

Προέλευση της ζωής: Θεωρίες και πειραματικές προσεγγίσεις

Δημήτριος Α. Κυριακίδης

*Καθηγητής Βιοχημείας
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης,
Πρόεδρος Δ.Σ. και Διευθυντής του
Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών*

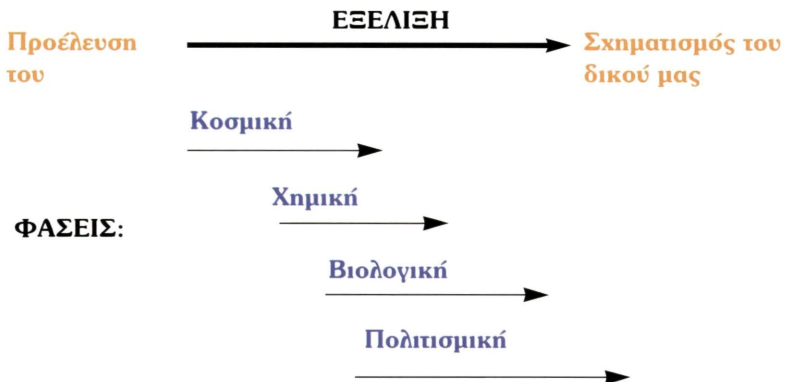
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί να παρουσιάσει συνοπτικά τις διάφορες θεωρίες σχετικά με την προέλευση της ζωής και να εξηγήσει διάφορες πειραματικές μαρτυρίες που είναι σήμερα δημοσιευμένες. Γίνεται μια επιστημονική ξενάγηση από τον χρόνο μηδέν έως σήμερα και συζητούνται διάφορα ερωτήματα σχετικά με το πώς περίπου νομίζουμε ότι έχει προέλθει η ζωή στον πλανήτη μας. Η ζωή είναι συνυφασμένη με όλες τις ζωντανές υπάρξεις, με ή χωρίς συνείδηση, δημιουργήματα με πολύ ωραία χρώματα και εξαιρετική ποικιλία. Το ζωικό βασίλειο αποτελείται από περισσότερα από δέκα εκατομμύρια είδη με εκπληκτική ποικιλομορφία. Στον πλανήτη μας μόνο, οι μικροοργανισμοί είναι περισσότεροι από ένα εκατομμύριο. Πολλές πληροφορίες για το αντικείμενο αυτό μπορούν να βρεθούν και σε βιβλία (1,2).

Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Η προσπάθειά μας δεν είναι να δούμε τη ζωή σαν μια αφηρημένη έννοια αλλά να την ορίσουμε ως μετάβαση από την ανόργανη στην οργανική ύλη. Ο Πλάτων μιλάει για ψυχή. Οτιδήποτε είναι ζωντανό ή έχει ζωή εμπεριέχει μέσα του ψυχή, το αθάνατο πνεύμα. Ο Αριστοτέλης χρησιμοποιεί μια άλλη λέξη, την εντελέχεια. Η εντελέχεια εξηγεί την αλληλεπίδραση της ύλης με τελικό αποτέλεσμα την κίνηση που κινεί το σώμα (1). Ο Αριστοτέλης περιγράφει την τυχαία γένεση στην οποία στηρίχθηκαν όλοι οι μεταγενέστεροι φιλόσοφοι, μέχρι και στις αρχές του 20ού αιώνα. Ο Καντ περιγράφει τη ζωή ως την εσωτερική αρχή της δράσης, ο Χέγκελ ως παγκόσμια αιτία, οι βιταλιστές ως *vita vitalis*, οι νεοβιταλιστές ως την επικρατέστερη ιδέα και οι υλιστές ως κάτι που αποτελείται από ύλη. Ο μηχανιστικός υλισμός μιλάει για απλές φυσικές και χημικές αντιδράσεις –τις οποίες οι φυσικοί, χημικοί ή βιολόγοι καταλαβαίνουν καλύτερα– αλλά ούτε κι αυτός ο ορισμός είναι πλήρης. Κατά τον διαλεκτικό υλισμό βλέπουμε ότι η ζωή θεωρείται μια μορφή κίνησης της ύλης, η οποία είναι διαφορετική από τα υλικά του ανόργανου κόσμου. Ο πιο πλήρης ορισμός της ζωής είναι αυτός που δόθηκε από τον Γερμανό φυσικοχημικό Μάνφρεντ Άιγκεν, που λέει ότι η ζωή είναι μια δυναμική κατάσταση της ύλης, οργανωμένη με

ΕΞΕΛΙΞΗ ≡ Διαδικασία 13.0



πληροφορία και εξελίσσεται με βάση τον μηχανισμό της φυσικής επιλογής (1). Άρα περιμένουμε η ζωή να παρουσιάζει μια δυναμική και να είναι οργανωμένη με πληροφορία. Δεδομένου ότι όλοι οι ζώντες οργανισμοί έχουν DNA, που περιέχει όλες τις γενετικές πληροφορίες, προσπαθούμε να κατανοήσουμε από πού ξεκινήσαμε και ποιος ήταν ο προπάτοράς μας.

ΖΩΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ

Τα ερωτήματα που μπορούμε να θέσουμε είναι πολλά, όμως θα μας επιτρέψουν να καταλάβουμε πώς εξελιχθήκαμε και με βάση ποιο μηχανισμό φυσικής επιλογής είμαστε σήμερα εδώ, με όλα τα οικοσυστήματα γύρω μας (1).

Η ξενάγηση που αποτυπώνεται στο πιο πάνω διάγραμμα διαρκεί περίπου 13 δισεκατομμύρια χρόνια. Μερικοί θεωρούν ότι το σύμπαν ξεκίνησε περίπου πριν από 13 με 14,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Θεωρούμε ότι ξεκινήσαμε από μια μεγάλη μάζα, από ένα γαλακτικό νεφέλωμα, το οποίο κάτω από συμπίεση εξωτερικών παραγόντων και περνώντας από μια ασταθή βαρυτική κατάσταση δημιούργησε το ηλιακό μας σύστημα, το οποίο όπως φαίνεται είναι ένας πεπλατυσμένος δίσκος με χρόνο μηδέν τη Μεγάλη Έκρηξη (1-3).

Μέσα σε αυτά τα 13 δισεκατομμύρια χρόνια βλέπουμε πώς εξελίχτηκε το σύμπαν σε τέσσερις φάσεις, από τη στιγμή της δημιουργίας του μέχρι σήμερα. Αυτές οι φάσεις είναι η κοσμική φάση κατά την οποία δημιουργούνται τα άτομα, η χημική φάση κατά την οποία δημιουργούνται τα μόρια, η φάση της βιογένεσης, δηλαδή η δημιουργία των βιομορίων και του πρώτου κύτταρου (ο πρώτος πρόγονος), και τέλος η τέταρτη φάση της πολιτισμικής εξέλιξης του ανθρώπου. Θεωρούμε ότι στον χρόνο μηδέν έγινε η Μεγάλη Έκρηξη, όπου με τα πρώτα σωματίδια είχαμε τη φυσική εξέλιξη και τη δημιουργία των ατόμων. Τα άτομα που σχηματίζονταν άρχισαν να ενώνονται μεταξύ τους και έτσι είχαμε τον σχηματισμό των πρώτων μορίων, διαδικασία γνωστή ως χημική εξέλιξη που την ονομάζουμε και περίοδο της προβιοτικής χημείας. Προβιοτική χημεία σημαίνει δημιουργία μορίων αβιογενώς, χωρίς ακόμα να έχουν δημιουργηθεί πολύπλοκα σύνολα που να εμπεριέχουν ζωή. Από το πρωταρχικό

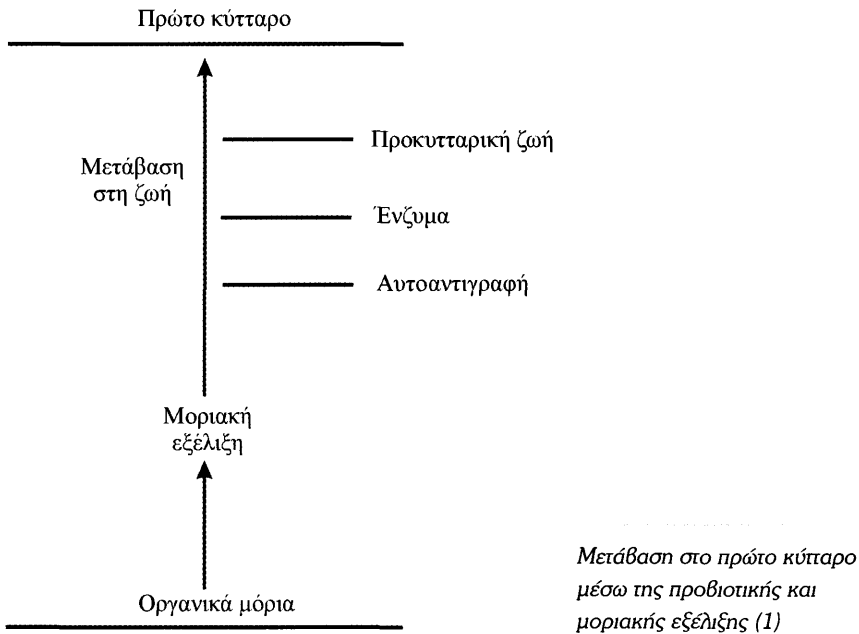
κύτταρο οδηγούμαστε στα βακτήρια, τα πρώτιστα, και στη συνέχεια από τους πολυκύτταρους οργανισμούς καταλήγουμε στον άνθρωπο, όπου μιλούμε για την πολιτισμική ή κοινωνιολογική εξέλιξη. Άρα ευδιάκριτα ξεχωρίζουμε τις τέσσερις φάσεις, χωρίς να διαθέτουμε πολλές πληροφορίες για το πώς εξελίχθηκαν σε όλη τους τη λεπτομέρεια.

Η ιστορία του σύμπαντος θεωρούμε ότι ακολουθεί γραμμικά αυτή την πορεία, αλλά κατά τη Μεγάλη Έκρηξη αυτό που έχει συμβεί και μπορούμε πειραματικά να αποδείξουμε (σύμφωνα με το τι γίνεται στις μαύρες τρύπες ή με τους μετεωρίτες) είναι πως η θερμοκρασία του χρόνου μηδέν ήταν 2×10^{12} K (K, βαθμοί Kelvin). Το πλάσμα δηλαδή, αυτό το πυκνό αέριο, επεκτάθηκε και μας έδωσε τους πλανήτες που ήταν σε πολύ υψηλή θερμοκρασία ενώ μέσα σε τριάντα μόνο δευτερόλεπτα η θερμοκρασία έπεσε στους 4×10^8 K και σε ένα χρόνο στους 2×10^6 K, που μετά από 1.000.000 χρόνια κατέβηκε στους 2×10^3 K.

Η ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΖΩΗΣ ΣΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΜΑΣ

Το ηλιακό μας σύστημα προέκυψε πριν από 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια.

Με απλές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες ξεκίνησαν πριν από πολλά δισεκατομμύρια χρόνια, μπορούμε να δούμε πώς από οργανικά και ανόργανα μόρια μεταβαίνουμε στη ζωή, στο πρώτο κύτταρο, στον πρώτο προπάτορά μας (1). Για να γίνει αυτή η μοριακή εξέλιξη χρειάζεται μηχανισμούς αντιγραφής ή αυτοαντιγραφής, χρειάζονται πολλά ένζυμα για να δημιουργηθούν πολλά βιομόρια, τα οποία όταν οργανωθούν θα δώσουν το πρώτο κύτταρο που θα μπορεί να επιζεί και να πολλαπλασιάζεται. Υπάρχουν σήμερα αποδείξεις για τις θεωρίες σχετικά με το πώς προέκυψαν από τα πρώτα αμινοξέα και νουκλεοτίδια οι πρωτεΐνες, το DNA ή RNA, και στη συνέχεια το πρώτο κύτταρο. Τα πρώτα προβιοτικά μονομερή, τα οποία μπορούμε να δούμε στη Γη, τα βρίσκουμε στους μεσοαστρικούς χώρους από τα πλανητικά ταξίδια. Στα ταξίδια αυτά απέδειξαν ότι υπήρχαν ανάμεσα στους αστέρες γνωστά μόρια, όπως υδρόθειο, μυρμηκικό οξύ, οξικό οξύ, αμμωνία, νερό, ακετυλένιο, μονοξειδίο του άνθρακα και άλλα πιο πολύπλοκα μόρια.

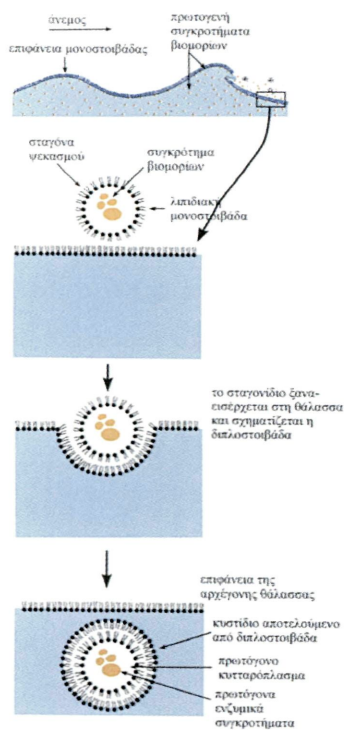


Δύο αξιόλογες παρατηρήσεις, του Όπαριν και του Χάλντεϊν, θα πρέπει να μνημονευτούν (4,5). Ο Όπαριν, το 1920, δημοσιεύει ότι τα πρώτα μόρια που έχουν σχηματιστεί αβιογενώς θα πρέπει να έχουν γίνει σε μια μεγάλη χρονική περίοδο, η οποία θεωρείται ότι διήρκεσε πολλά εκατομμύρια έτη. Καθόρισε ποια είναι αυτά τα μόρια εξηγώντας με απλά πειράματα πώς αυτά τα μόρια, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, σε συνθήκες προσομοίωσης, μπορούν να παραχθούν στο εργαστήριο. Το 1929, εννέα χρόνια αργότερα, ο Χάλντεϊν προτείνει ότι πράγματι δεν μπορούμε να έχουμε ένα οργανωμένο κύτταρο, έναν οργανισμό, αν πριν από πολλά χρόνια δεν έχουν φτιαχτεί τα πρώτα βιομόρια. Άρα μιλάει για μια χημική εξέλιξη και ανέμενε από το 1929 να δει να γίνονται πειράματα χημικής εξέλιξης.

ΘΕΩΡΙΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

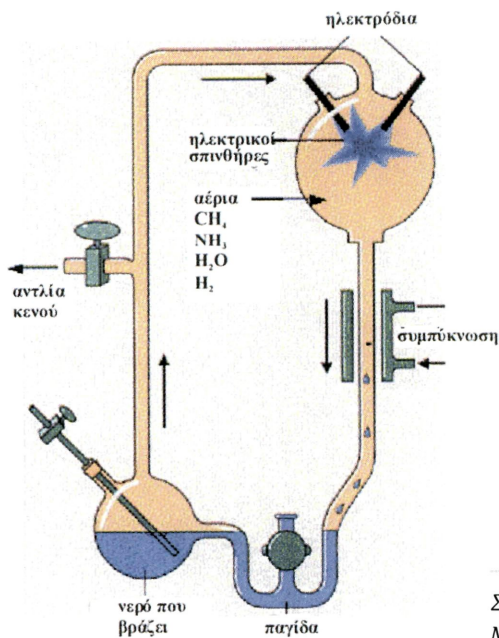
Μπορούμε σήμερα να δούμε ότι υπάρχουν τρεις τουλάχιστον θεωρίες για το πώς προήλθε η ζωή, οι οποίες θα εξηγηθούν πολύ περιληπτικά (1,2).

Η πρώτη είναι η θεωρία της προβιοτικής «σούπας» (6). Σε μεγάλες λεκάνες –μεγάλες λίμνες– πιστεύεται ότι συσσωρεύτηκαν υλικά που συμπυκνώθηκαν μετά από μεγάλη ακτινοβολία και υψηλές θερμοκρασίες. Ας σημειωθεί ότι η πρωταρχική μας ατμόσφαιρα ήταν αναγωγική και περιείχε μεθάνιο, υδρόθειο, αμμωνία, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα. Άρα, όταν αυτά τα μόρια βρέθηκαν σε μια τέτοια «σούπα», μπόρεσαν και άρχισαν να δίδουν τις πρώτες αντιδράσεις σχηματισμού των πρώτων βιομορίων και στη συνέχεια τον σχηματισμό του πρώτου κυττάρου, τον πιθανό πρόγονό μας. Η μεμβράνη που σχηματίζεται από απλά μόρια λιπιδίων, χοληστερόλης και πρωτεϊνών έχει τη δομή



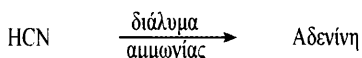
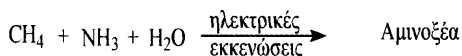
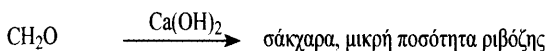
Σχηματική απεικόνιση του σχηματισμού της διπλοστιβάδας στις αρχέγονες λίμνες [από τη Βιοχημεία του A.L. Lehninger (6) ανασχεδιασμένο]

μωσαϊκού και μπορεί σε υδατικό διάλυμα να πάρει τη μορφή σφαίρας εμπειρ- κλείοντας πολλά άλλα νεοσχηματισθέντα μόρια. Το 1953 γίνονται τα πρωταρ- χικά πειράματα προσομοίωσης από τον Χάρολντ Γιούρεϊ, που είχε κερδίσει ήδη το βραβείο Νόμπελ το 1934 και τον μαθητή του τον Στάνλεϊ Μίλερ, με σκοπό να συνθέσουν τα πρώτα βιογενή μόρια (7). Ως υποψήφιος διδάκτορας ο Μίλερ είχε φτιάξει μια συσκευή, στην οποία έβαλε υδροθείο, νερό, αμμωνία, μεθάνιο και διάφορα άλλα αέρια και με τη βοήθεια καταλυτών ή εκκενώσεων, σε θερμοκρασία 350-400° C για δύο ή τρεις βδομάδες, συντέθηκαν σε μικρές ποσότητες βιογενή μόρια, όπως ριβόζη, αμινοξέα, κ.λπ. Η ριβόζη είναι το πρώτο δομικό λιθάρι για να φτιαχτεί το RNA και από τη ριβόζη μπορεί να φτια- χτεί δεοξυριβόζη. Ωστόσο, σε αυτό το ίδιο ακριβώς πείραμα μπορεί κανείς να ελέγξει πώς από μεθάνιο, αμμωνία και νερό μπορεί να παραχθούν αμινοξέα, που είναι τα δομικά λιθάρια από τα οποία φτιάχνονται οι πρωτεΐνες, τα ένζυμα, κ.λπ. Συνεπώς, από απλές προβιοτικές ενώσεις μπορούμε να δούμε τον σχη- ματισμό in vitro σακχάρων, αμινοξέων, νουκλεοτιδίων (αδενίνης, κυτοσίνης)

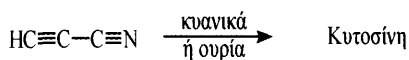


Συσκευή πειραμάτων προσομοίωσης των Miller και Urey (2)

κ.λπ. Ο προβιοτικός σχηματισμός αδενίνης για τους χημικούς δεν είναι τίποτε άλλο παρά η συμπύκνωση πέντε μορίων υδροκυανίου και αποτελεί την πρόδρομο ένωση για τον σχηματισμό του DNA.



Προβιοτικός σχηματισμός
οργανικών ενώσεων (2,8)

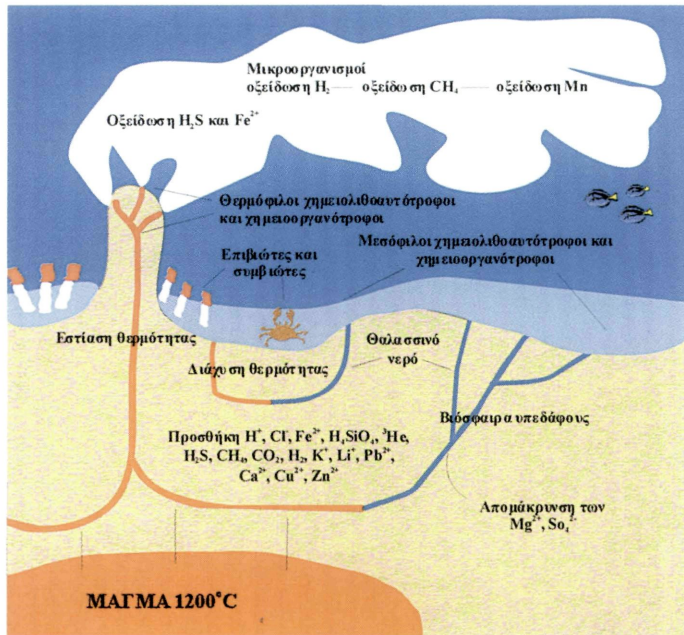


Κάτω από τις ίδιες συνθήκες, με απλές αντιδράσεις, μπορεί να σχηματιστεί αδενίνη, διαμινοπουρίνη, γουανίνη, πρόδρομες ενώσεις από τις οποίες φτιάχνεται το DNA. Ποιες ήταν όμως αυτές οι πηγές ενέργειας που βοήθησαν στον σχηματισμό των πρωταρχικών ενώσεων; Η ακτινοβολία που υπήρχε, οι μορφές ενέργειας εκείνης της εποχής: αστραπές, κοσμική ακτινοβολία, θερμότητα που παράγονταν από τα ηφαίστεια, κ.λπ. Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) φαίνεται να συμμετείχε με ένα τεράστιο ποσό και συνεπώς περιμένουμε η σύνθεση πολλών προβιοτικών αντιδράσεων να έχει βοηθηθεί από την UV ακτινοβολία, τη ραδιενέργεια και τα διάφορα φωσικά κύματα.

Γύρω στο 1960, γίνονται κι άλλα πειράματα προσομοίωσης σε υψηλές θερμοκρασίες, που προσπαθούν να μιμηθούν τις συνθήκες της προβιοτικής εποχής. Οι Σίντεϊ και Φοξ, για παράδειγμα, δημιουργούν τις πρωτεΐνοειδείς μικρόσφαιρες (9). Αμινοξέα που θερμάνθηκαν για πολλές μέρες (περίπου δέκα) σε υψηλή θερμοκρασία (350° C) φτιάχνουν στοιχειώδεις μορφές που προσομοιάζουν στα πρωταρχικά κύτταρα. Το ίδιο μπορεί να γίνει σήμερα *in vitro* με υπερήχους και λιποειδή: φτιάχνονται λιποσωμάτια που ονομάζονται κύτταρα-φαντάσματα.

Μέχρι τώρα εξηγήθηκε ότι στην προβιοτική «σούπα» μπορούσαν να φτιαχτούν τα προβιοτικά μόρια.

Η δεύτερη θεωρία, η οποία προτάθηκε το 1992, υποστηρίζει ότι μπορεί να έχουμε ζωή σε υδροθερμες υπόγειες περιοχές (10). Δηλαδή στον πυθμένα της θάλασσας, περίπου σε 3.000 χιλιόμετρα βάθος, μπορεί να δούμε καπνοδόχους, δηλαδή οπές απ' όπου βγαίνει μαύρος ή άσπρος καπνός. Ο μαύρος καπνός είναι συνήθως υδρόθειο και θειούχο σίδηρο, μίγμα αναγωγικών ενώσεων· καθώς οι καπνοδόχοι ανεβαίνουν προς τα πάνω, φαίνεται πως σχηματίζονται μικροοργανισμοί. Τέτοιοι μικροοργανισμοί, δηλαδή νηματοειδή βακτήρια, σήμερα έχουν απομονωθεί από υπόγειες περιοχές με θερμοκρασίες πάνω από 300° C. Οι παλαιοντολόγοι έχουν υπολογίσει ότι τα νηματοειδή βακτηρίδια εμφανίστηκαν περίπου πριν 3,2 δισεκατομμύρια χρόνια. Άρα, η ύπαρξη αυτών των νηματοειδών βακτηριδίων, σε τέτοιες υπόγειες, υποθαλάσσιες περιοχές, δημιουργεί ζωή και με πειράματα προσομοίωσης έχει αποδειχθεί στο εργαστήριο ότι μπορούμε να πάρουμε αμινοξέα, πεπτίδια, διπεπτίδια,



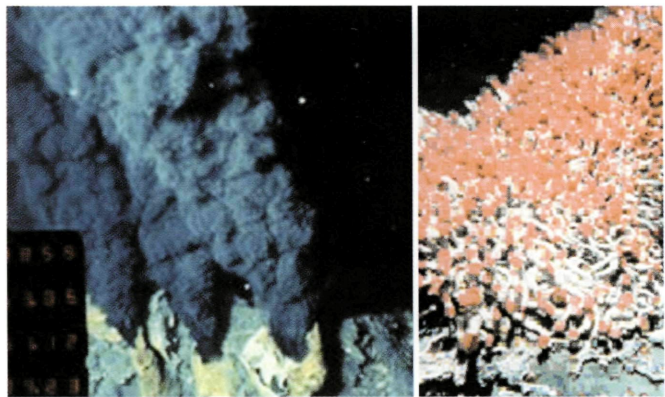
Διαγραμματική απεικόνιση διατομής βαθύβιου υδροθερμικού συστήματος που απεικονίζει τις πιθανές θέσεις για τις διαφορετικές μικροβιακές κοινότητες (2,11)

τριπεπίδια ή πολυπεπίδια. Μπορούμε επίσης να αναμίξουμε νουκλεοτίδια και να δούμε ότι τα νουκλεοτίδια κάτω από αυτές τις συνθήκες αντιδρούν μεταξύ τους.

Η τρίτη θεωρία (11) ουσιαστικά εξηγεί μερικές παρατηρήσεις που είχε κάνει ο Δαρβίνος. Όταν έκανε τις μελέτες του στα νησιά Γκαλαπάγκος, ο Δαρβίνος είχε παρατηρήσει ότι σε περιοχές όπου τα νερά ήταν ζεστά υπήρχαν υπερπληθυσμοί, δηλαδή περισσότερη ζωή. Σήμερα, χάρη σε πειράματα παλαιοντολόγων, βιοχημικών, βιολόγων σε τέτοιες σχισμές, με θερμοκρασία 1.200°C , ανέρχονται υλικά στην επιφάνεια της θάλασσας και όταν αναμειχθούν με το νερό δημιουργούνται θερμόφιλοι, αυτότροφοι μικροοργανισμοί. Συνεπώς, έχουμε μαρτυρίες και γι' αυτή τη θεωρία, ότι δηλαδή δημιουργείται ζωή δίπλα από σχισμές, δίπλα από υποθαλάσσιες ρωγμές.

Δεν θα γίνει αναφορά στη θεωρία της πανσπερμίας ούτε στην πιθανότητα να ήρθαν αστροναύτες από κάποιο άλλο πλανήτη και από τα απορρίμματά τους να προέκυψε η ζωή. Αυτά για τους βιοχημικούς είναι λιγότερο πιθανά και πολύ θεωρητικά. Τα βασικά μόρια που υπάρχουν σε ένα κύτταρο είναι το DNA, οι πρωτεΐνες με τις πολύπλοκες δομές, τα λιπίδια, οι υδατάνθρακες, τα RNA ή τα ριβόζυμα, τα RNA με καταλυτική δράση. Από τη μελέτη των μορίων αυτών, μπορούμε σήμερα να δούμε και να κάνουμε υποθέσεις για το πώς εξελίχθηκε το

*Α. Μαύρες καπνοδόχοι
Β. Πωγωνοφόρα στη
βάση μιας μαύρης
καπνοδόχου ενός υδρό-
θερμου συστήματος
(2,10)*



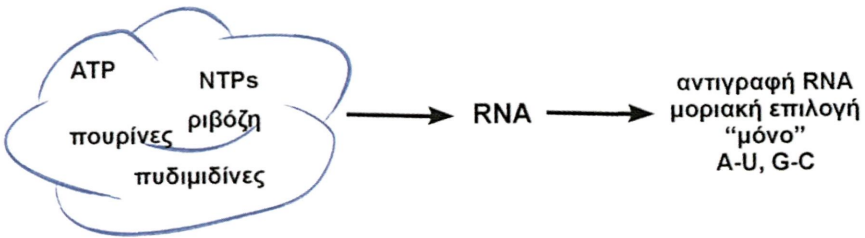
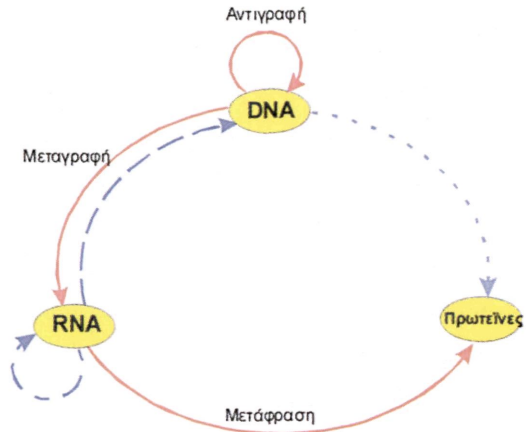
πρωταρχικό κύτταρο. Έχουμε προβιοτικές ενώσεις, το πρωτόπλασμα, και επομένως δεχόμαστε ότι κάπως έτσι αρχίζει ο πρωτομεταβολισμός: αρχίζουν να γίνονται αντιδράσεις μεταξύ αυτών των μορίων. Προκύπτει η μεμβράνη και η γενετική μηχανή, που για ορισμένους είναι τα μόρια του RNA ενώ για άλλους είναι τα μόρια του DNA. Με βάση τον σχηματισμό των μορίων αυτών, μπορούμε να δεχτούμε τον σχηματισμό του πρώτου κυτάρου –τον πρώτο προπάτορά μας. Στο πρώτο κύτταρο θεωρούμε ότι αφού έχουν συντεθεί τα μεγάλα μόρια του RNA ή DNA, αυτοαντιγράφονται και αρχίζουν να παράγονται αντίγραφα τους, μόρια που μπορούν να εγκλωβιστούν σε κυστίδια ή λιπίδια, ώστε να σχηματίσουν το πρώτο στοιχειώδες κύτταρο. Έχουμε μαρτυρίες ότι αυτά προϋπήρξαν πολλές χιλιάδες χρόνια πριν; Βεβαίως, καθώς από παλαιοντολογικές μελέτες βρίσκονται απολιθώματα 60-70 εκατομμυρίων ετών, για παράδειγμα στο Κολοράντο, σε βράχια απολιθώμα ψαριού, απολιθωμένο ψάρι στο Γκριν Ρίβερ των ΗΠΑ, κουνούπι εγκλωβισμένο μέσα σε κεχριμπάρι ή αμμωνίτη στη Χιλή.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΣΤΑΘΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Το 1953 αποτελεί σταθμό για την έρευνα σχετικά με την προέλευση της ζωής. Η συστηματική μελέτη για την προέλευση της ζωής ξεκινά το 1953, δηλαδή τη χρονιά που οι Γουάτσον και Κρικ αναλύουν τη δομή της διπλής έλικας DNA. Το 1953 με τις τρεις μεγάλες ανακαλύψεις –των πειραμάτων προσομοίωσης του Μίλερ, της αλληλούχησης πρωτεϊνών του Σάγκερ και της ανάλυσης της διπλής έλικας του DNA– θεωρείται πραγματικός σταθμός για τη ροή της πληροφορίας που σήμερα γνωρίζουμε ενώ μπορούμε επίσης να κάνουμε υποθέσεις και για το παρελθόν. Σήμερα γνωρίζουμε πολύ καλά σύμφωνα με το κεντρικό δόγμα της βιολογίας ότι το DNA μπορεί να αντιγράφεται, να μεταγράφεται σε RNA και να μεταφράζεται σε πρωτεΐνες.

Τόσο το DNA όσο και το RNA έχουν τρόπο να αντιγράφονται, να πολλαπλασιάζονται. Το ερώτημα είναι: Κατά την προβιοτική εποχή τι ξεκίνησε πρώτο; Υπήρχαν οι πρωτεΐνες, τα ένζυμα; Πού μπόρεσαν να καταλύσουν πολλές από

Το κεντρικό δόγμα της μοριακής γενετικής. Τα συνεχή βέλη δείχνουν τους τύπους της μεταφοράς της γενετικής πληροφορίας που συμβαίνει σε όλα τα κύτταρα. Οι ιδιαίτεροι τύποι μεταφοράς σημειώνονται με διακοπόμενα βέλη. Η κατευθυνόμενη σύνθεση πρωτεϊνών από το DNA είναι άγνωστη προς το παρόν.

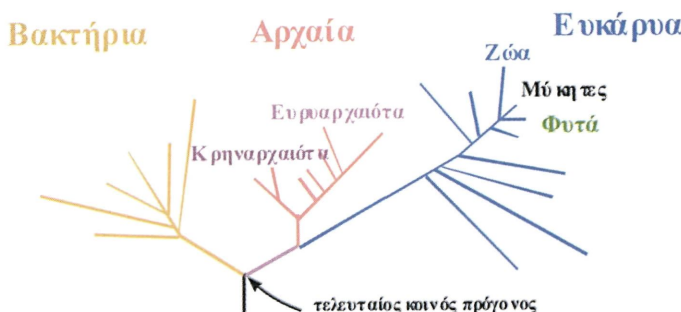


Σχηματική αναπαράσταση πιθανών σταδίων στον προ-RNA κόσμο (2)

τις πρωταρχικές αντιδράσεις; Γνωρίζουμε όμως ότι οι πρωτεΐνες δεν μπορούν να φτιάξουν RNA άρα η ροή των πληροφοριών δεν πηγαίνει προς αυτή την κατεύθυνση. Ωστόσο, οι θεωρίες υπάρχουν και μας λένε ότι πιθανώς να προϋπήρξε ο DNA ή ο RNA κόσμος ή πιθανόν να προϋπήρξε DNA και πρωτεΐνες ή RNA και πρωτεΐνες. Σήμερα, το πιο πιθανό φαίνεται να είναι τα μόρια του RNA, για πολλούς λόγους. Το RNA είναι πιο σταθερό, πολλαπλασιάζεται, παρουσιάζει και καταλυτικό χαρακτήρα ενώ μέσω της υδροξυλομάδας μπορεί να συμμετάσχει σε πάρα πολλές αντιδράσεις. Άρα από τις θεωρίες προκύπτει ότι ο κόσμος του RNA ήταν αυτός που πρωτοεμφανίστηκε και από τον κόσμο του RNA περάσαμε στον κόσμο του DNA και των πρωτεϊνών.

ΦΥΛΟΓΕΝΕΤΙΚΑ ΔΕΝΔΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΕ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΕΣ

Τα διάφορα φυλογενετικά δέντρα από τα οποία περιμένουμε να δούμε την εξέλιξη των περισσότερων από δέκα εκατομμύρια διαφόρων ειδών σήμερα περιλαμβάνει τρεις μόνο κατηγορίες. Παλαιότερα όλα τα είδη κατατάσσονταν σε πέντε κατηγορίες, αλλά το 1990 με πειράματα τα οποία έκανε ο Γουζ μελετώντας το RNA της μικρής υπομονάδας του ριβοσώματος ξεχώρισε ορισμένα χαρακτηριστικά και χώρισε το βασίλειο των ειδών που υπάρχουν γύρω μας σε τρεις μεγάλες επικράτειες: των βακτηρίων, των αρχαίων και των ευκάριων ή ευκαρυωτικών κυττάρων. Τα ευκάρια τα ξεχωρίζουμε επειδή έχουν διαφορετικό τρόπο να διπλασιάζουν το DNA τους, έχουν διαφορετικά ένζυμα, κ.λπ.



Το φυλογενετικό δένδρο όπως το πρότεινε ο Woese με αναπαράσταση μόνο κάποιων κύριων κλάδων (12)

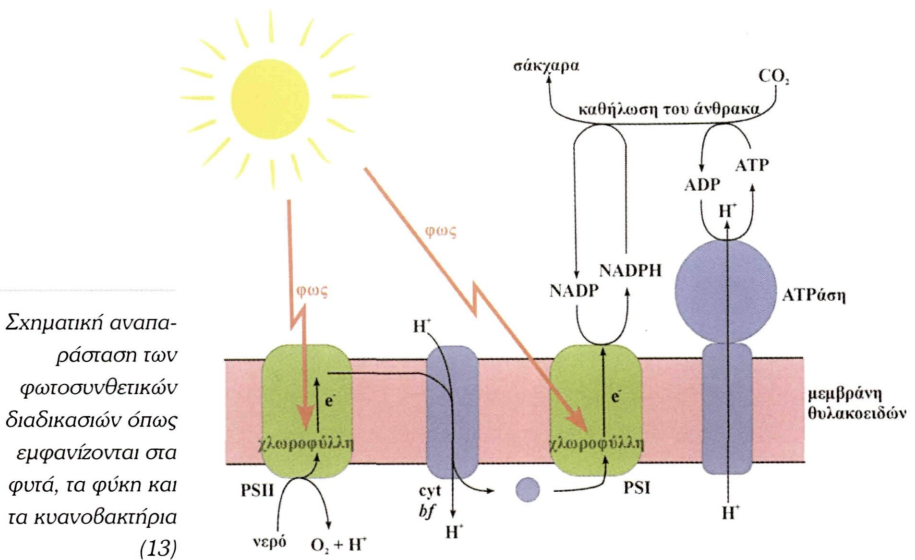
ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Τα κυανοβακτηρίδια, ενώ έχουν τα στοιχεία των βακτηρίων, ωστόσο κάνουν φωτοσύνθεση. Η αναγωγική ατμόσφαιρα, η οποία προϋπήρξε κάποτε, πριν από πολλά χρόνια θα πρέπει να μετατράπηκε σε οξειδωτική, όπως είναι σήμερα. Σήμερα ζούμε με βάση το οξυγόνο. Αν δείτε τη δομή ενός βακτηρίου είναι απλή, έχει μέσα το DNA του, τα ριβοσώματά του, το κυτταρικό τοίχωμα και μπορούμε να το συγκρίνουμε με τα αρχαία ή αρχαιοβακτηρίδια. Τα αρχαία, πάλι, είναι οργανισμοί οι οποίοι ζουν σε παράξενα μέρη. Πολλά

βακτήρια που μπορούν να επιζήσουν χωρίς οξυγόνο έχουν μηχανισμούς που μπορούν να φτιάξουν μεθάνιο και στη συνέχεια οξικό οξύ. Από το οξικό οξύ με μεταβολικές αντιδράσεις θα οδηγήσουν σε δομές που απαιτεί ένα τέτοιο πολύπλοκο κύτταρο.

Όμως έγινε μια καταπληκτική επανάσταση στο πέρασμα των 3,6 δισεκατομμυρίων χρόνων, από τότε δηλαδή που θεωρούμε ότι πρωτοεμφανίστηκε ο πρώτος πρόγονος, το πρώτο κύτταρο. Μπορούμε να δούμε πώς ξεκινάει ο μηχανισμός που ονομάζεται φωτοσύνθεση. Είναι ένας εκπληκτικός, επαναστατικός μηχανισμός, ο οποίος χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για να μπορέσει από μόρια νερού και διοξειδίου του άνθρακα να φτιάχνει γλυκόζη, που δίνει τελικά άμυλο, κυτταρίνη και απελευθερώνει στο περιβάλλον οξυγόνο O_2 .

Από τα πειράματα του Κέλβιν γνωρίζουμε ότι το οξυγόνο το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από μόρια νερού. Άρα υπάρχει μια ανακύκλωση, καθώς το οξυγόνο της θάλασσας, των ποταμών επανέρχεται και το αναπνέουμε για να μπορέσουμε να επιζήσουμε. Επομένως, ο μηχανισμός της φωτοσύνθεσης μάς δίδει τα φυτά, τα δέντρα, τα λουλούδια, τους καρπούς.



Θα πρέπει να τονιστεί ότι η φύση για τον καθένα από εμάς φτιάχνει 70 kg κυτταρίνης ανά ημέρα. Τοποθετούμε τη φωτοσύνθεση μέσα στη δημιουργία του κόσμου και στην εξέλιξη, διότι με τα δύο φωτοσυστήματα με τα οποία προσλαμβάνεται η ηλιακή ακτινοβολία και με τα μόρια των χλωροφυλλών αποθηκεύεται χημική ενέργεια με μορφή ATP και παράγεται οξυγόνο, σάκχαρα και κυτταρίνη. Τα δύο φωτοσυνθετικά συστήματα απορροφούν την ακτινοβολία στα 700 και 680 nm με τη βοήθεια της χλωροφύλλης α και β. Το φάσμα απορρόφησης της χλωροφύλλης α και β, παρόλο που απορροφούν στο ιώδες και στο ερυθρό, διαφέρει αρκετά και το ερώτημα είναι κατά πόσον οι χλωροφύλλες που ξέρουμε σήμερα είναι αυτές που έκαναν φωτοσύνθεση εδώ και εκατομμύρια χρόνια. Υπάρχουν σήμερα εκπληκτικές δημοσιεύσεις που μας δείχνουν την εξέλιξη του φωτοσυνθετικού μηχανισμού, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο προήλθαν πολλές χλωροφύλλες ή βακτηριοχλωροφύλλες.

ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΔΑΡΒΙΝΙΣΜΟΣ

Η ποικιλομορφία, που καταγράφηκε για πρώτη φορά από τον Λαμάρκ το 1801, περιγράφει πως οι οργανισμοί δεν είναι κάτι το αμετάβλητο, δεν είναι αμετάβλητα προϊόντα αλλά προϊόντα δράσης της δημιουργίας, τα οποία αναπτύχθηκαν σε διαφορετικές κατευθύνσεις ως προϊόντα πολλών μεταλλάξεων λόγω προσαρμογής τους στο περιβάλλον. Η περίφημη περίοδος του λαμαρκισμού κρατάει περίπου πενήντα χρόνια. Ο λαμαρκισμός εξηγεί πώς προκύπτουν τα είδη μας, βιολογικά, νομοτελειακά και κατευθυνόμενα. Τελεολογικά, προσαρμόζονται οι οργανισμοί στο περιβάλλον τους, αλλιώς δεν επιζούν (14).

Η δυνατότητα που έχουν τα κύτταρα να μεταβιβάζουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά είναι κάτι το οποίο ξέρουμε ότι οφείλεται στο DNA. Μετά από πενήντα χρόνια, σχεδόν ταυτόχρονα, ο Ουάλας και ο Δαρβίνος –σε μια επιστημονική συνάντηση στη Βασιλική Ακαδημία του Λονδίνου το 1858– ανακοίνωσαν την ίδια επιστημονική πληροφορία με μικρές διαφορές. Την εποχή του Δαρβίνου, ο Μέντελ είχε διατυπώσει τη δική του θεωρία για το πώς μεταβιβάζονται τα γονίδια, αλλά η θεωρία του Μέντελ πέρασε στα βιβλία μόλις στις αρχές του 19ου αιώνα.

Ο Ουάλας περιγράφει ότι η κινητήρια δύναμη είναι η διατήρηση του καταλλήλου, δηλαδή η ποικιλομορφία οργανισμών σε ένα δεδομένο περιβάλλον. Ό,τι είναι πιο ευκολοπροσάρμοστο θα βρει τον κατάλληλο χώρο, το κατάλληλο περιβάλλον και ο οργανισμός αυτός θα μπορέσει να επιζήσει (14).

Ο Δαρβίνος, στο βιβλίο που συνέγραψε πολύ γρήγορα αφότου επέστρεψε ύστερα από δέκα χρόνια στα νησιά Γκαλαπάγκος, συνομίλησε με τον Ουάλας και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η προέλευση των ειδών είναι αποτέλεσμα της φυσικής επιλογής των ειδών. Μόνο τα είδη που μπορούν να προσαρμόζονται μπορούν να επιβιώσουν και να εξελιχθούν. Την ίδια περίπου πληροφορία διατύπωσαν και οι δύο. Η προέλευση των ειδών έχει επομένως μέσα της τη φυσική επιλογή, αυτή η φυσική επιλογή έχει προσαρμοστικότητα και με βάση αυτή την ιδιότητα μπορούν να εξελίσσονται. Η θεωρία του Δαρβίνου ήταν καλή, χωρίς λάθη όχι όμως πλήρης, όπως αποδεικνύεται με τις νέες ανακαλύψεις.

Στη συνθετική θεωρία, που είναι πλέον γνωστή και ως νεοδαρβινισμός, έχουμε τη φυσική επιλογή ως ουδέτερη εξέλιξη. Ο πατέρας αυτής της θεωρίας, η οποία δεν μπορεί να καταρριφθεί εύκολα, είναι ο Θεοδόσιος Ντομπζάνσκι, που υποστηρίζει ότι οι μεταλλάξεις διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στη δημιουργία της γενετικής ποικιλομορφίας, αλλά η διατήρησή τους στον πληθυσμό κατευθύνεται και εξαρτάται αποκλειστικά από τη φυσική επιλογή (15). Με άλλα λόγια, συμφωνεί με αυτά που μας λέει ο Δαρβίνος, με τη μόνη διαφορά ότι τώρα γνωρίζει πως η πληροφορία μεταβιβάζεται από το DNA και αυτή η πληροφορία δεν παραμένει άθικτη. Μπορεί και επιδέχεται πάρα πολλών ειδών μεταλλάξεις. Συνεπώς, τα νέα είδη των οργανισμών, όπως φαίνεται, εμφανίζονται μέσω της αναπαραγωγικής απομόνωσης τμημάτων του αρχικού πληθυσμού, σε συνάρτηση με τη σταδιακή συσσώρευση νέων μεταλλάξεων. Κάνει λόγο για ύπαρξη νέων ειδών. Εμφανίζονται νέα είδη μέσω αναπαραγωγικής απομόνωσης. Αν για παράδειγμα από έναν πληθυσμό απομονώσουμε ένα είδος και το αφήσουμε να πολλαπλασιάζεται για πολλά χρόνια, θα υποστεί μεταλλάξεις και κάποια στιγμή τα είδη που θα προκύψουν δεν θα μπορούν μεταξύ τους να διασταυρωθούν (14). Επομένως ή θα πρέπει να πεθάνουν ή θα προκύψει ένα νέο είδος. Τα νέα είδη των οργανισμών εμφανίζονται μέσω ανα-

παραγωγικής απομόνωσης. Η εξέλιξη έχει θεωρηθεί μια δημιουργική διεργασία. Πράγματι η εξέλιξη απετέλεσε μια δημιουργική εργασία και μάλλον μη αντιστρέψιμη. Ό,τι έχει συμβεί δεν μπορούμε να το αντιστρέψουμε, δεν μπορούμε να γυρίσουμε πίσω. Είναι μια δημιουργική εργασία, σαν αυτές που μπορεί να κάνει ένας καλλιτέχνης: να σμιλέψει ένα πολύ ωραίο άγαλμα, να ζωγραφίσει ένα πολύ ωραίο πίνακα, να συνθέσει ένα συμφωνικό κομμάτι. Με βάση τα παραπάνω, η εξέλιξη για τους βιολόγους είναι μια δημιουργική διεργασία (15).

Πρόσφατα, με τη δημοσίευση της ανάλυσης του γονιδιόματος του χιμπατζή, δείχθηκε πως σε επίπεδο βάσεων στο DNA ο άνθρωπος διαφέρει από τον χιμπατζή μόνο κατά 1%, ενώ οι πρωτεΐνες μας διαφέρουν σε λιγότερο από δύο αμινοξέα (16). Εντυπωσιακές ήταν και οι διαφορές μας στις μη κωδικοποιούμενες περιοχές του DNA, στις οποίες είτε εισήλθαν είτε εξαλείφθηκαν αλληλουχίες βάσεων, με αποτέλεσμα η συνολική διαφορά του ανθρώπου από τον χιμπατζή να κυμαίνεται στο 4% περίπου.

Αν θέλαμε να κάνουμε μια μικρή αναφορά στην εξέλιξη των ειδών στο πέρασμα του χρόνου, θα ξεκινούσαμε από τον σχηματισμό της Γης πριν από



Ο χιμπατζής του οποίου αναλύθηκε το γονιδίωμα (16)

4,6 δισεκατομμύρια χρόνια, θα πηγαίναμε στην υδρόσφαιρα, στην προβιοτική εποχή, στον προ-RNA κόσμο, και τότε θα εμφανιζόταν η πρώτη μορφή ζωής με συμμετοχή του DNA και των πρωτεϊνών (1,2). Θα πρέπει να δεχτούμε ότι όλα αυτά δεν έγιναν τυχαία. Εμείς μπορούμε να φανταστούμε ένα πρώτο ξεκίνημα που να δημιουργεί το Σύμπαν, σε κάποια στιγμή του παρελθόντος τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης. Υπάρχουμε γιατί έγινε το πρώτο ξεκίνημα. Κάτι ξεκίνησε και αυτό εξελίχθηκε μέχρι σήμερα. Άρα συνέβη μια σειρά από αλυσιδωτές αντιδράσεις που η ενέργειά τους –ή το τέλος τους– δεν μπορεί από κανέναν να προβλεφθεί. Ο άνθρωπος, μέσα σε αυτόν τον κύκλο, προβάλλει ως ένας ηθοποιός του σύμπαντος που εγωιστικά ψάχνει τη δική του προέλευση. Προσπαθούμε να δούμε από πού προήλθαμε, να δούμε τους εαυτούς μας μέσα σε αυτή τη ματαιοδοξία και να διαπιστώσουμε εγωιστικά ότι είμαστε κάτι το ασύγκριτο, κάτι το θαυμαστό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κυριακίδης Δ.Α., *Προέλευση της ζωής: ένα χημικό μυστήριο* Θεσσαλονίκη, ΖΗΤΗ, 2001.

Μπαμπάτσικος Χ. και Κυριακίδης Δ.Α., *Προέλευση της ζωής: Θεωρίες και πειραματικές προσεγγίσεις*, ΕΙΕ, 2006 (υπό εκτύπωση).

Sneden C., «The age of the Universe», *Nature*, 409(2001), 673-675.

Oparin A.I., *Proiskhozhdenie Zhizny [The Origin of Life]*, Moscow, Izd. Moskovskiy Rabochiy, 1924.

Haldane J.B.S., «The origin of life», *Rationalist Annual*, 1929, 148-169.

Lehniger A.L., *Biochemistry*, Wooth Publisher Inc., 1992.

Miller S.L., Urey H.C. and Oro J., «Origin of organic compounds on the primitive earth and in meteorites», *J Mol Evol*, 9(1976), 59-72.

Orgel L.E., «The origin of life-a review of facts and speculations», *Trends in Biochemical Sciences*, 23(1998), 491-495.

Fox S.W. and Dose K., *Molecular evolution and the origin of life*, San Francisco, Freeman, 1972.

National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), www.photolib.noaa.gov/nurp/images/big/nur04512.jpg

Reysenbach A.L. and Cady S.L., «Microbiology of ancient and modern hydrothermal systems», *TRENDS in Microbiology*, 19(2001), 79-86.

Woese C.R., Kandler O. and Wheelis M.L., «Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya», *Proc Natl Acad Sci U S A*, 87(1990), 4576-4579.

<http://photoscience.la.asu.edu/photosyn/education/photointro.html>

Ροδάκης Γ.Κ., *Εισαγωγή στην εξελικτική βιολογία*, Αθήνα, Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας, 2001.

Dobzhaasky T., *Η γενετική της εξελικτικής πορείας*, (Μετάφραση Κ. Καστρίτση) Columbia Univ. Press, 1985.

Culotta E. and Pannisi E., «Breakthrough of the year: Evolution in action», *Science*, 310(2005), 1878-1879.