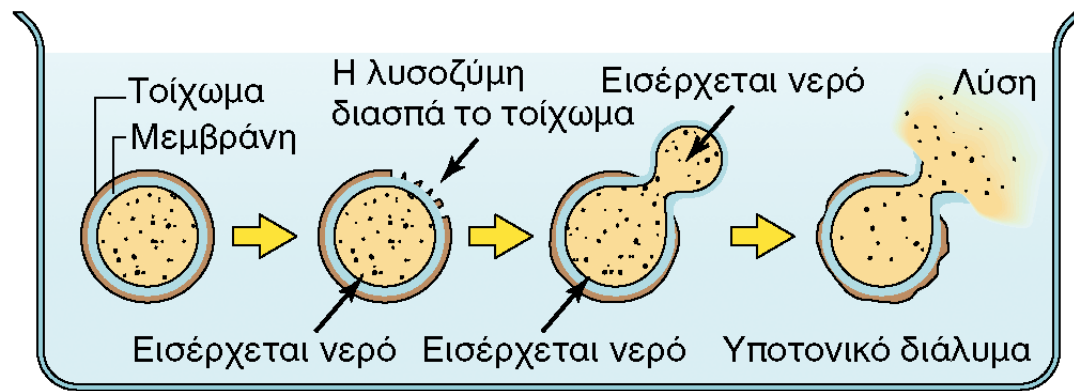


(γ)

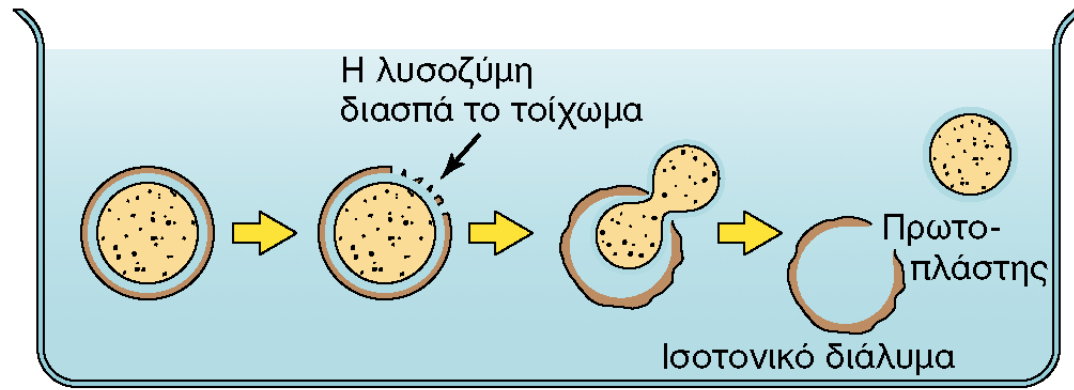
Εικόνα 4.31 Τρόποι συνδυασμού των μονάδων πεπτιδίων και γλυκάνης κατά τον σχηματισμό του στρώματος της πεπτιδογλυκάνης. (α) Χωρίς πρόσθετες γεφυρώσεις (στα αρνητικά κατά Gram βακτήρια). (β) Με πρόσθετες γεφυρώσεις γλυκινών (στο θετικό κατά Gram βακτήριο *Staphylococcus aureus*). (γ) Συνολική εικόνα της δομής της πεπτιδογλυκάνης. Το διάγραμμα απεικονίζει διαδοχικές στρώσεις πεπτιδογλυκάνης διασυνδεδεμένες μεταξύ τους. Η πλήρης στιβάδα της πεπτιδογλυκάνης αποτελεί μια συνεχή περιοχή τέτοιων στρώσεων που περικλείει, στον τρισδιάστατο χώρο, το (κυλινδρικό ή σφαιρικό) κύτταρο. G, *N*-ακετυλογλυκοζαμίνη· M, *N*-ακετυλομουραμικό οξύ.



Εικόνα 4.32 Τειχικά οξέα και συνολική δομή του θετικού κατά Gram κυτταρικού τοιχώματος. (α) Δομή του τειχικού οξέος ριβιτόλη του *Bacillus subtilis*. Το τειχικό οξύ είναι ένα πολυμερές αποτελούμενο από τις επαναλαμβανόμενες μονάδες ριβιτόλης, που απεικονίζονται εδώ. (β) Συνοπτικό διάγραμμα της δομής του τοιχώματος.

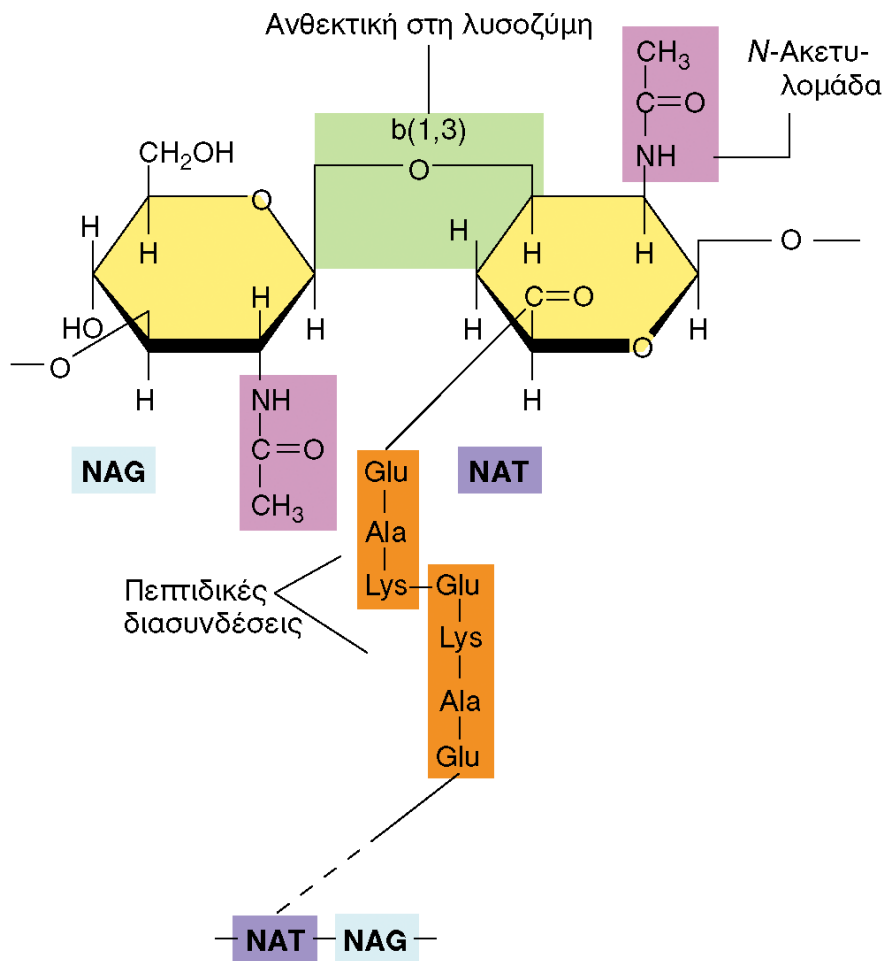


(α)

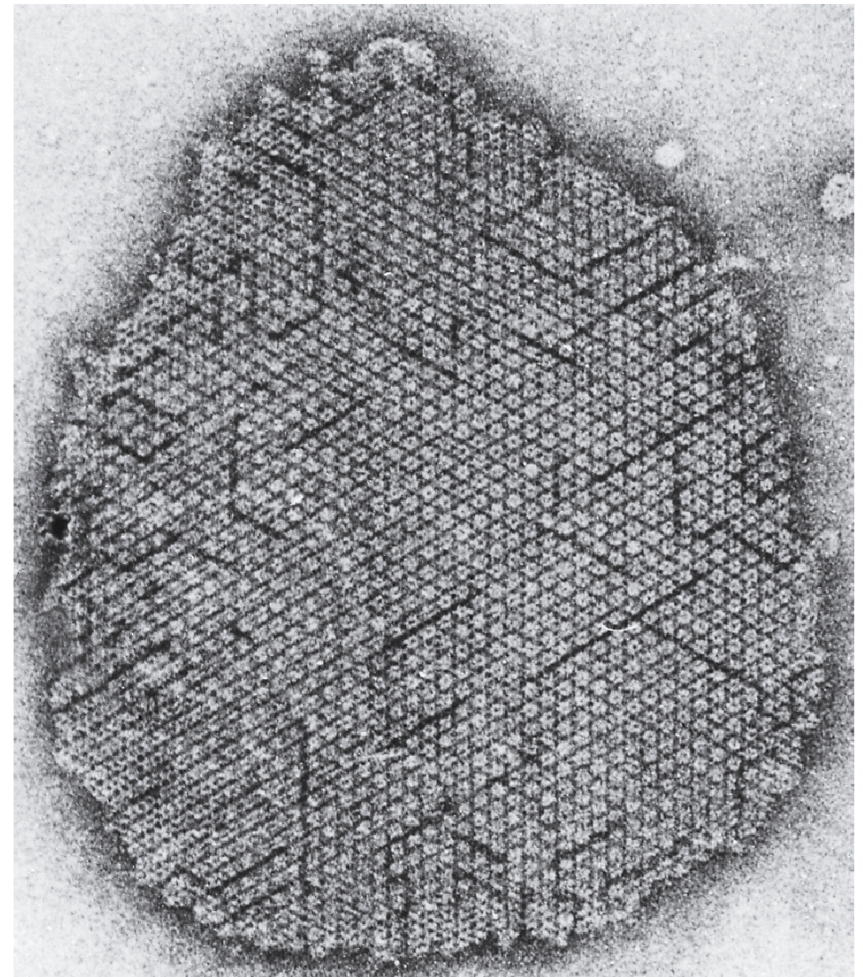


(β)

Εικόνα 4.33 Πρωτοπλάστες. (α) Σε αραιό διάλυμα, η λύση του κυτταρικού τοιχώματος απελευθερώνει τον πρωτοπλάστη, ο οποίος όμως λύεται αμέσως επειδή η κυτταροπλασματική μεμβράνη είναι πολύ ευπαθής. (β) Σε διάλυμα που περιέχει ισοτονική συγκέντρωση μιας διαλυμένης ουσίας όπως η σακχαρόζη, το νερό δεν μπορεί να εισέλθει και ο πρωτοπλάστης παραμένει αδιάρρηκτος. Η λυσοζύμη διασπά τους β-1,4-γλυκοζιτικούς δεσμούς της πεπτιδογλυκάνης (βλ. Εικόνα 4.30).



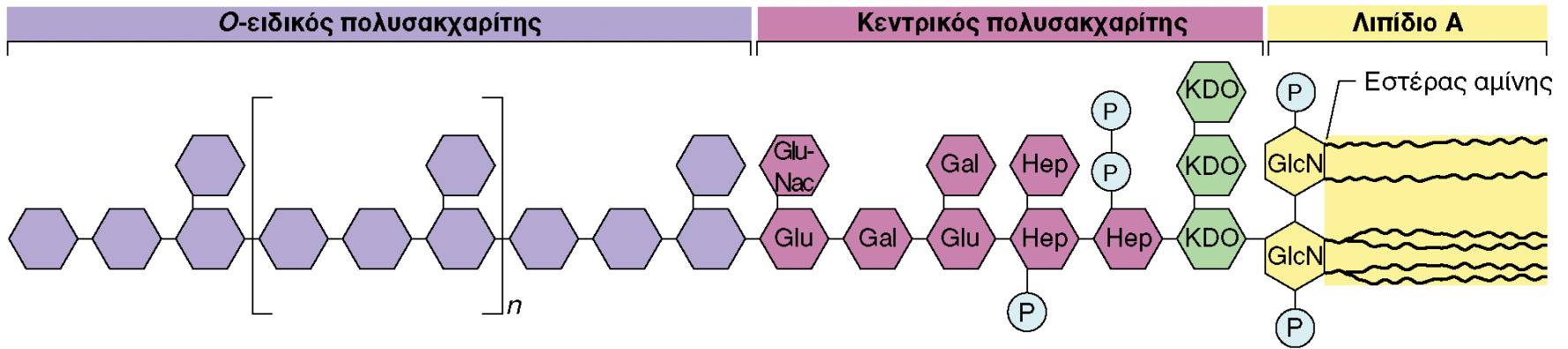
(α)



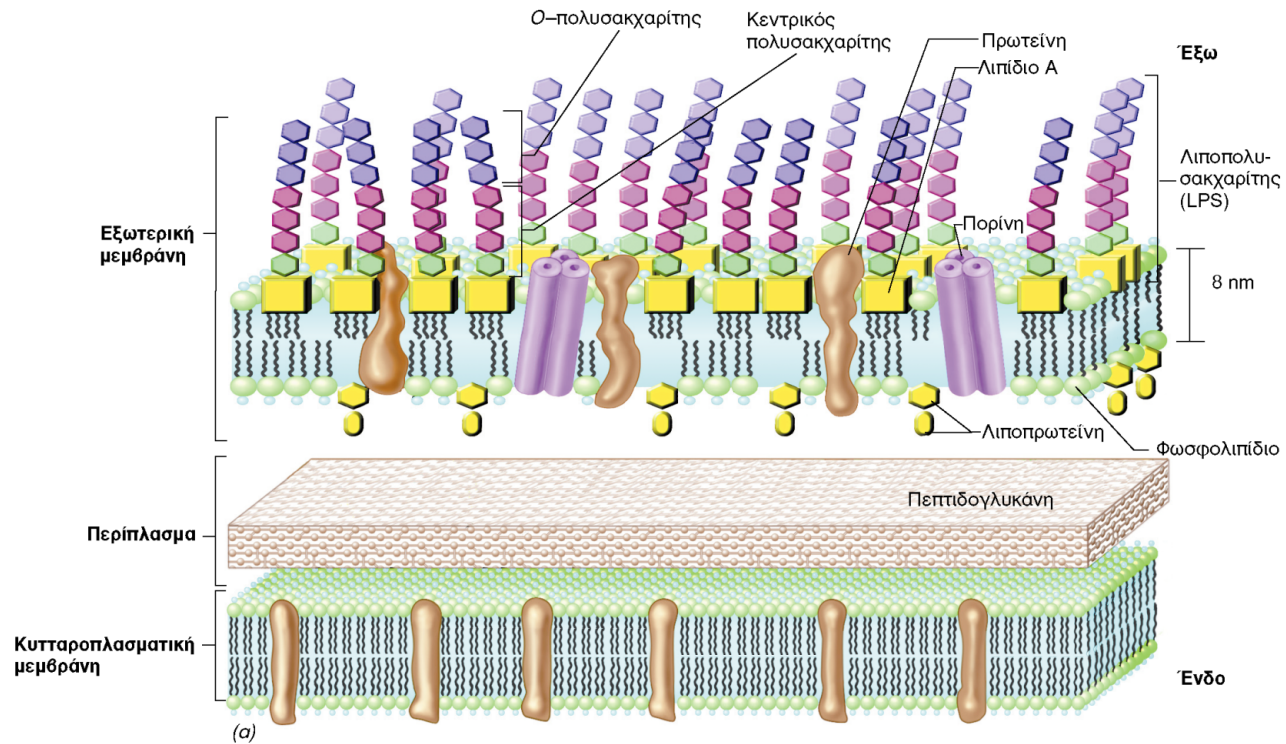
(β)

Susan F. Koval

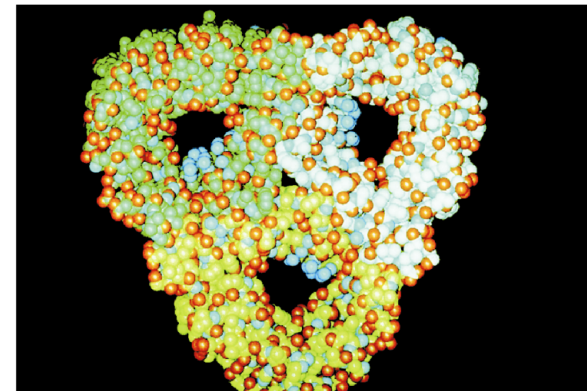
Εικόνα 4.34 Ψευδοπεπτιδογλυκάνη και σιβάδες *S.* (α) Δομή της ψευδοπεπτιδογλυκάνης, πολυμερούς του κυτταρικού τοιχώματος διαφόρων ειδών του *Methanobacterium*. Παρατηρήστε την ομοιότητα με τη δομή πεπτιδογλυκάνης της Εικόνας 4.30, ιδιαίτερα ως προς τις πεπτιδικές διασυνδέσεις, οι οποίες εδώ διασυνδέουν ομάδες Ν-ακετυλοσαλοζαμινοουρονικού (NAT) και όχι μουραμικού οξέος. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα διέλευσης ενός τμήματος σιβάδας *S.*, που δείχνει την παρακρυσταλλική φύση αυτής της σιβάδας κυτταρικού τοιχώματος. Η εικονιζόμενη σιβάδα *S* ανήκει στον προκαρυωτικό οργανισμό *Aquaspirillum serpens* (είδος Βακτηρίου) και εμφανίζει, όπως και πολλές σιβάδες *S* των Αρχαίων, εξαγωνική συμμετρία.



Εικόνα 4.35 Δομή του λιποπολυσακχαρίτη (LPS) των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων. Η ακριβής χημεία του λιπιδίου A και των πολυσακχαριτικών συστατικών διαφέρει στα διάφορα είδη των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων, αλλά η σειρά σύνδεσης των κύριων ομάδων (λιπίδιο A-KDO-κεντρικός πολυσακχαρίτης-O-ειδικός πολυσακχαρίτης) παραμένει η ίδια. KDO, κετοδεοξυοκτονικό· Hep, επτόζη· Glu, γλυκόζη· Gal, γαλακτόζη· GluNac, N-ακετυλογλυκοζαμίνη· GlcN, γλυκοζαμίνη· P, φωσφορικό. Η γλυκοζαμίνη και τα λιπαρά οξέα του λιπιδίου A συνδέονται μεταξύ τους με αμινο-εστερικό δεσμό. Το τμήμα λιπιδίου A του LPS αποτελεί το λεγόμενο *σύμπλεγμα ενδοτοξίνης* το οποίο μπορεί να είναι τοξικό για τα ζώα (🦠 Τμήμα 21.12). Συγκρίνετε, επίσης, την Εικόνα 4.35 με τις Εικόνες 4.36 και 4.37, και προσέξτε ότι ο χρωματικός κώδικας που αποδίδει τη σειρά των τμημάτων του LPS είναι ίδιος στις Εικόνες 4.35 και 4.36.

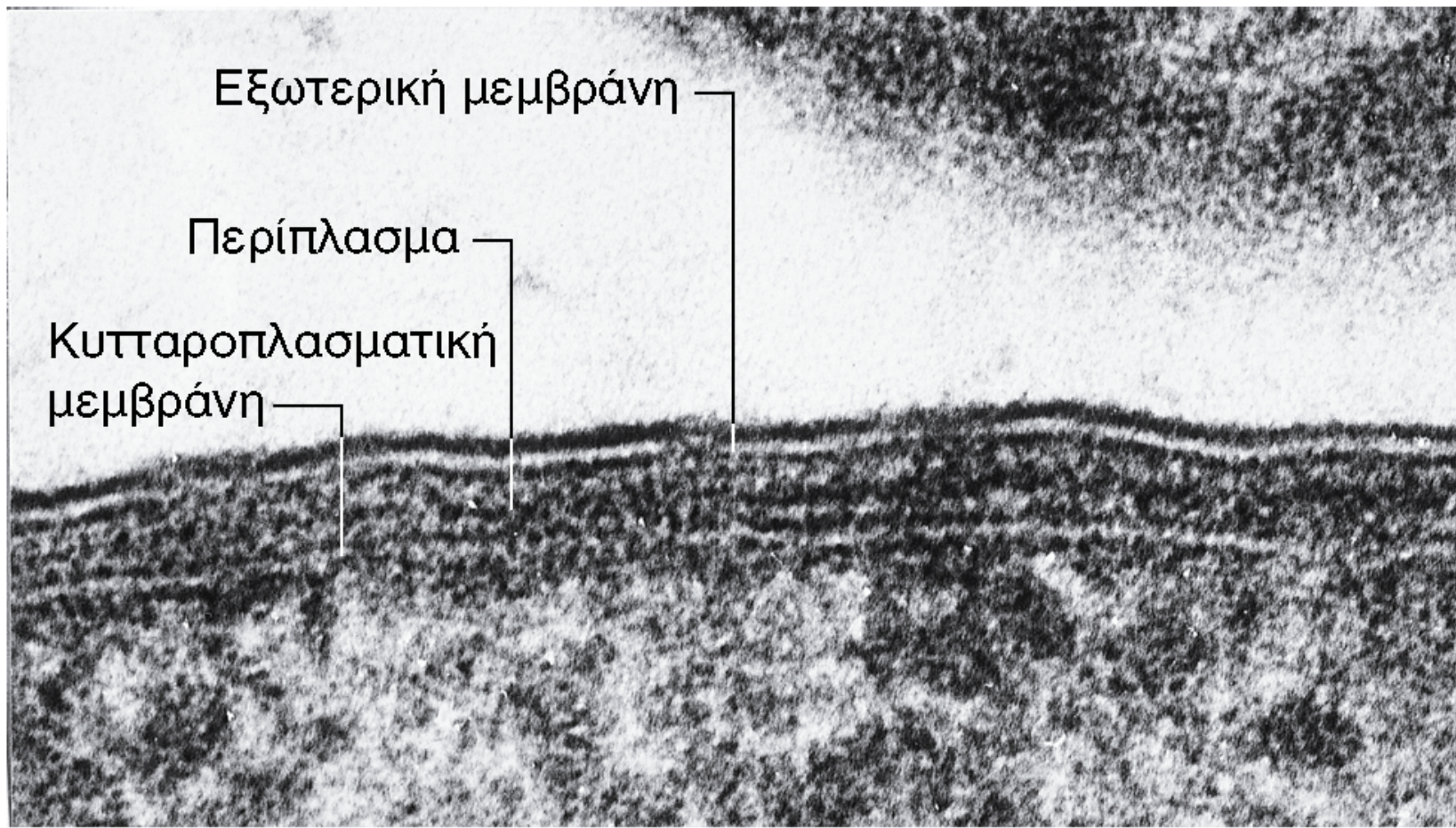


Εικόνα 4.36 Το αρνητικό κατά Gram κυτταρικό τοίχωμα. Αν και συχνά αποκαλείται η «δεύτερη λιπδική διπλοστιβάδα», η χημεία και η αρχιτεκτονική της εξωτερικής μεμβράνης διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες της κυτταροπλασματικής μεμβράνης. (α) Διάταξη λιποπολυσακχαρίτη, λιπιδίου Α, φωσφολιπιδίων, πορινών, και λιποπρωτεϊνών στην εξωτερική μεμβράνη. (Για λεπτομέρειες της δομής του LPS, βλ. Εικόνα 4.35). Το λιπίδιο Α μπορεί να είναι τοξικό για τον άνθρωπο, οπότε αναφέρεται ως ενδοτοξίνη (🦠 Τμήμα 21.12). (β) Μοριακό μοντέλο πορίνης. Παρατηρήστε την ύπαρξη τριών πόρων που κάθε ένας σχηματίζεται από ένα μόριο πορίνης. Η όψη που βλέπουμε είναι κάθετη προς το επίπεδο της μεμβράνης, ενώ το μοντέλο βασίζεται στην ανάλυση περιθλασιογράμματος ακτίνων Χ της πορίνης του *Rhodobacter blasticus*.

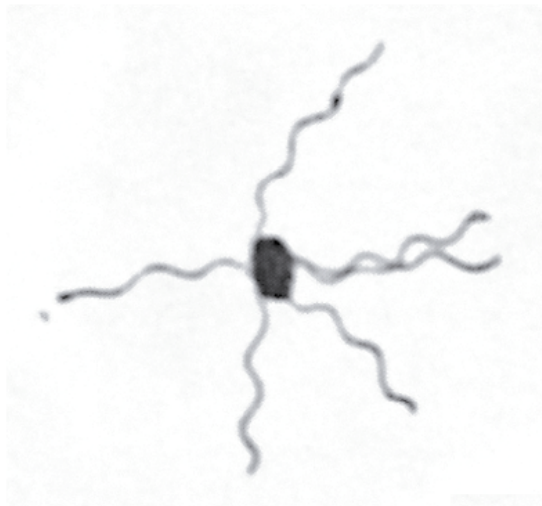


(β)

Georg E. Schulz



Εικόνα 4.37 Λεπτή τομή του κυτταρικού φακέλου της *Escherichia coli*, υπό μεγάλη μεγέθυνση, όπου φαίνεται το πήκτωμα του περιπλάσματος, μεταξύ κυτταροπλασματικής και εξωτερικής μεμβράνης. Τα μεγάλα, σκοτεινά σωματίδια στο κυτταρόπλασμα είναι ριβοσώματα.



(a)



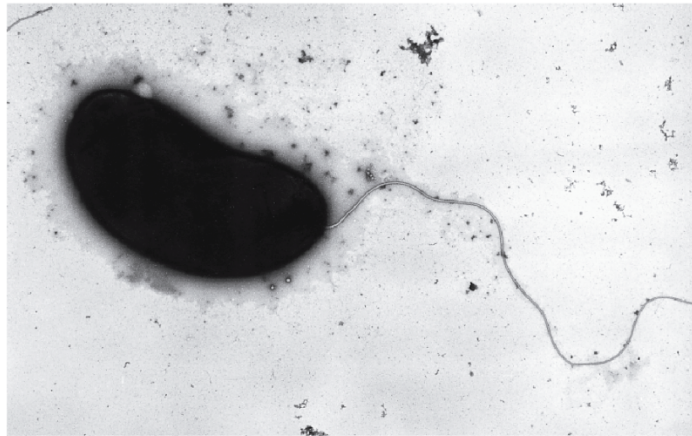
(β)



(γ)

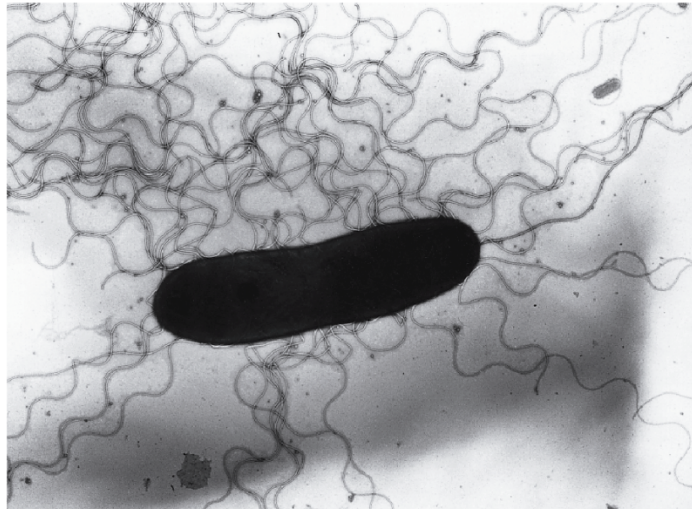
E. Leifson

Εικόνα 4.38 Μικροφωτογραφίες βακτηρίων με διάφορες διατάξεις μαστιγίων. Τα κύτταρα είναι χρωσμένα με ειδική χρωστική (Leifson flagella stain). (a) Περίτριχος τύπος. (β) Πολικός τύπος. (γ) Λοφιότριχος τύπος.



Carl E. Bauer

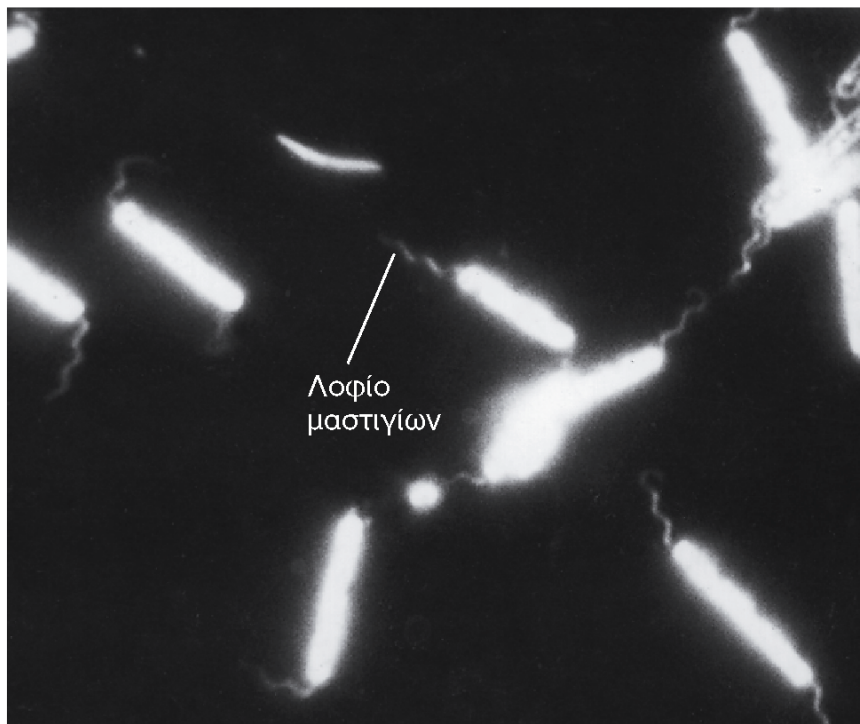
(a)



Carl E. Bauer

(β)

Εικόνα 4.39 Βακτηριακά μαστίγια παρατηρούμενα με αρνητική χρώση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης. (α) Πολικά μαστίγια. (β) Περίτριχα μαστίγια. Και τα δύο είναι μικρογραφήματα από κύτταρα του φωτοτροφικού βακτηρίου *Rhodospirillum centenum*. Κανονικά, τα κύτταρα του *R. centenum* έχουν πολική μαστιγοφορία (α), αλλά υπό ορισμένες συνθήκες αύξησης μπορεί να σχηματίζουν περίτριχο τύπο μαστιγοφορίας (β). Βλ. επίσης Εικόνα 4.48β.



R. Jarosch

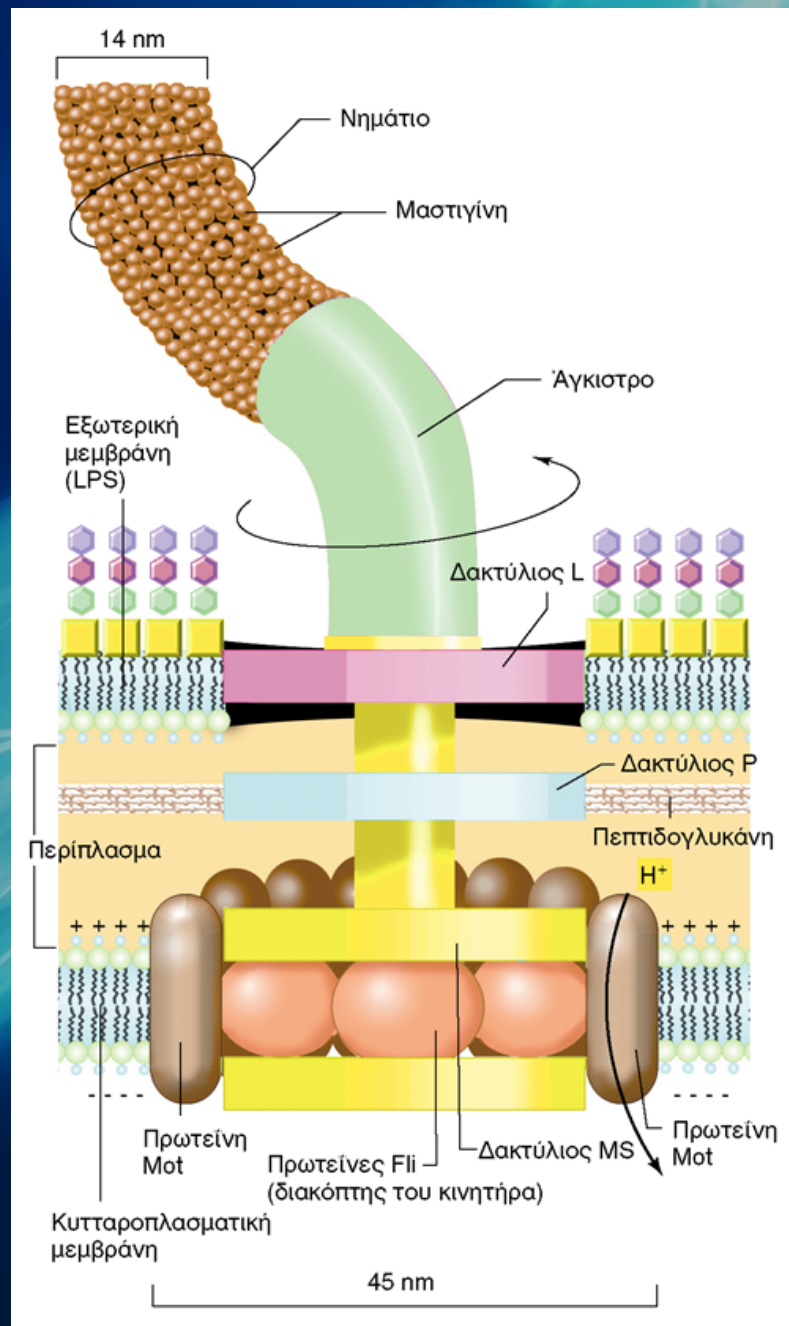
(a)

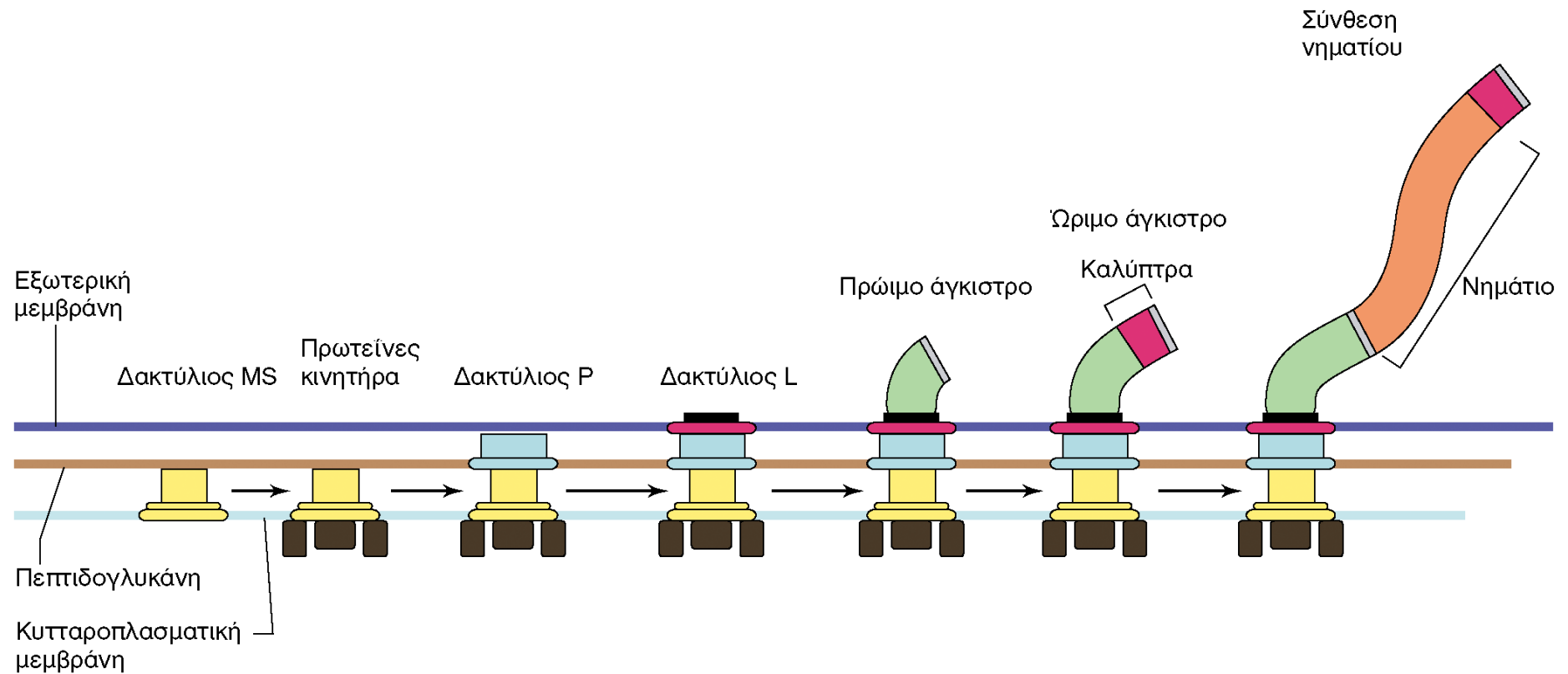


Norbert Pfennig

(β)

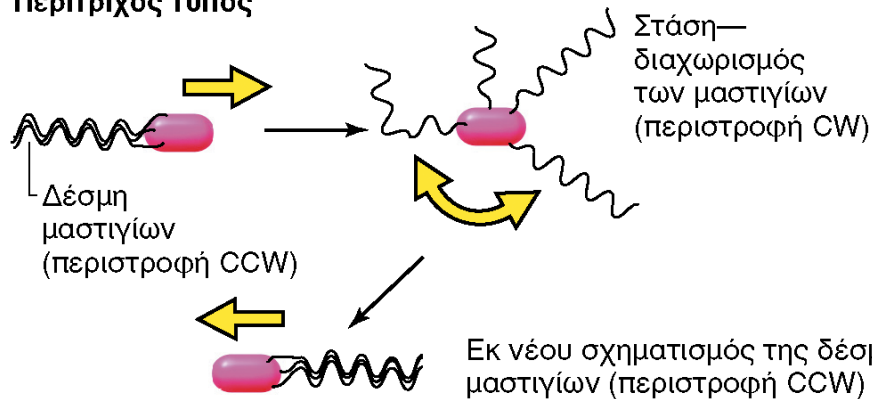
Εικόνα 4.40 Βακτηριακά μαστίγια, παρατηρούμενα σε ζώντα κύτταρα. (α) Μικροφωτογραφία σκοτεινού πεδίου μιας ομάδας μεγάλων, ραβδόσχημων βακτηρίων με λοφία μαστιγίων σε κάθε πόλο. Πλάτος κάθε κυττάρου: περί τα 2 μm . Η μικροσκοπία σκοτεινού πεδίου χρησιμοποιεί οριζόντιο φωτισμό για να παράγει ανακλώμενο φως (βλ. Τμήμα 4.1 και Εικόνα 4.5γ). (β) Μικροφωτογραφία αντίθεσης φάσεων του μεγάλου πορφυρού φωτοτροφικού βακτηρίου *Rhodospirillum rubrum*. Διαστάσεις κάθε κυττάρου: 3 \times 30 μm . Παρατηρήστε τα λοφιότριχα μαστίγια που προεξέχουν από τον έναν πόλο.



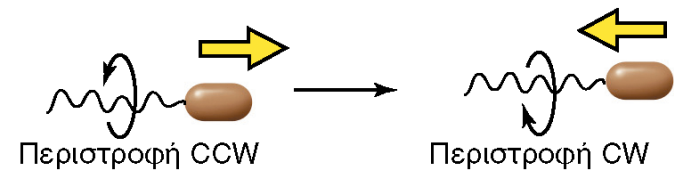


Εικόνα 4.42 Σύνοψη των σταδίων βιοσύνθεσης των μαστιγίων. Η σύνθεση εκκινεί με τη συγκρότηση του δακτυλίου MS στη μεμβράνη και συνεχίζεται με τον σχηματισμό των άλλων δακτυλίων, του άγκιστρου και της καλύπτρας. Στο σημείο αυτό, μόρια μαστιγίνης αρχίζουν να διαχέονται μέσω του άγκιστρου, για να σχηματίσουν το νημάτιο (απαιτούνται περί τα 20.000 μόρια μαστιγίνης ανά νημάτιο). Για να διασφαλισθεί η ομοιόμορφη ανάπτυξη του νηματίου, τα μόρια μαστιγίνης καθοδηγούνται στην ορθή τελική θέση τους από πρωτεΐνες της καλύπτρας.

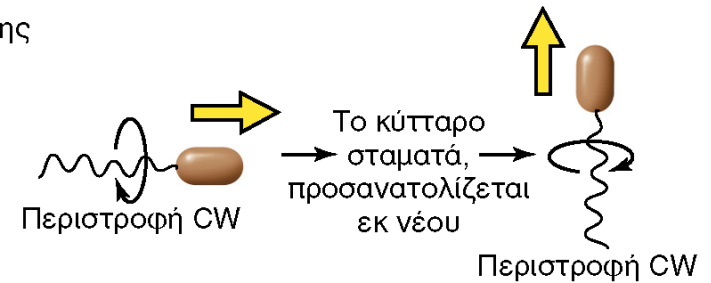
(α) Περίτριχος τύπος



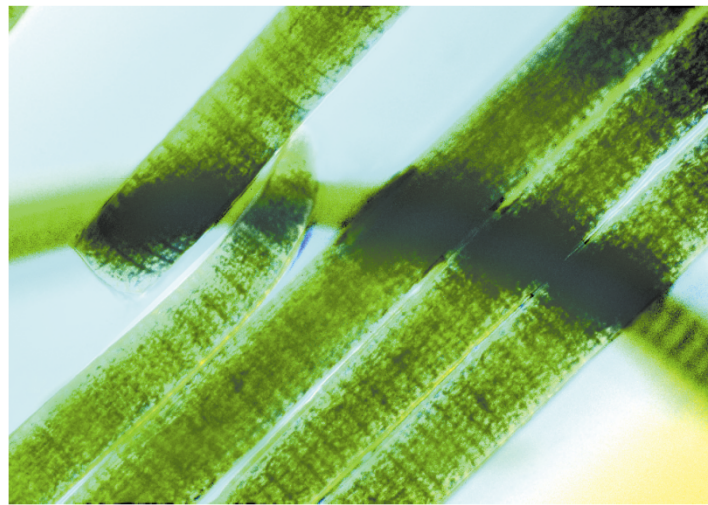
(β) Πολικός τύπος: αντιστρέψιμα μαστίγια



Πολικός τύπος: μαστίγια μονής κατεύθυνσης

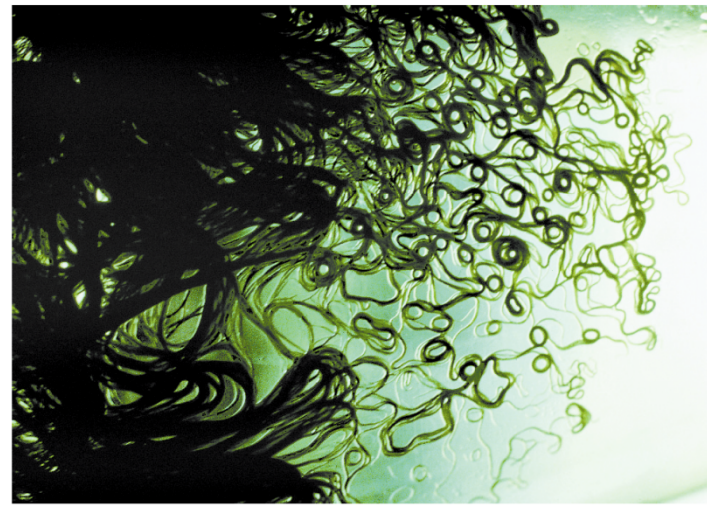


Εικόνα 4.43 Τρόπος μετακίνησης σε προκαρυώτες με περίτριχη (α) και πολική (β) μαστιγοφορία. (α) Περίτριχος τύπος: Κίνηση προς τα εμπρός προσδίδεται με την ταυτόχρονη περιστροφή όλων των μαστιγίων, εν είδει δέσμης, αριστερόστροφα (counterclockwise, CCW). Η δεξιόστροφη περιστροφή (clockwise, CW) προκαλεί στάση του κυττάρου, ενώ επιστροφή κατά την αντίθετη φορά (CCW) οδηγεί το κύτταρο προς μια νέα κατεύθυνση. (β) Πολικός τύπος: Τα κύτταρα αλλάζουν κατεύθυνση αντιστρέφοντας την περιστροφή των μαστιγίων τους (ώστε να σύρουν, αντί να ωθούν το κύτταρο) ή, προκειμένου περί μαστιγίων μονής κατεύθυνσης, σταματώντας κατά περιόδους για να προσανατολισθούν εκ νέου και εν συνεχεία προχωρώντας προς τα εμπρός με δεξιόστροφη περιστροφή των μαστιγίων τους (CW). Η κατεύθυνση κίνησης υποδηλώνεται με κίτρινα βέλη.



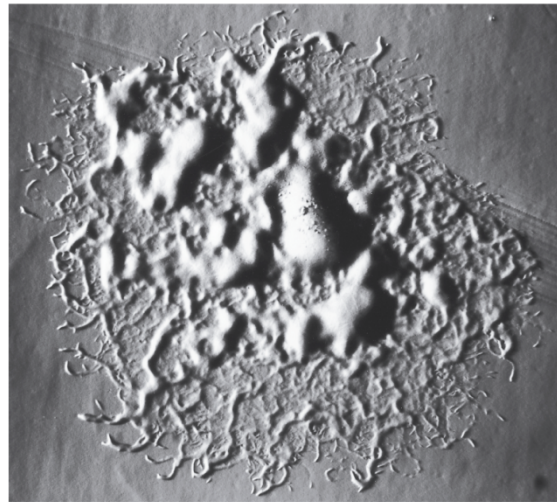
Richard W. Castenholz

(α)



Richard W. Castenholz

(β)



Mark J. McBride

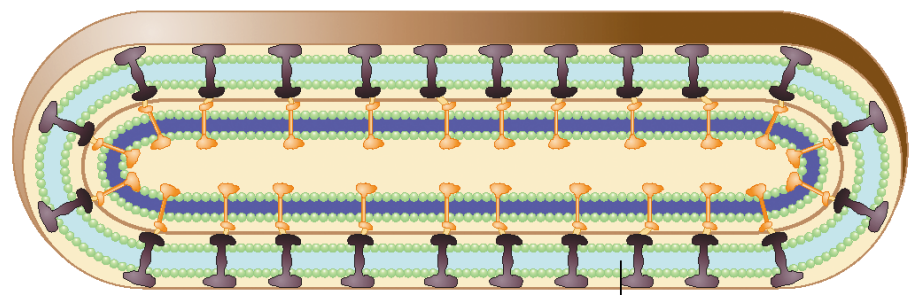
(γ)



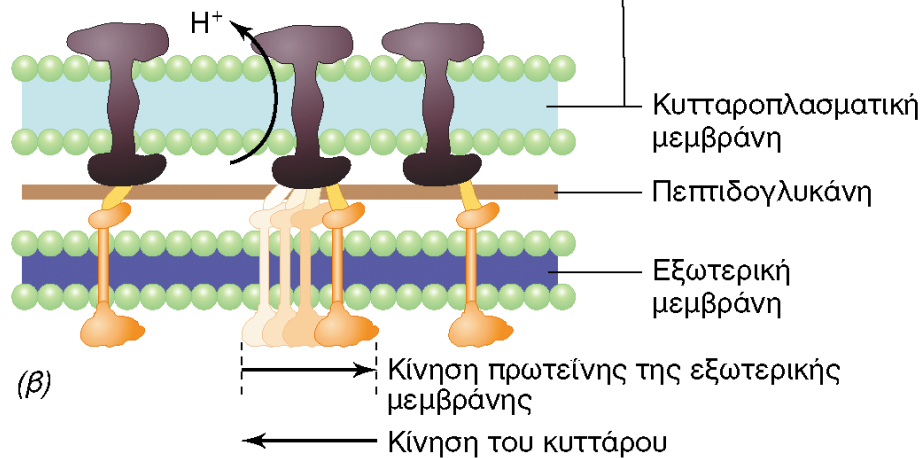
Mark J. McBride

(δ)

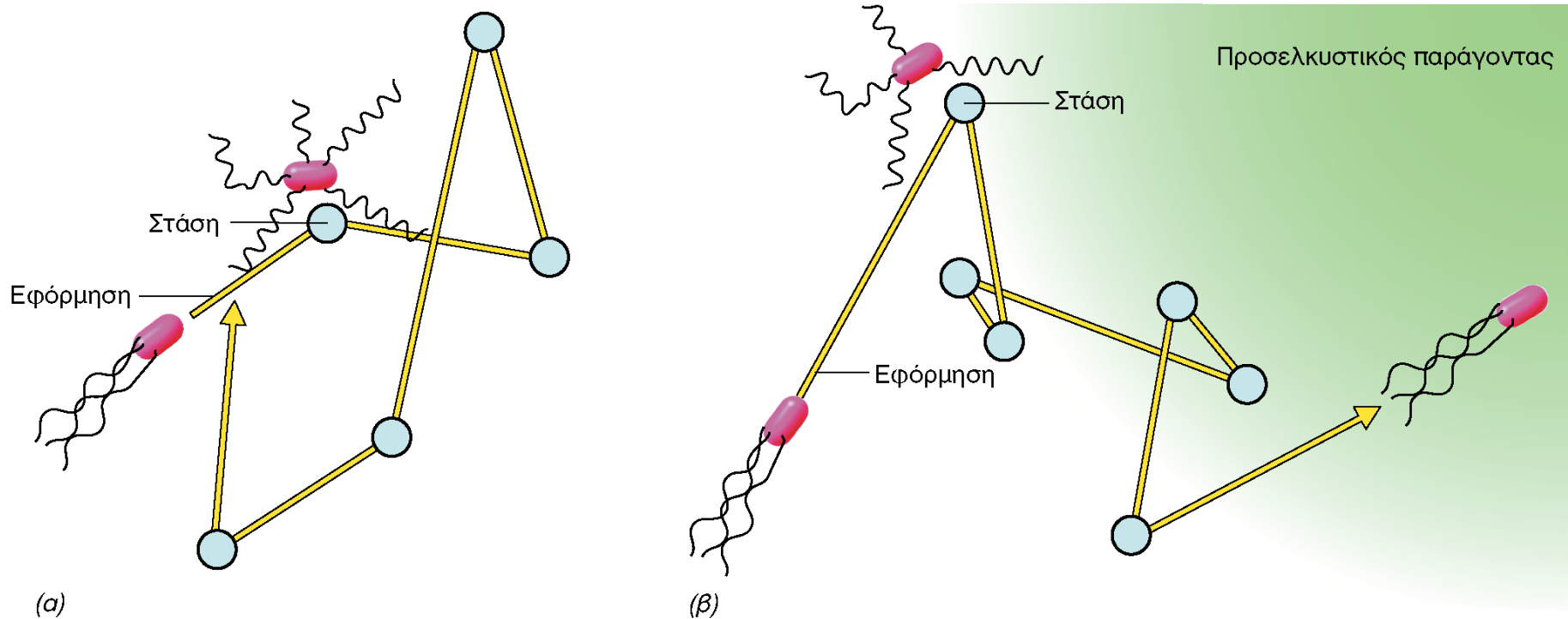
Εικόνα 4.44 Ολισθητικά βακτήρια. (α, β) Το μεγάλο νηματοειδές κυανοβακτήριο *Oscillatoria princeps*. (α) Μικροφωτογραφία. Πλάτος κυττάρου: περί τα 35 μm. (β) Φωτογραφία νηματίων που ολισθαίνουν πάνω σε επιφάνεια από άγαρ. Τα κύτταρα μπορούν να κινούνται ολισθαίνοντας πάνω στη στερεή επιφάνεια, αλλά και ένα νημάτιο μπορεί να ολισθαίνει χρησιμοποιώντας ένα άλλο νημάτιο ως στερεή επιφάνεια. (γ, δ) Το αρνητικό κατά Gram ολισθητικό βακτήριο *Flavobacterium johnsoniae*. (γ) Μάζες κυττάρων που ολισθαίνουν απομακρυνόμενες από το κέντρο της αποικίας (πλάτος αποικίας: περί τα 2,7 mm). (δ) Μεταλλαγμένο στέλεχος που στερεΐται της ολισθητικής ικανότητας και εμφανίζει τυπική μορφολογία αποικιών μη ολισθητικών βακτηρίων (διάμετρος αποικιών: 0,7-1 mm). Σχετικά με τον προτεινόμενο μηχανισμό ολίσησης του *F. johnsoniae*, βλ. Εικόνα 4.45.



(a)



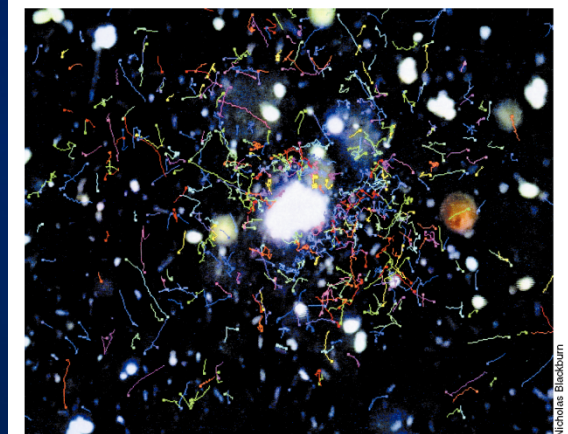
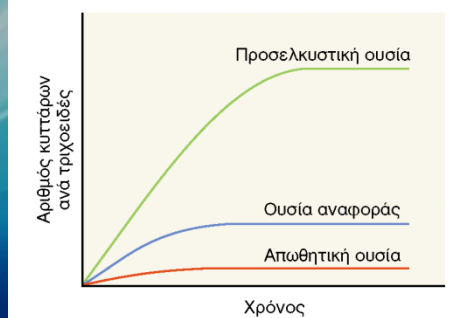
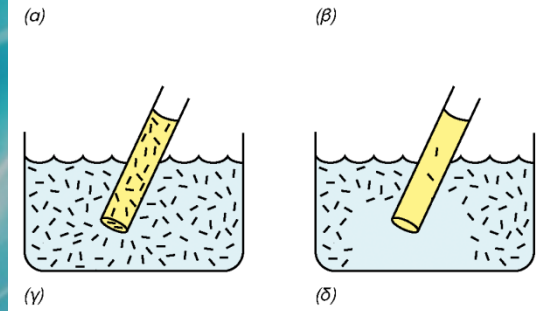
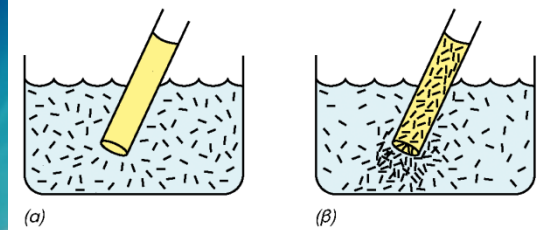
Εικόνα 4.45 Προτεινόμενο μοντέλο ολισθητικής κίνησης του *Flavobacterium johnsoniae* και ορισμένων άλλων ολισθητικών βακτηρίων (ευγενική προσφορά του Dr. Mark J. McBride). (α) Τομή αρνητικού κατά Gram κυττάρου που δείχνει ειδικές πρωτεΐνες ολίσθησης στην κυτταροπλασματική και στην εξωτερική μεμβράνη. (β) Λεπτομερής απεικόνιση μέρους της εικόνας (α). θεωρείται ότι η πεπτιδογλυκάνη σχηματίζει διαδρόμους (κίτρινο χρώμα) που συνδέουν πρωτεΐνες του κυτταροπλάσματος (καφέ χρώμα) με πρωτεΐνες της εξωτερικής μεμβράνης (πορτοκαλί χρώμα), ώστε να επιτευχθεί η προώθηση των εξωτερικών πρωτεϊνών κατά μήκος του στερεού υποστρώματος. Παρατηρήστε ότι η κατεύθυνση κίνησης του κυττάρου είναι αντίθετη από εκείνη των πρωτεϊνών της εξωτερικής μεμβράνης.



Εικόνα 4.46

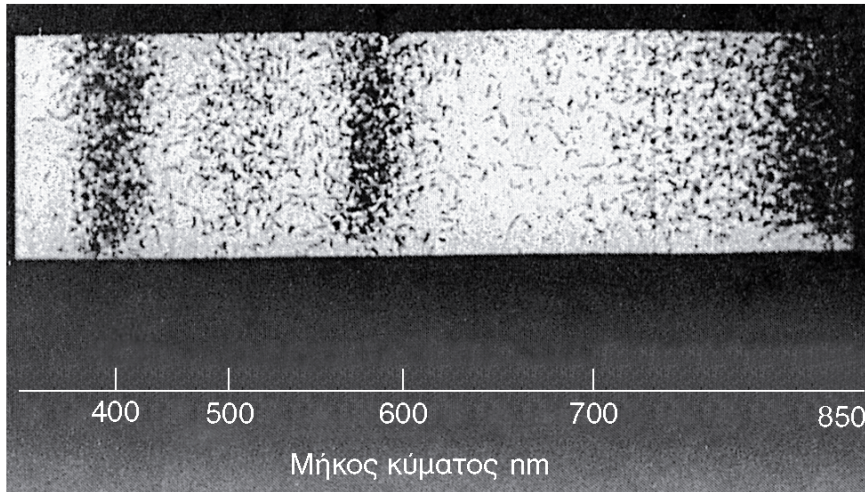
Χημειοτακτισμός σε ένα περίτριχο βακτήριο του τύπου της *Escherichia coli*. (α) Απουσία χημειοτακτικού παράγοντα, το κύτταρο κολυμπά χωρίς προσανατολισμό, αλλάζοντας κατεύθυνση μετά από κάθε στάση. (β) Παρουσία προσελκυστικής χημικής ουσίας, οι εφορμήσεις του κυττάρου αποκτούν προσανατολισμό και το κύτταρο κινείται προς την περιοχή αυξανόμενης διαβάθμισης συγκέντρωσης του προσελκυστικού παράγοντα.

Εικόνα 4.47 Χημειοτακτισμός. (α-ε) Τεχνικές μέτρησης του χημειοτακτισμού στα βακτήρια. (α) Εισαγωγή ενός τριχοειδούς σε εναιώρημα κυττάρων. Καθώς εισάγεται το τριχοειδές, αρχίζει ο σχηματισμός διαβάθμισης συγκέντρωσης. (β) Συνάθροιση βακτηρίων στο εσωτερικό τριχοειδούς που περιέχει προσελκυστική ουσία. (γ) Τριχοειδές αναφοράς με διάλυμα άλατος που δεν αποτελεί χημειοτακτικό παράγοντα. Οι συγκεντρώσεις κυττάρων εσωτερικά και εξωτερικά του τριχοειδούς εξισορροποούνται. (δ) Απώθηση βακτηρίων από απωθητικό παράγοντα. (ε) Καμπύλη χρονικής προόδου που δείχνει τη συνάρτηση μεταξύ αριθμού κυττάρων στο τριχοειδές και χρόνου. (στ) Διαδρομές θαλάσσιων, αυτοκινούμενων βακτηρίων που συναθροίζονται γύρω από κύτταρο φύκους (μεγάλη, λευκή κηλίδα στο κέντρο): η εικόνα έχει ληφθεί με συσκευή μαγνητοσκόπησης προσαρμοσμένη σε μικροσκόπιο. Τα βακτηριακά κύτταρα εμφανίζουν, εν προκειμένω, *αεροτακτισμό*, αποκρίνονται δηλ. θετικά προς το οξυγόνο, το οποίο παράγεται από το φωτοσυνθέτον φύκος. Μέση ταχύτητα βακτηριακών κυττάρων: περί τα 35 $\mu\text{m}/\text{sec}$. Διάμετρος φύκους: περί τα 60 μm .



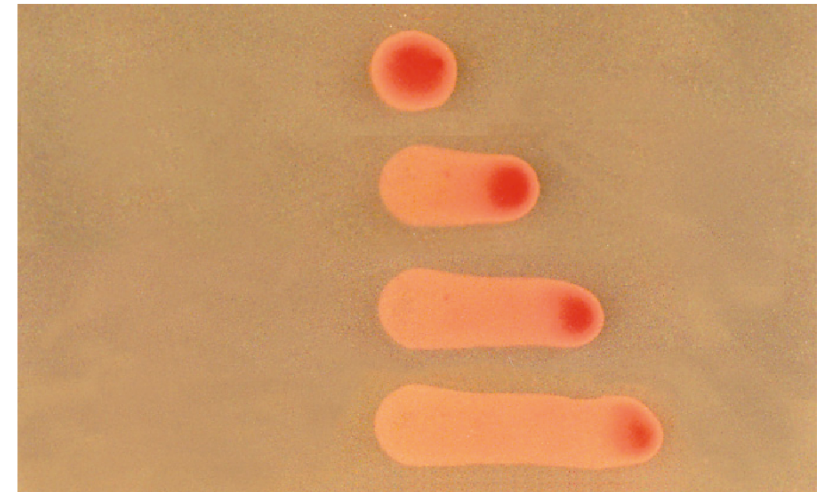
(στ)

Nicholas Blackburn



Norbert Pfennig

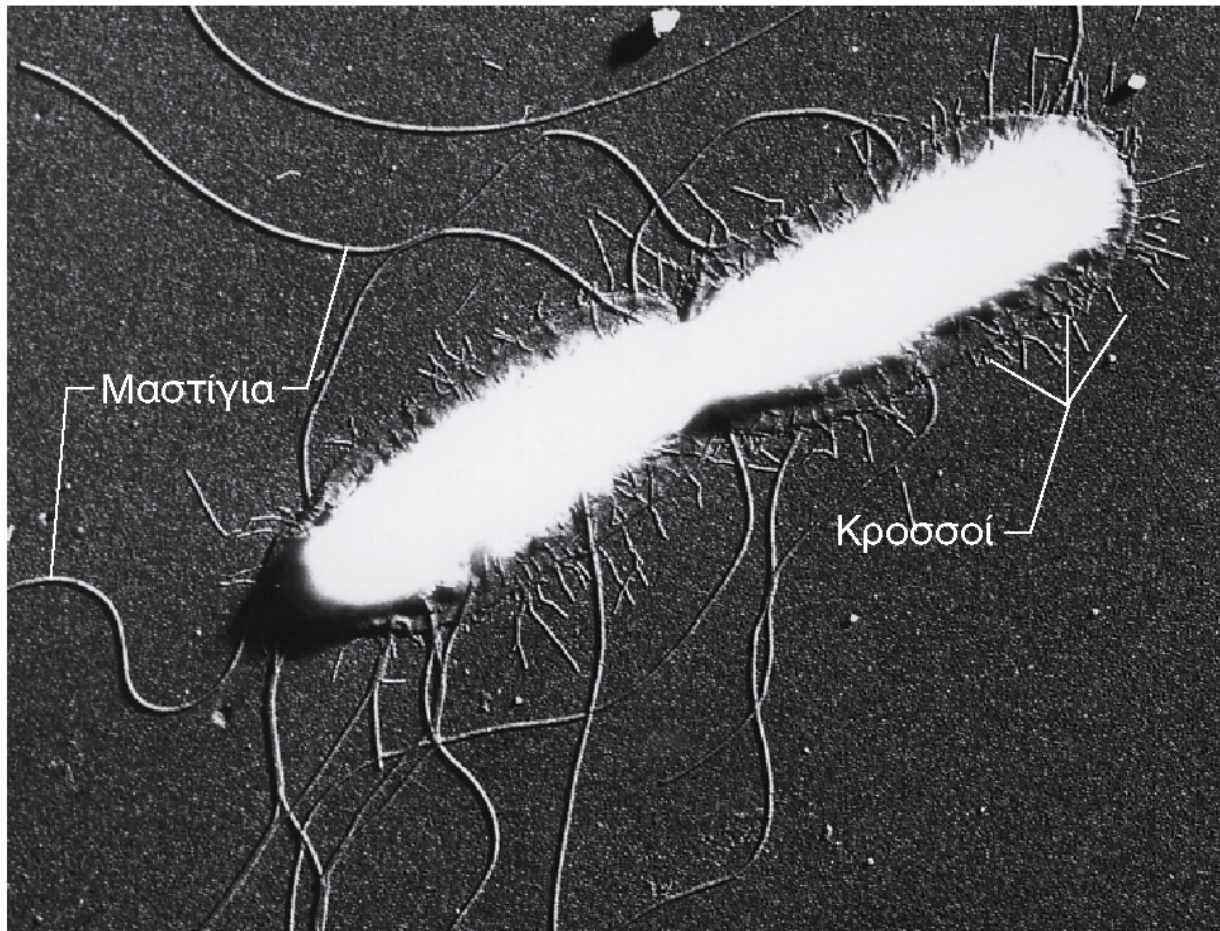
(α)



Carl E. Bauer

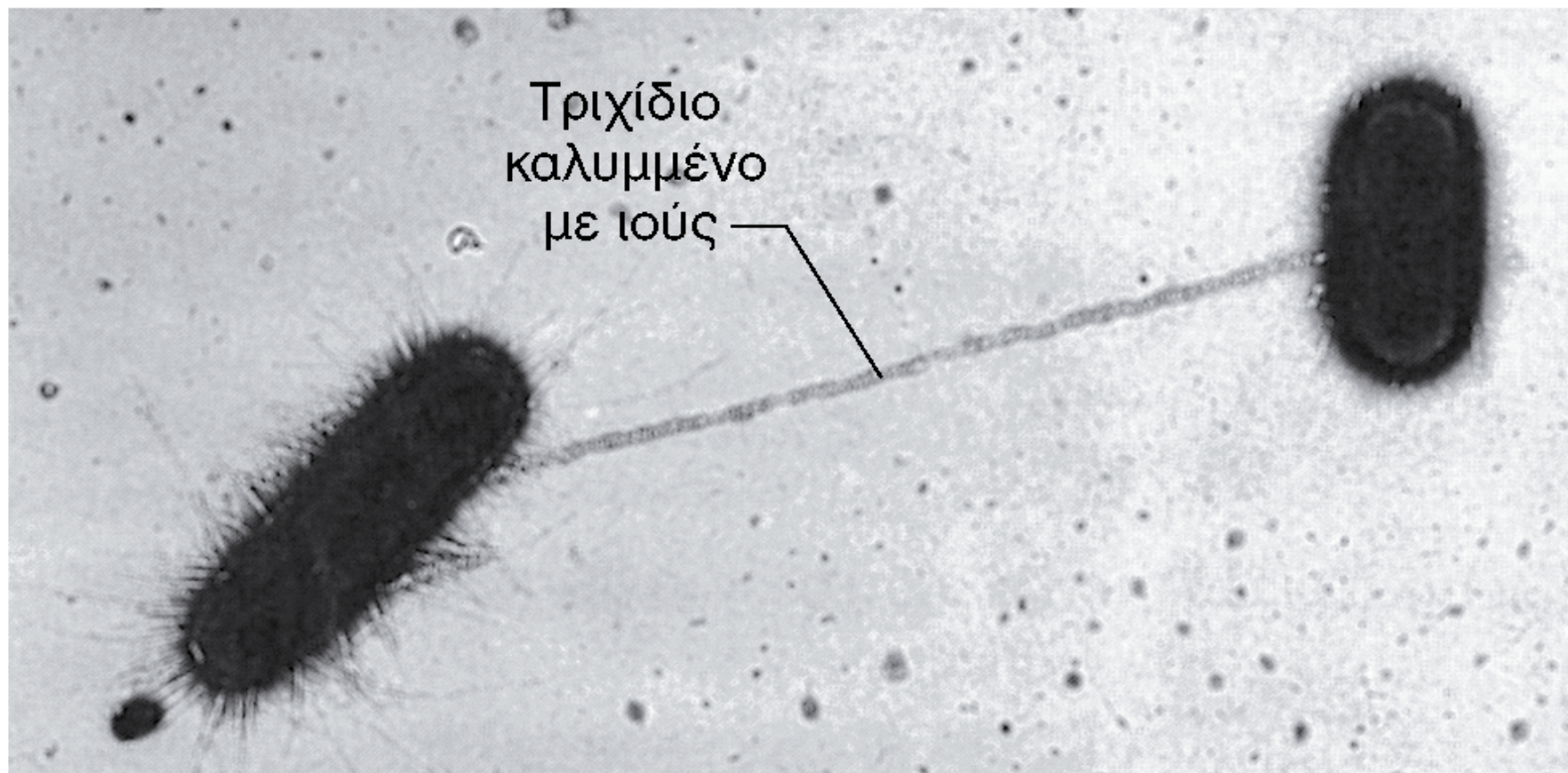
(β)

Εικόνα 4.48 Φωτοτακτισμός. (α) Σκοτοφοβική συνάθροιση του φωτοτροφικού βακτηρίου *Thiospirillum jenense* σε μήκη κύματος στα οποία απορροφούν οι κυτταρικές χρωστικές του. Φάσμα φωτός αναπτύχθηκε σε αντικειμενοφόρο μικροσκοπίου που περιείχε πυκνή καλλιέργεια βακτηρίων. Μετά την πάροδο ικανού χρόνου, ελήφθη μικροφωτογραφία που αποκαλύπτει την επιλεκτική συνάθροιση των βακτηρίων σε περιοχές όπου απορροφά η βακτηριοχλωροφύλλη *a* (πρβλ. Εικόνα 17.3β). (β) Φωτοτακτισμός ολόκληρης αποικίας του πορφυρού φωτοτροφικού βακτηρίου *Rhodospirillum centenum* για χρονική περίοδο 2 h (πάνω, το χρονικό σημείο 0). Αυτά τα ισχυρώς φωτοτακτικά κύτταρα κινούνται ενωμένα προς την πηγή φωτός (δεξιά). Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα κυττάρων *R. centenum* υπάρχουν στην Εικόνα 4.39.



J. P. Duguid and J. F. Wilkinson

Εικόνα 4.49 Ηλεκτρονικό μικρογράφημα ενός διαιρούμενου κυττάρου *Salmonella typhi*, που εμφανίζει μαστίγια και κροσσοί. Διάμετρος κάθε κυττάρου: περί τα 0,9 μm .



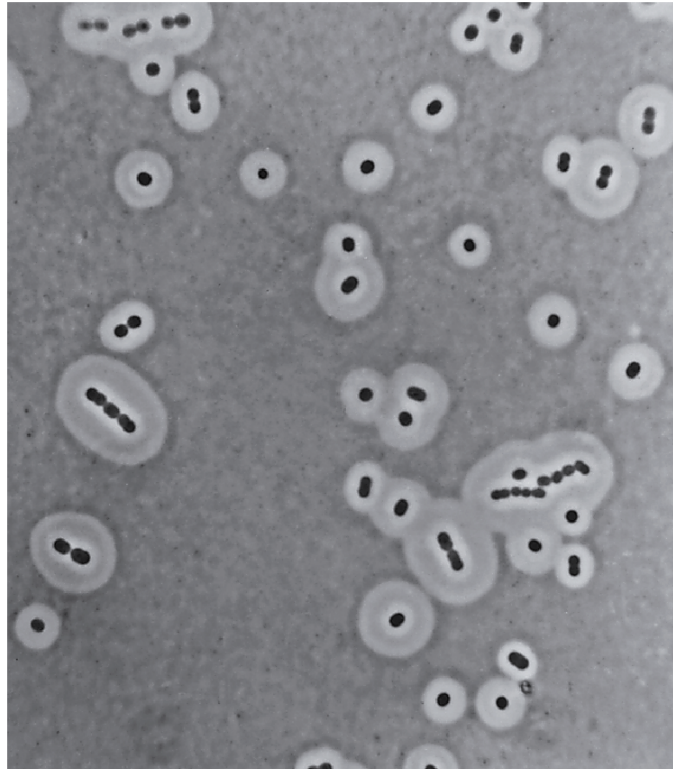
Charles C. Brinton, Jr.

Εικόνα 4.50

Η ύπαρξη τριχιδίων στο κύτταρο της *Escherichia coli* αποκαλύπτεται με τη χρήση ιών που προσκολλώνται ειδικά στα τριχίδια αυτά. Διάμετρος κυττάρου: περί τα 0,8 μm .

Εικόνα 4.51 Βακτηριακές κάψες. (α)

Η μικροσκοπία αντίθεσης φάσεων δείχνει την ύπαρξη κάψας σε ένα είδος *Acinetobacter*, με αρνητική χρώση ινδικής μελάνης. Η ινδική μελάνη δεν διαπερνά την κάψα, η οποία αποκαλύπτεται με μορφή περιγράμματος φωτεινής δομής σε σκοτεινό φόντο. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής ενός κυττάρου *Rhizobium trifolii* χρωσμένου με ερυθρό του ρουθηνίου για να αποκαλυφθεί η δομή της κάψας. Διάμετρος κυττάρου (χωρίς την κάψα): περί τα 0,7 μm. Αν και οι περισσότερες κάψες είναι πολυσακχαρτικές, μερικά βακτήρια έχουν πρωτεϊνικές κάψες. Τα κύτταρα του *Bacillus anthracis*, π.χ., μικροοργανισμού που συνδέεται τόσο με ζωικές ασθένειες όσο και με κρούσματα βιοτρομοκρατίας (Τμήμα 25.11), έχουν μια κάψα πολυ-D-γλουταμικού οξέος που τα προφυλάσσει από τους καταστρεπτικούς μηχανισμούς άμυνας των ξενιστών.



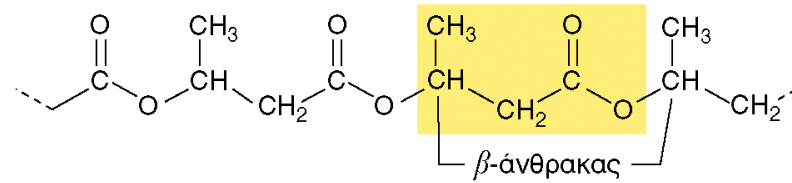
Elliot Juni

(α)

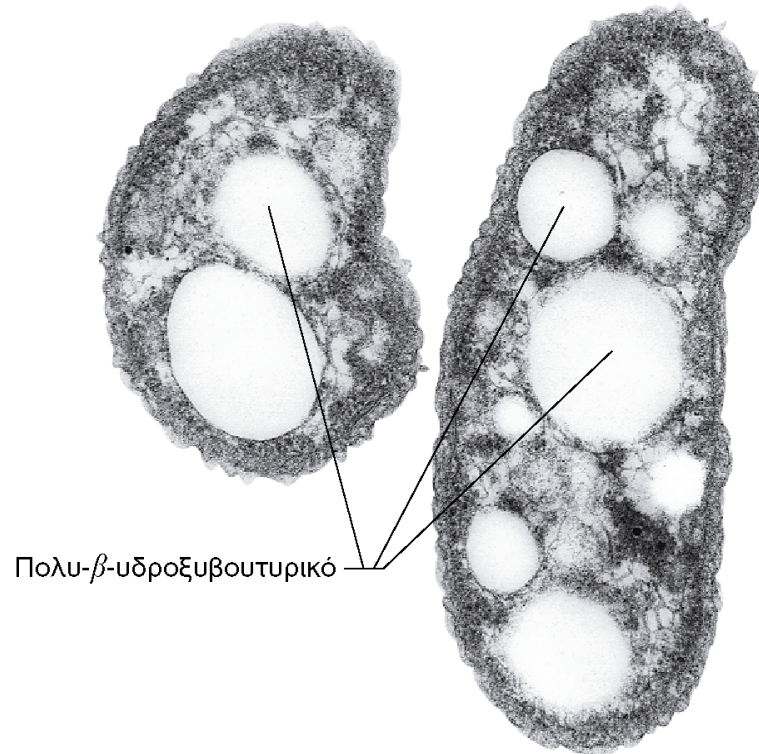


Frank Dazzo and Richard Heinzen

(β)



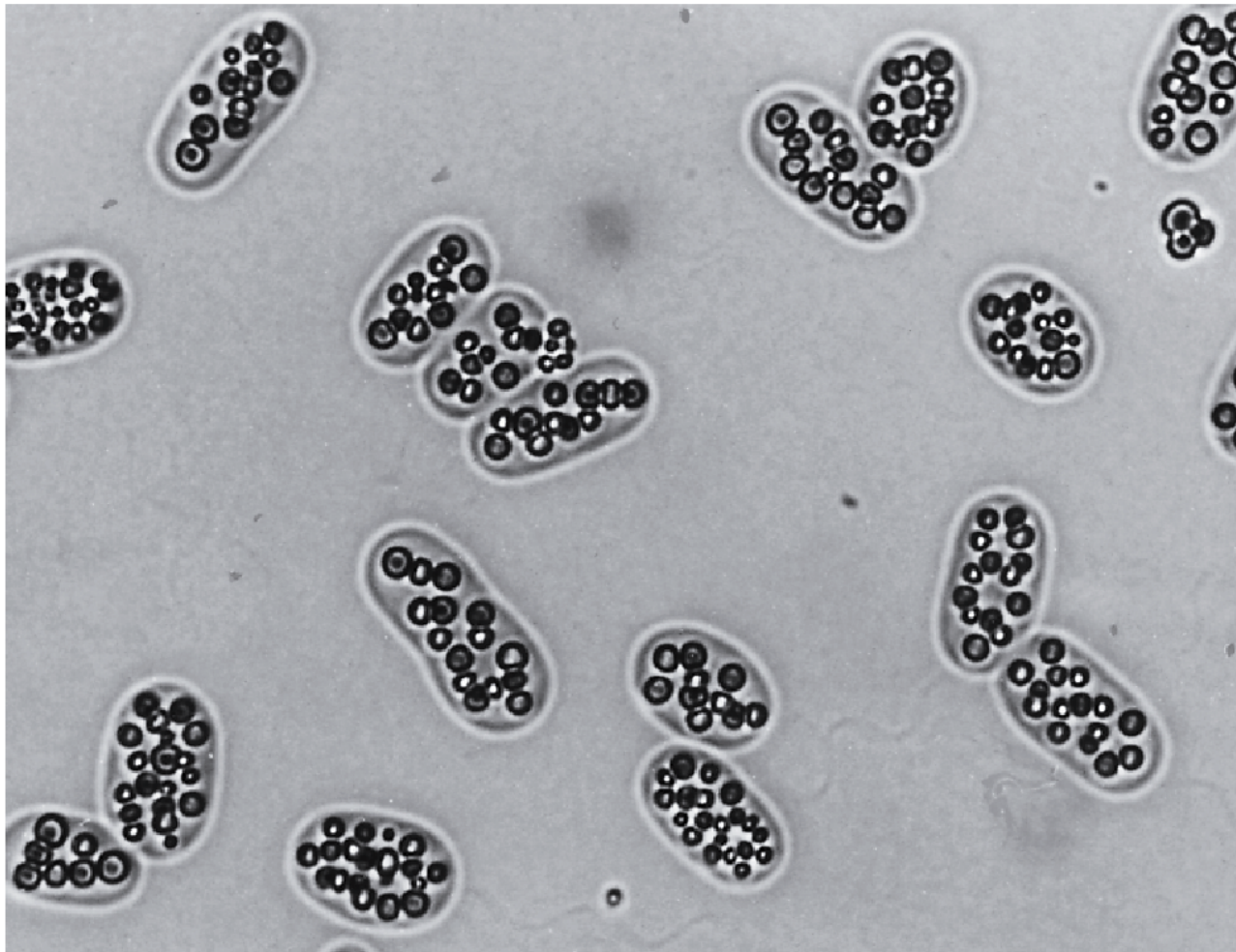
(a)



(β)

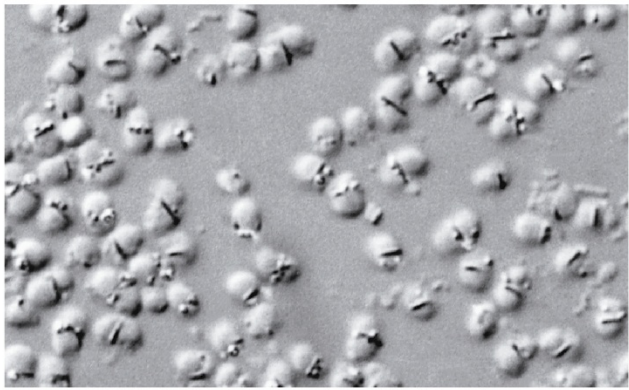
F. R. Turner and M. T. Madigan

Εικόνα 4.52 Πολυ-β-υδροξυβουτυρικό (PHB). (a) Χημική δομή του PHB, ενός κοινού πολυ-β-υδροξυαλκανοϊκού οξέος. Η μονομερής μονάδα παρουσιάζεται με κίτρινη σκίαση. Άλλα πολυμερή αλκανοϊκού σχηματίζονται όταν η μεθυλομάδα του β-άνθρακα αντικατασταθεί από υδρογονάνθρακες μακρύτερων αλυσίδων. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής κυττάρων του φωτοτροφικού βακτηρίου *Rhodovibrio sodomensis*, που περιέχει κοκκία PHB.



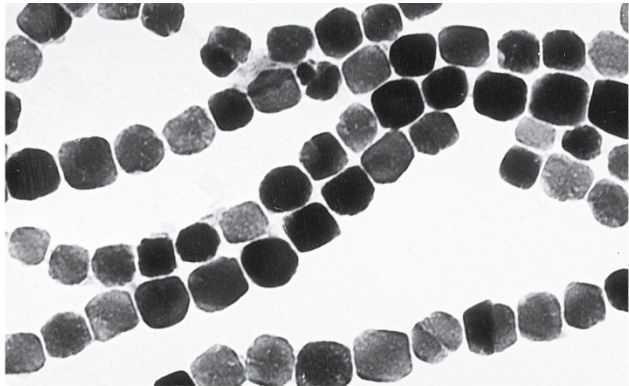
Norbert Pfennig

Εικόνα 4.53 Μικροφωτογραφία φωτεινού πεδίου κυττάρων του πορφυρού θειοβακτηρίου *Isochromatium buderi*. Παρατηρήστε, μέσα στα κύτταρα, τα κοκκία θείου. Διαστάσεις κάθε κυττάρου: περίπου $4 \times 7 \mu\text{m}$.



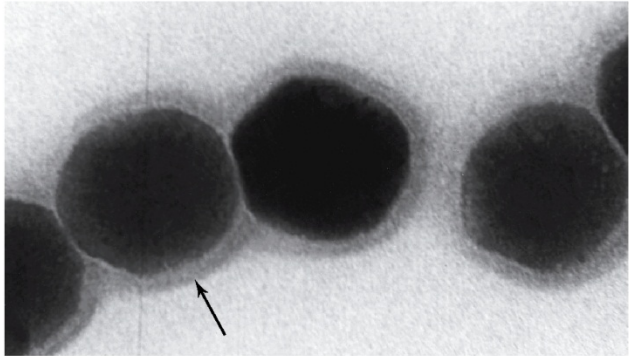
Stefan Spring

(a)



R. Blakenore and W. O'Brien

(b)



Dennis Bazylinski

(c)





T. D. Brock

Εικόνα 4.55 Επιπλέοντες «ανθοί» αεροκυστιδιοφόρων κυανοβακτηρίων σε λίμνη πλούσια σε θρεπτικά συστατικά (Λίμνη Mendota, Madison, Wisconsin, ΗΠΑ).



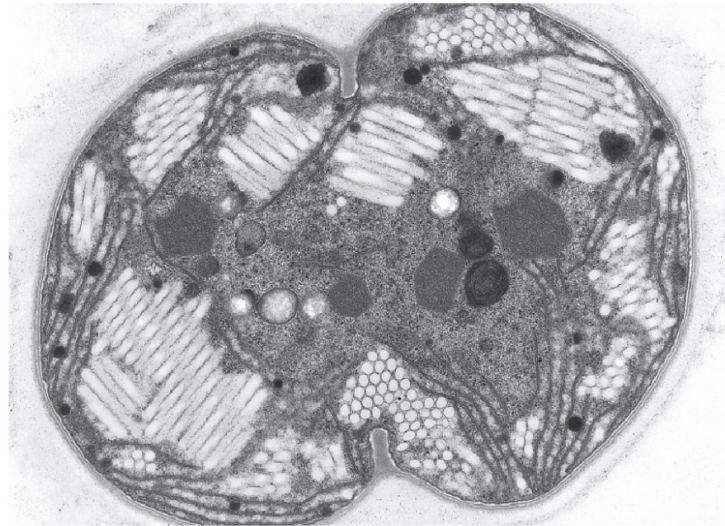
A. E. Konopka and J.T. Staley

Εικόνα 4.56 Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα διέλευσης αεροκυστιδίων που είχαν απομονωθεί από το Βακτήριο *Ancylobacter aquaticus* και εξετάσθηκαν σε αρνητικώς χρωσμένα παρασκευάσματα. Διάμετρος αεροκυστιδίου: περί τα 100 nm. (Αναδημοσιεύεται κατόπιν αδείας από το Allan E. Konopka, J. C. Lara, & James T. Staley, 1977. *Archives of Microbiology* 112:133-140. ©1977 Springer-Verlag GmbH & Co. KG.)



A. E. Walsby

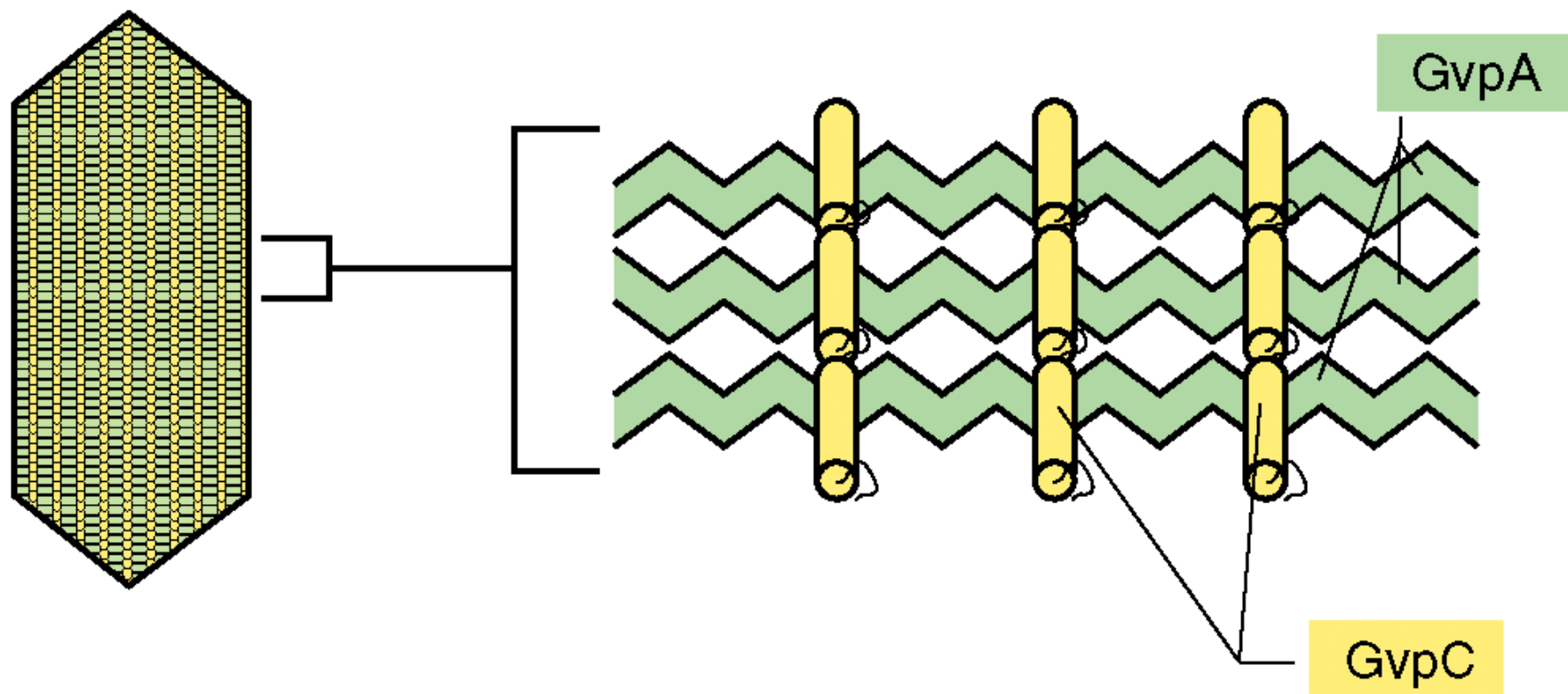
(a)




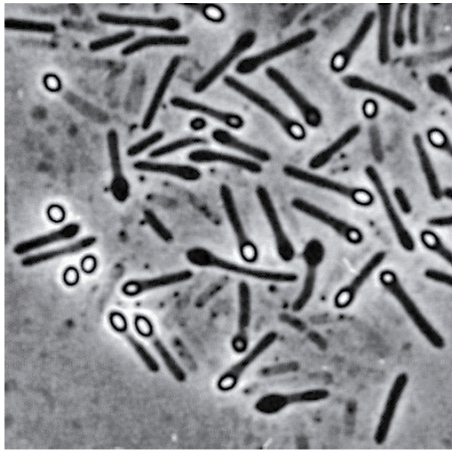
S. Pellegrini and M. Grilli Calola

(β)

Εικόνα 4.57 Αεροκυστίδια των κυανοβακτηρίων *Anabaena* και *Microcystis*. (a) *Anabaena flos-aquae*. Το σκουρόχρωμο κύτταρο στο κέντρο (μια ετεροκύστη) στερείται αεροκυστιδίων. Στα άλλα κύτταρα, τα κυστίδια συνενώνονται ως φωτεινά αντικείμενα που σκεδάζουν το φως (βέλη). (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα διέλευσης του κυανοβακτηρίου *Microcystis*. Τα αεροκυστίδια είναι διατεταγμένα σε δέσμες, που εμφανίζονται στην εικόνα τόσο σε διαμήκεις όσο και σε εγκάρσιες τομές.



Εικόνα 4.58 Υποθετικό μοντέλο της αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο πρωτεϊνών, GvpA και GvpC, που σχηματίζουν το αεροκυστίδιο, δομή στεγανή στο νερό αλλά διαπερατή από τα αέρια. Η GvpA, που έχει δομή άκαμπτης β-πτυχωτής επιφάνειας, σχηματίζει τις «πλευρές». Η GvpC, που έχει δομή α-έλικας, είναι ο διασυνδέτης ( Τμήμα 3.7 και Εικόνα 3.16).



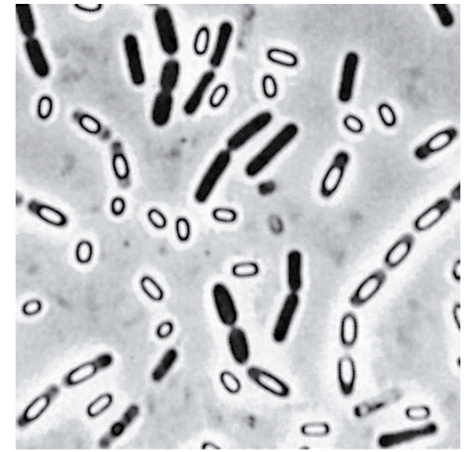
H. Hippe

(a)



H. Hippe

(b)



H. Hippe

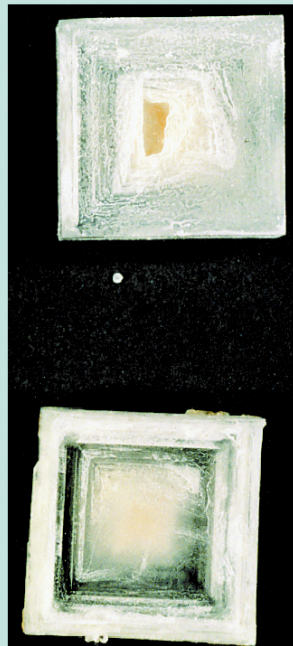
(c)

Εικόνα 4.59 Το βακτηριακό ενδοσπόριο. Μικροφωτογραφίες αντίθεσης φάσεων που απεικονίζουν διάφορους μορφολογικούς τύπους ενδοσπορίων και την ενδοκυτταρική θέση τους. (a) Τερματική. (b) Υποτερματική. (c) Κεντρική.



Gerhard Gottschalk

(a)

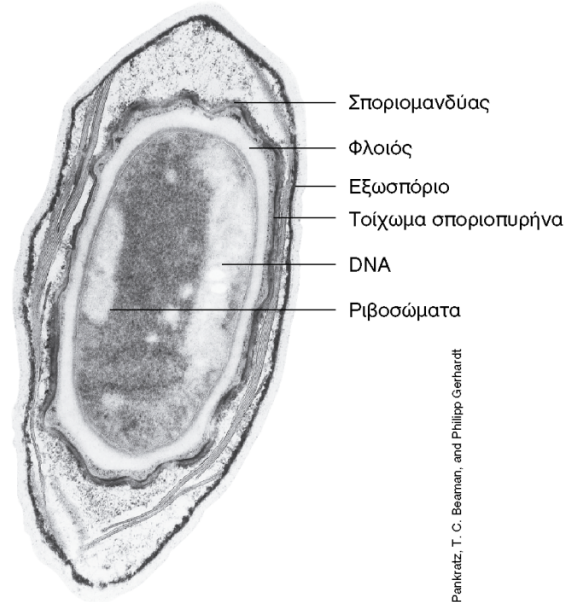


William D. Grant

(β)

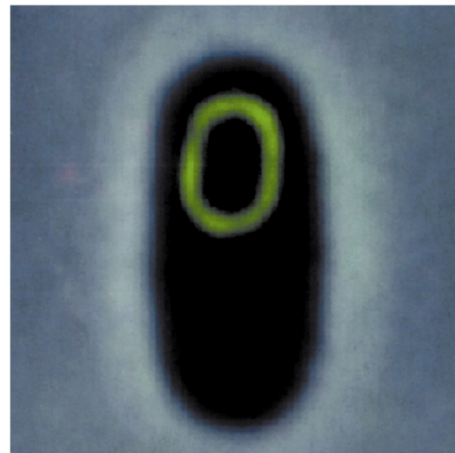
Εικόνα 1. Μακροβιότητα των ενδοσπορίων.

(a) Φωτογραφία δοκιμαστικού σωλήνα που περιέχει σπόρια του βακτηρίου *Clostridium acetivum* από παρασκεύασμα της 7ης Μαΐου του έτους 1947. Μετά από λανθάνουσα φάση διάρκειας άνω των 30 ετών, τα σπόρια τοποθετήθηκαν σε υλικό καλλιέργειας όπου άρχισαν να αναπτύσσονται εντός 12 ωρών¹. (β) Αλόφιλα βακτήρια εγκλωβισμένα σε κρυστάλλους αλατιού. Οι κρύσταλλοι αυτοί (διαμέτρου περί το 1 cm) αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο παρουσία κυττάρων του γένους *Halobacterium* (κιτρινωπό χρώμα), τα οποία διατηρούν τη βιωσιμότητά τους εντός των κρυστάλλων. Παρόμοιοι κρύσταλλοι, οι οποίοι όμως χρονολογούνται από την Πέρμια Περίοδο (πριν από 250 εκατομμύρια έτη περίπου), έχει αναφερθεί ότι περιείχαν βιώσιμα αλόφιλα ενδοσποριογονικά βακτήρια⁴.



H. S. Panitz, T. C. Beaman, and Philipp Gerhardt

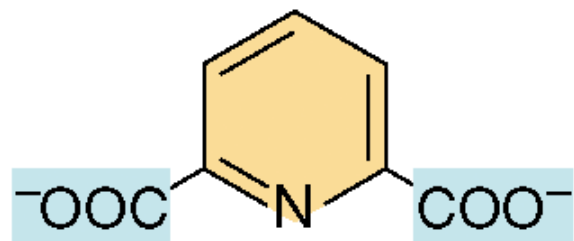
(α)



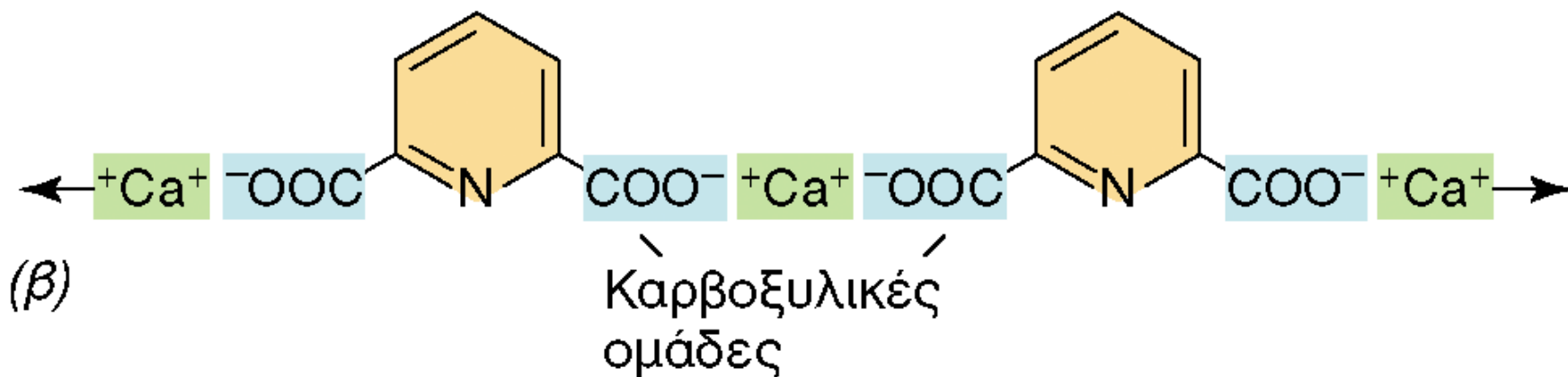
Kirsten Price

(β)

Εικόνα 4.60 Το βακτηριακό ενδοσπόριο. (α) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα διέλευσης ενός ώριμου ενδοσπορίου από *Bacillus megaterium*. (β) Μικροφωτογραφία φθορισμού ενός κυττάρου *Bacillus subtilis* που υφίσταται εκβλάστηση. Το πράσινο χρώμα οφείλεται στην ειδική χρώση μιας πρωτεΐνης εκβλάστησης στον σποριομανδύα.



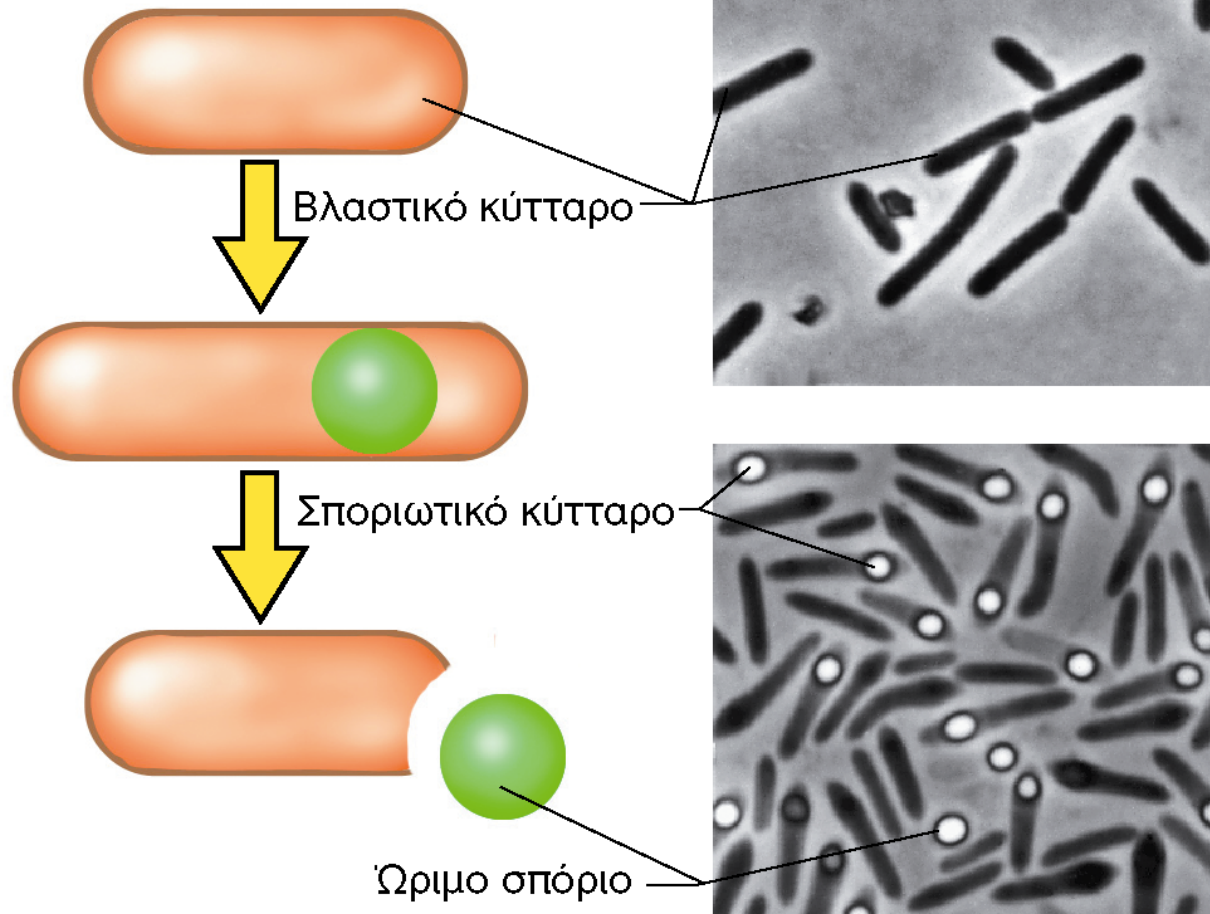
(a)



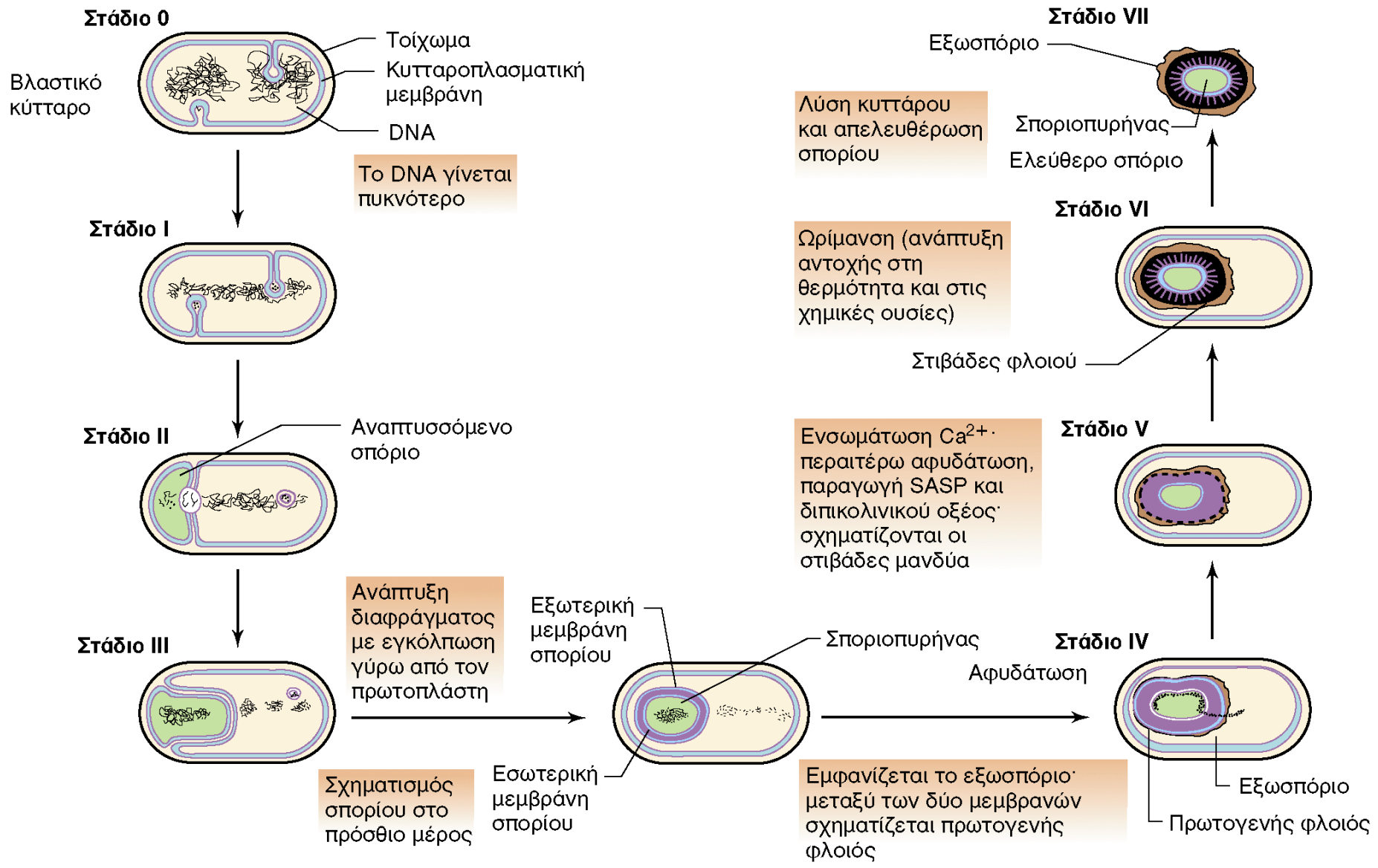
(β)

Καρβοξυλικές
ομάδες

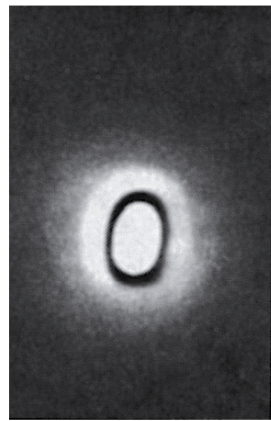
Εικόνα 4.61 Διπικολινικό οξύ (DPA). (α) Δομή. (β) Τρόπος διασύνδεσης Ca^{2+} και μορίων DPA για τον σχηματισμό συμπλόκου.



Εικόνα 4.62 Σχηματισμός του ενδοσπορίου. Μικροφωτογραφίες αντίθεσης φάσεων από κύτταρα *Clostridium pasculi*.

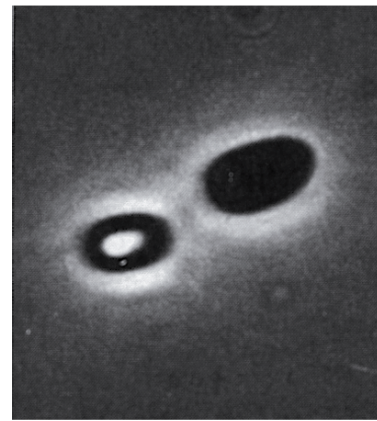


Εικόνα 4.63 Στάδια στον σχηματισμό του ενδοσπορίου. Τα στάδια αυτά (0 έως VII) καθορίζονται από τον συνδυασμό γενετικών μελετών και μικροσκοπικών αναλύσεων.



Judith Hoeniger and C. L. Headley

(α)



Judith Hoeniger and C. L. Headley

(β)



Judith Hoeniger and C. L. Headley

(γ)



Judith Hoeniger and C. L. Headley

(δ)

Εικόνα 4.64 Εκβλάστηση του ενδοσπορίου στον *Bacillus*. Σταδιακή μετατροπή του ώριμου ενδοσπορίου (α) σε βλαστικό κύτταρο (δ). Οι μικροφωτογραφίες δείχνουν την πλήρη σειρά συμβάντων, με αφητηρία ένα έντονα διαθλαστικό, ώριμο σπόριο. Στο (β) (ενεργοποίηση) η διαθλαστικότητα χάνεται, ενώ στα (γ) και (δ), αναπτύσσεται το νέο βλαστικό κύτταρο (αυξητική έκρηξη).