



## Το γενετικό μήνυμα ως κείμενο

*Ένα κείμενο δεν είναι κείμενο παρά μόνο εάν κριθεί σε πρώτη όψη, στον πρώτο τυχό-  
ντα, το νόμο της σύνθεσής του και τους κανόνες του παιχνιδιού του.*

*Jacques Derrida*

### **Η ιστορικότητα της βιολογίας**

Ήδη από τον καιρό της «επιστημονικής επανάστασης» (17ος αι.) και ακόμη εντονότερα από τον προηγούμενο αιώνα φαίνεται να έχει επέλθει μία οριστική ρήξη μεταξύ «ανθρωπιστικών» και «θετικών» επιστημών. Η ρήξη αυτή αφορά τόσο στον τύπο των ερωτημάτων που αυτές καλούνται να απαντήσουν όσο και στις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούν. Γενικότερα, η ρήξη φαίνεται να εκτείνεται όχι μόνο μεταξύ των δύο τούτων ομάδων επιστημών, αλλά και μεταξύ του ανθρώπου και του κόσμου που τον περιβάλλει. Ο κορυφαίος Γάλλος βιολόγος Jacques Monod γράφει το 1970, στο βιβλίο του «η Τύχη και η Αναγκαιότητα», ότι «...ο Άνθρωπος θα πρέπει επιτέλους να ξυπνήσει από το χιλιόχρονο ονειροπόλημά του και ν' ανακαλύψει την ολοκληρωτική του μοναξιά, τη ριζική παραδοξότητά του. Ξέρει πιά ότι, σαν το Γύφτο, βρίσκεται στο περιθώριο του σύμπαντος όπου είναι υποχρεωμένος να ζήσει. Ενός σύμπαντος που κωφεύει στη μουσική του, αδιάφορο για τις ελπίδες του καθώς και για τα βάσανά του ή για τα εγκλήματά του».

Παράλληλα με αυτή την αναμφισβήτητη κυριαρχούσα τάση στην επιστημονική σκέψη, ο αντίλογος, κάποτε ρητός αλλά συνήθως υπολανθάνων, ήταν επίσης πάντοτε υπαρκτός. Τούτος «αρδεύεται» βεβαίως από τον πόθο για ενότητα που ενυπάρχει στην ανθρώπινη σκέψη και εκφράζεται στην τέχνη, στη φιλοσοφία, αλλά συχνά και στα γραπτά των ιδίων των επιστημόνων. Επίσης, η ανάμνηση του αιτήματος για τον *Homo Universalis*, που κυριάρχησε κατά τα πρώτα βήματα της ανάπτυξης της νεότερης σκέψης, παραμένει πολύ πρόσφατη για να υποσκελιστεί ολοκληρωτικά από τον κατακεραματισμό των γνωστικών πεδίων και τη θετικιστική-αναγωγιστική τάση που επακολούθησε. Μπορούμε ακόμη να υποστηρίξουμε ότι οι θεμελιώδεις ανακαλύψεις, στις οποίες υπήρξε ιδιαίτερα πλούσιος ο 19ος αιώνας, φέρουν εν δυνάμει, ακριβώς λόγω της εμβλείας τους, μία πνοή ενοποίησης στην κατανόηση του κόσμου. Αρχικά βεβαίως φαίνεται ότι καθεμιά απ' αυτές απλώς ξεκινά μία ακό-

μη «νέα» επιστήμη, που συχνά μάλιστα συνοδεύεται από μία ισχυρή αναγωγιστική προδιάθεση. Τυπικό παράδειγμα μίας τέτοιας «επιστημονικής επανάστασης», που θα μας απασχολήσει και στη συνέχεια, υπήρξε η εισαγωγή της δαρβινικής θεωρίας για την εξέλιξη, που ολοκληρώθηκε στο νεοδαρβινικό «Παράδειγμα», η εξηγητική ισχύς του οποίου έχει χαρακτηρίσει ολόκληρη τη σύγχρονη βιολογία.

Επανερχόμενοι στην αρχική διαπίστωση της ρήξης μεταξύ ανθρωπιστικών και θετικών επιστημών, αναπόφευκτα θα σταθούμε στο έργο του Ilya Prigogine. Η συμβολή του σχετίζεται τόσο με την κατανόηση αυτής της διάστασης ως κεντρικού χαρακτηριστικού της εποχής μας όσο και με την ανίχνευση των δυνατοτήτων που διανοίγονται για την υπέρβασή της. Είναι ενδεικτικό ότι ο τίτλος του γνωστότερου, μη τεχνικού, βιβλίου του I.P. (γραμμένου σε συνεργασία με τη φιλόσοφο Isabelle Stengers) είναι στα γαλλικά "La nouvelle alliance" και παραπέμπει, όπως οι συγγραφείς ρητά δηλώνουν, στο απόσπασμα του Jacques Monod που ήδη έχουμε παραθέσει. Ο I.P. έχει αφιερώσει το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής του δραστηριότητας στην κατανόηση της χρονικής μη-αντιστρεπτότητας ως θεμελιώδους χαρακτηριστικού της φύσης, της οποίας εν τούτοις οι βασικοί δυναμικοί νόμοι (νευτώνεια, κβαντική και σχετικιστική φυσική) είναι αντιστρεπτοί. Σημείο εκκίνησης της πορείας του I.P. υπήρξε η θερμοδυναμική των ανοιχτών συστημάτων και αυτή η «θερμοδυναμική οπτική γωνία» χαρακτήρισε όλο το υπόλοιπο έργο του, που εκτείνεται από τη χημεία έως τη μικροφυσική.

Ο I.P. επιμένει σε όλο του το έργο στη διάκριση μεταξύ της «αχρονικής» οπτικής που υιοθετούν οι θετικές επιστήμες και της ιστορικής οπτικής που χαρακτηρίζει τις ανθρωπιστικές και κοινωνικές επιστήμες. Θα μπορούσαμε μάλιστα να πούμε (με μία δόση λυρισμού) ότι στόχος του έργου του έχει υπάρξει η επανάκτηση από την αντίληψη του ανθρώπου για τη φύση του χαρακτήρα της ιστορικότητας (που φαίνεται να έχει απολεσθεί εξαιτίας της επιστήμης) και ότι η αποκατάσταση αυτή μπορεί να λειτουργήσει ως «φάρμακο» για την «αποξένωση» από την οποία, όπως διέγινωε ο Monod, πάσχει ο σύγχρονος άνθρωπος.

Η αναζήτηση της σημασίας της χρονικής μη-αντιστρεπτότητας στο χώρο των (θετικών) επιστημών, στην οποία ενεπλάκησαν διανοητές της εμβέλειας του Prigogine και του Monod (καθώς και άλλοι, από τους οποίους ελάχιστους θα μπορούσαμε να αναφέρουμε στη συνέχεια), αναπόδραστα οδηγεί στον κομβικό ρόλο της βιολογίας. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η ιδιαίτερη σημασία της εξελικτικής θεωρίας έγκειται στο ότι κατέστησε τη βιολογία την κατ' εξοχήν ιστορική μεταξύ των θετικών επιστημών. Η συνεχής επιλογή, βάσει των περιορισμών που θέτει το περιβάλλον, επί της ποικιλότητας που δημιουργείται από τις τυχαίες μεταλλάξεις (τα σφάλματα στην αναπαραγωγή του γενετικού υλικού των οργανισμών), είναι ικανή να δημιουργεί νέες δομές και λειτουργίες, αλλά και νέους τύπους οργανισμών. Ο Manfred Eigen έχει δείξει ότι η εξελικτική-επιλεκτική διαδικασία είναι δυνατόν να έχει λειτουργήσει και στα προβιωτικά συστήματα τα οποία αποτελούνταν από πληθυσμούς αυτο-αναπαραγόμενων μακρομορίων (του τύπου των σημερινών RNA, DNA), τα οποία βρισκόνταν σε συνεχή «ανταγωνισμό». Αποτέλεσμα αυτού του ανταγωνισμού υπήρξε η επικράτηση των «βέλτιστων» αντιγράφων στο προ- και πρωτο-βιωτικό οικοσύστημα, τα οποία στη συνέχεια «χρησιμοποιώντας» ως εργαλεία πρωτεΐνες δόμησαν τους προγόνους των σημερινών κυττάρων. Ο κορυφαίος μαθηματικός Alan Turing έδειξε ότι συστήμα-

τα αντιδρώντων ουσιών που διαχέονται ελεύθερα σε ένα χώρο (δοκιμαστικός σωλήνας ερ-γαστηρίου, κύτταρο, ζωντανός οργανισμός), εφόσον στην αλληλεπίδρασή τους περιλαμβάνουν σε επαρκή βαθμό *αναδραστικούς βρόγχους*, δηλαδή εφόσον τα προϊόντα των αντιδράσεων διευκολύνουν ή αναστέλλουν τη δημιουργία τους, μπορούν να οδηγήσουν αυθόρμητα προς αυτοοργάνωση διαφόρων βαθμών. Πρόκειται είτε για ανάπτυξη χρονικών ταλαντώσεων, είτε για δημιουργία μορφών όπως τα σχήματα που παρατηρούνται στα δέρματα ζώων και ψαριών ή ακόμη για εμφάνιση σε οικοσυστήματα ποικίλων τύπων χωροχρονικής αυτοοργάνωσης (εδώ αντί για πληθυσμούς μορίων έχουμε ζωικούς πληθυσμούς και αντί για αυτοκατάλυση αναδραστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ ειδών). Μηχανισμοί αυτοοργάνωσης απαντώνται πέραν των χημικών ή πληθυσμιακών συστημάτων στη ρευστοδυναμική, τη φυσική υλικών και σε πληθώρα άλλων πεδίων. Αποδεικνύεται θεωρητικά και πειραματικά ότι σε ανοιχτά (σε επικοινωνία με το περιβάλλον) αναδραστικά συστήματα, το «δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα», αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στα κλειστά και σε κατάσταση ισορροπίας συστήματα, είναι παράγοντας ανάπτυξης τάξης και δημιουργίας δομής και λειτουργικότητας.

Η προσέγγιση που σύντομα σκιαγραφήσαμε παραπάνω, και που ενδεικτικά αναφέραμε ως κύριους συντελεστές της τους Turing, Eigen και Prigogine, συνιστά μία οπτική που επεκτείνει τη λογική του Εξελικτικού Παραδείγματος σε όλο το εύρος της βιολογίας. Προτείνει ότι η δημιουργία της ζωής δεν αποτέλεσε προϊόν ενός συμβάντος υψηλής ατιθανότητας (Monopod), αλλά θεωρεί τη «βίωση» ως ένα εκτεταμένο σύστημα με πρωτοφανή βαθμό πολυπλοκότητας και αναδραστικότητας, δομημένο προοδευτικά ως μία ιεραρχία επιπέδων, ικανό για τη συνεχή παραγωγή και «απομνημόνευση» νέας πολυπλοκότητας και λειτουργικότητας και εν τέλει για τη δημιουργία ενός ισχυρού «βέλους του χρόνου» (μη-αντιστρεπτότητας). Τούτο ισοδυναμεί με τη διασφάλιση αυτού που προηγουμένως αποκαλέσαμε ιστορικότητα της επιστήμης της βιολογίας.

### ***Γλωσσολογικά χαρακτηριστικά του γενετικού μηνύματος***

Η ανακάλυψη της δομής του DNA το 1953 και, στη συνέχεια, του γενετικού κώδικα το 1963, οδήγησε στην αναγνώριση της ύπαρξης σε κάθε οργανισμό ενός εξαιρετικά εκτεταμένου μηνύματος γραμμένου στο τετραγράμματο «αλφάβητο» των τεσσάρων βάσεων (A, G, C, T). Αυτές είναι οι τέσσερις, διαφορετικές μεταξύ τους, χαρακτηριστικές περιοχές (ομάδες) των κατά τα άλλα παρόμοιων μικρών οργανικών μορίων (νουκλεοτιδίων), που συνδεμένα μεταξύ τους σε τεράστιους αριθμούς και σε πρακτικά απεριόριστους συνδυασμούς (ακριβώς όπως τα γράμματα ενός κειμένου) σχηματίζουν γραμμικά «βιο-μακρομόρια» του DNA. Κάθε τέτοια μοριακή αλυσίδα συνδυάζεται με τη «συμπληρωματική» της για να σχηματίσουν μαζί το τελικό δίκλωνο ελικοειδές μόριο DNA. Η συμπληρωματικότητα εξασφαλίζεται με την ύπαρξη σε απέναντι θέσεις των δύο αλυσίδων (κλώνων) της έλικας, χημικά «συμπληρωματικών» βάσεων (A - T και G - C) που συναρμολογούνται σε ζεύγη. Έτσι, οι δύο αλυσίδες του μορίου DNA φέρουν την ίδια «πληροφορία». Εν τούτοις, η καταγραφή του γενετικού μηνύματος με τη μορφή του δίκλωνου DNA εξυπηρετεί τον αυτο-διπλασιασμό

του κατά τη διαίρεση του κυττάρου, όπου οι δύο αλυσίδες διαχωρίζονται και καθεμιά συνθέτει με τη βοήθεια κατάλληλου ενζυμικού μηχανισμού τη συμπληρωματική της. Κυρίως όμως, η ύπαρξη όλου του γενετικού μηνύματος σε δύο αντίγραφα με τη μορφή του δίκλωνου DNA επιτρέπει την αυτο-διόρθωσή του σε περιπτώσεις καταστροφής μίας μεμονωμένης βάσης (με χρήση της απέναντι συμπληρωματικής μέσω εξειδικευμένων ενζύμων).

Κατά τη διάρκεια της ζωής του κυττάρου, τμήματα του DNA του «ξετυλίγονται» και η μία τους αλυσίδα αντιγράφεται «βάση προς βάση» με τη βοήθεια κατάλληλου ενζυμικού μηχανισμού σε ένα ελαφρά διαφορετικό μακρομόριο, το RNA, το οποίο είναι μονόκλωνο. Τούτο, μετά από σειρά τροποποιήσεων, «διαβάζεται» από κατάλληλα υποκυτταρικά οργανίδια, τα ριβοσώματα, όπου γίνεται η σύνθεση των μορίων των πρωτεϊνών ως εξής: για κάθε τριάδα βάσεων του υπό ανάγνωση μηνύματος-RNA προστίθεται στο συντιθέμενο (μακρο-)μόριο πρωτεΐνης ένα (εκ των είκοσι δυνατών) «αμινοξέων», μέχρις ότου η συνάντηση μιας συγκεκριμένης τριάδας που σημαίνει STOP σηματοδοτεί την ολοκλήρωση της σύνθεσης του μορίου πρωτεΐνης. Οι πρωτεΐνες είναι βιομόρια με μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών τα οποία εξαρτώνται από την αλληλουχία των αμινοξέων που τις απαρτίζουν, άρα από την αλληλουχία των βάσεων του αντίστοιχου τμήματος του μορίου του DNA που τις «κωδικοποιεί». Οι πρωτεΐνες είναι τα κύρια δομικά και λειτουργικά συστατικά του κυττάρου και (σε γενικές γραμμές) αντιστοιχούν με τα κληρονομήσιμα χαρακτηριστικά του οργανισμού (γονίδια). Ως γονίδιο σήμερα χαρακτηρίζουμε εκείνο το τμήμα του DNA που κωδικοποιεί μία πρωτεΐνη. Το ποσοστό του συνολικού μήκους DNA που κωδικοποιεί πρωτεΐνες στο γενετικό υλικό (γονιδίωμα) ανώτερων οργανισμών είναι της τάξεως του 10%. Από το υπόλοιπο, ορισμένα τμήματα έχουν ρυθμιστικό ρόλο στο εάν και πότε θα ενεργοποιούνται οι παρακείμενες κωδικοποιούσες περιοχές, ενώ ο ρόλος του μεγαλύτερου μέρους του μη-κωδικοποιούντος DNA παραμένει ασαφής.

**A. - Πλεονασμός — Πολλαπλές εγγραφές — Περιοδικότητες.** Από τις 64 (4<sup>3</sup>) τριάδες (τριπλέτες, κωδικόνια) που μπορούν να πραγματοποιηθούν με τις τέσσερις βάσεις, οι 61 κωδικοποιούν τα είκοσι αμινοξέα που απαντώνται στις πρωτεΐνες. Οι υπόλοιπες τρεις είναι οι «τελείες», τα σημεία στίξης για τον τερματισμό της σύνθεσης του μορίου της πρωτεΐνης. «Γενετικός Κώδικας» ονομάζεται ο πίνακας αντιστοίχισης των δυνατών τριπλετών με τα αμινοξέα. Η ιδιότητα του κώδικα να κωδικοποιεί με περισσότερες της μίας τριάδες βάσεων (τριπλέτες) το ίδιο αμινοξύ ονομάζεται *πλεονασμός (redundancy)* ή εκφυλισμός (*degeneracy*). Πρέπει να σημειωθεί ότι ο πλεονασμός είναι ένα κατ' εξοχήν χαρακτηριστικό των ανθρώπινων γλωσσών<sup>1</sup>. Τούτο εκφράζεται από το γεγονός ότι ένα κείμενο γραμμένο σε μια οποιαδήποτε (φθογγική) γραφή, ακόμη και εάν απολέσει έως και το 30% των ψηφίων του από τυχαίες θέσεις, παραμένει απολύτως αναγνώσιμο. Σε ένα άλλο επίπεδο, έκφραση πλεονασμού των ανθρώπινων γλωσσών αποτελεί η δυνατότητα διατύπωσης περίπου ταυτόσημων νοημάτων κάνοντας διαφορετική επιλογή λέξεων. Τούτο κάνει δυνατή την πολλαπλή εγγραφή μηνυμάτων σε κείμενα, γεγονός που κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκε για την «κρυπτογράφηση» κρίσιμων μηνυμάτων σε «αθάνα», «φέροντα» κείμενα. Επίσης χρησιμοποιήθηκε στη σύνθεση «ακροστοιχίδων», κυρίως κατά το παρελθόν από ρομαντικούς ποιητές:

*Αγνή μου κόρη εύλαλος, αγγελική καρδιά  
 Να ζήσεις βίον εύχομαι τρισόλβιον γλυκύν  
 Να έχεις το βιβλίον σου τροφήν πνευματικήν  
 Ασχόλημά σου δ' άνετον τα ρόδα και τα ία  
 «Ημερολόγιον» του Σκώκου, 1896*

Βεβαίως η δυνατότητα αυτών των πολλαπλών εγγραφών, αν και υπαρκτή, μόνο περιθωριακά φαίνεται να χρησιμοποιείται στις ανθρώπινες γλώσσες. Επίσης περιθωριακή είναι η ύπαρξη κειμένων με περιοδικότητες (δηλαδή κειμένων με συχνή επανάληψη των ιδίων γραμμάτων ανά σταθερό αριθμό θέσεων). Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν τα ποιήματα που χαρακτηρίζονται από σταθερό ομοιοκατάληκτο στίχο.

Το γενετικό «κείμενο» χαρακτηρίζεται σε υψηλό βαθμό από αμφότερα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, δηλαδή ύπαρξη πολλαπλών εγγραφών (μηνυμάτων)<sup>2</sup>, και μάλιστα συχνά προς διαφορετικούς «παραλήπτες», καθώς και ύπαρξη περιοδικοτήτων<sup>3</sup>. Με χρήση απλών αλγορίθμων είναι δυνατόν μετά την ανάγνωση, συνήθως με χρήση υπολογιστή, σχετικά μακρών ακολουθιών DNA, να οδηγούμαστε στην κατασκευή γραφήματος που εντοπίζει την τάση μεμονωμένων βάσεων ή και ολόκληρων μοτίβων (διπλετών, τριπλετών κ.λπ.) να επαναλαμβάνονται σε σταθερές αποστάσεις. Πρώτα εντοπίστηκε σε πληθώρα κωδικοποιουσών ακολουθιών η γενική τάση επαναλήψεων βάσεων ανά τρεις<sup>3</sup>. Τούτο βρέθηκε ότι οφείλεται στο γεγονός ότι στις περισσότερες πρωτεΐνες, ανάλογα με το ρόλο τους, ορισμένα κατά περίπτωση από τα είκοσι αμινοξέα απαντούν σε ιδιαίτερη αφθονία και κατά συνέπεια το ίδιο συμβαίνει στο DNA που τις κωδικοποιεί για ορισμένες από τις 64 τριπλέτες.

Επίσης εντοπίστηκε στις κωδικοποιούσες ακολουθίες τάση επανάληψης της βάσης G ανά τρεις θέσεις (π.χ. ...GXXGXXXXXXXXXXGXXXXXGX..., όπου X κάθε άλλη βάση). Ως αιτία τούτου προτάθηκε, και μόνο αργότερα επιβεβαιώθηκε πειραματικά, η ύπαρξη βοηθητικών μορίων RNA, που ξανά ανά τρεις θέσεις έχουν τη βάση C (που όπως έχουμε δει «συναρμόζεται» επιλεκτικά με την G), στο τμήμα εκείνο του ριβοσώματος που λειτουργεί ως «κεφαλή ανάγνωσης» του μηνύματος-RNA, διαβάζοντάς το κατά τριάδες ώστε να προστίθενται τα σωστά αμινοξέα στην υπό σύνθεση πρωτεΐνη. Η κατασκευή αυτή δίνει στο μήνυμα-RNA το πλεονέκτημα να «κουμπώνει» με ασφάλεια επάνω στο ριβόσωμα αποφεύγοντας το ενδεχόμενο της ολίσθησής του κατά μία ή δύο βάσεις, οπότε η αλλαγή «πλαισίου ανάγνωσης» θα είχε ως αποτέλεσμα τη λάθος σύνθεση όλου του υπολοίπου του πρωτεϊνικού μορίου<sup>2</sup>.

Στο σύνολο του DNA, σε κωδικοποιούσες και μη περιοχές, ανευρίσκεται μία περιοδικότητα μήκους 10.5 βάσεων. Προσδιορίστηκε ότι τούτη οφείλεται στη συχνή ύπαρξη, κατά διαστήματα μήκους 10-11 βάσεων, της δυάδας AA, η οποία είναι ιδιαίτερα ογκώδης. Η απόσταση των 10.5 βάσεων είναι ακριβώς το «βήμα» της διπλής έλικας και τούτο έχει ως αποτέλεσμα τη βαθμιαία κάμψη της, δημιουργώντας μία συστροφή απαραίτητη για το «πακετάρισμα» των μακρότατων αυτών μορίων στον περιορισμένο χώρο του πυρήνα<sup>2, 3</sup>.

Τα δύο παραπάνω φαινόμενα συνιστούν τυπικές περιπτώσεις «πολλαπλής εγγραφής» μηνυμάτων στην ίδια περιοχή του DNA, η μία με παραλήπτη το ριβόσωμα, η άλλη με παραλήπτη τη συνολική γεωμετρία του χρωμοσώματος, ενώ η ίδια αλληλουχία βάσεων μπορεί

να χρησιμεύει και για κωδικοποίηση πρωτεΐνης! Η πολλαπλή κωδικοποίηση/εγγραφή είναι εφικτή λόγω του προαναφερθέντος «πλεονασμού» του Γενετικού Κώδικα, οπότε η εξέλιξη, όταν αυτό ήταν χρήσιμο, επέλεγε για την εγγραφή ενός συγκεκριμένου αμινοξέος, από τις «συνώνυμες» τριπλέτες που το κωδικοποιούν, εκείνη η οποία ταυτοχρόνως κάλυπτε και τις υπόλοιπες ανάγκες για τη δεδομένη θέση.

Η «πολλαπλή εγγραφή» δύο ή και περισσότερων πρωτεϊνών στην ίδια περιοχή του χρωμοσώματος είναι συχνή σε οργανισμούς που έχουν περιορισμούς στο συνολικό μήκος DNA που μπορούν να φέρουν, όπως τα μικρόβια και κυρίως οι ιοί. Συχνά σε μία περιοχή που κωδικοποιεί το τέλος ενός πρωτεϊνικού μορίου, κωδικοποιείται και η αρχή ενός άλλου. Τα αμινοξέα των πρωτεϊνικών αυτών περιοχών μπορεί να είναι ίδια ή και τελείως διαφορετικά, στην περίπτωση που η ανάγνωση της δεύτερης πρωτεΐνης αρχίζει από βάση η οποία δεν είναι πρώτη βάση αμινοξέος της προηγούμενης. Τότε λέμε ότι οι δύο πρωτεΐνες είναι εγγεγραμμένες σε διαφορετικά «πλαίσια ανάγνωσης». Τέλος, είναι δυνατόν οι αμινοξικές ακολουθίες διαφορετικών πρωτεϊνών να είναι εγγεγραμμένες στις δύο συμπληρωματικές (απέναντι) αλυσίδες της ίδιας περιοχής του μορίου DNA.

**B.- Πολικότητα.** Ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό των ανθρώπινων γλωσσών είναι η πολικότητα. Τα κείμενα δηλαδή αναγινώσκονται αποδίδοντας νόημα μόνο κατά τη μία φορά. «Καρκινικές» φράσεις (π.χ. *ΝΙΨΟΝΑΝΟΜΗΜΑΤΑΜΗΜΟΝΑΝΟΨΙΝ*) ή ονόματα και λέξεις (*ANNA, ΣΑΒΒΑΣ, ΣΟΦΟΣ*) αποτελούν ηθελημένες ή μη εξαιρέσεις. Το γενετικό μήνυμα είναι επίσης κατά κανόνα πολικό, με ελάχιστες εξαιρέσεις ενός συγκεκριμένου τύπου (τις λεγόμενες ανάδρομα επαναλαμβανόμενες περιοχές), που έχουν συγκεκριμένη μοριακή λειτουργικότητα.

**Γ.- «Νόμοι Δύναμης».** Ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα της μαθηματικής γλωσσολογίας είναι η διατύπωση του λεγόμενου «Νόμου του Zipf»<sup>4</sup>: Έστω ένα εκτεταμένο κείμενο γραμμένο σε μία γνωστή ή και άγνωστη γλώσσα. Αριθμούμε τις διαφορετικές λέξεις που ανευρέθηκαν στο κείμενο (ως λέξεις εννοούμε αλληλουχίες γραμμάτων που περιλαμβάνονται μεταξύ δύο κενών) με τον αριθμό 1 για τη συχνότερη, 2 για την επόμενη από άποψη συχνότητας, κ.λπ. Χαράσσουμε το γράφημα όπου ως τετμημένη τίθεται η παραπάνω αρίθμηση και ως τεταγμένη η σχετική συχνότητα της κάθε λέξης. Ο Νόμος του Zipf λέει ότι στα κείμενα με νόημα το γράφημα αυτό είναι γραμμικό σε διπλή λογαριθμική κλίμακα. Τέτοιες κατανομές συχνότητων, μεγεθών κ.λπ. που δίνουν γραμμικά γραφήματα σε διπλή λογαριθμική κλίμακα ονομάζονται *νόμοι δύναμης* και παίζουν κεντρικό ρόλο στην αναζήτηση αυτομοιότητας, “fractality” και «χαστικής συμπεριφοράς», ιδιοτήτων που κατά τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αντικείμενο εντατικής μελέτης σε πολλά και διαφορετικά γνωστικά πεδία.

Στο «γενετικό κείμενο» δεν ορίζονται εν γένει «λέξεις». Στα κωδικοποιούντα τμήματα μπορούν να θεωρηθούν ως λέξεις οι 64 τριάδες βάσεων (τριπλέτες). Όμως ο περιορισμένος αριθμός τους δεν επιτρέπει εντοπισμό συσχετίσεων του παραπάνω τύπου. Εν τούτοις έχουν βρεθεί πληθώρα κατανομών με χαρακτηριστικά «νόμου δύναμης» κατά τη μελέτη μεγάλων ακολουθιών DNA αλλά μόνο στις μη κωδικοποιούσες περιοχές. Τέτοιες κατανομές έχουμε όταν ως λέξεις θεωρούνται όλες οι δυνατές ν-άδες βάσεων ( $n = 6, 7, \dots$ ). Επίσης κατανομές με νόμο δύναμης βρίσκουμε στα μεγέθη των μη-κωδικοποιουσών περιοχών, δηλα-

δή των διαστημάτων που διαχωρίζουν μεταξύ τους περιοχές αλληλουχιών που κωδικοποιούν για τμήματα πρωτεϊνών, καθώς και σε άλλες περιπτώσεις<sup>5</sup>.

### ***Το γενετικό μήνυμα ως κείμενο***

Στο πρώτο μέρος της παρουσίασης αυτής αναφερθήκαμε στον ιστορικό χαρακτήρα της βιολογίας ως επιστήμης. Η ιστορία όμως εμφανίζεται αναπόδραστα συνδεδεμένη με την ιστοριογραφία. Συχνά η ιστορική προοπτική συναρτάται με ένα κείμενο (οι Εβραίοι, λαός που έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στην ιστορικότητα τόσο από κοσμολογική όσο και από τελεολογική σκοπιά, συνδέθηκε όσο ίσως κανείς άλλος με ένα Κείμενο). Σήμερα γνωρίζουμε ότι η βιολογική εξέλιξη έλαβε και συνεχίζει να λαμβάνει χώρα βάσει μίας ψηφιακής, μοριακής, κληρονομήσιμης, με πεπερασμένη ακρίβεια αναπαραγωγικής εγγραφής, του γενετικού μηνύματος (γονιδιώματος), το οποίο έχει, σε ένα τουλάχιστον σημαντικό βαθμό, τα χαρακτηριστικά κειμένου.

Το απόσπασμα του Jacques Derrida που παρατίθεται εισαγωγικά προέρχεται από το βιβλίο του με τίτλο «Πλάτωνος φαρμακεία» και συνεχίζεται ως εξής: «... Ένα κείμενο εξάλλου παραμένει πάντα αδιόρατο. Ο νόμος και οι κανόνες του δεν καταφεύγουν στο απρόσιτο ενός μυστικού, απλώς δεν προσφέρονται ποτέ, στο παρόν σε οτιδήποτε θα μπορούσε κανείς να ονομάσει, με την αυστηρή σημασία του όρου, αντίληψη». Ο Derrida στο βιβλίο αυτό πραγματεύεται σε μεγάλη έκταση και με ιδιαίτερη ενυποχία χαρακτηριστικά και λειτουργίες του κειμένου, τουλάχιστον όπως αυτά εντοπίζονται στο έργο του Πλάτωνα. Πολλές από τις επισημάνσεις του αναδεικνύουν με πρωτότυπο τρόπο στοιχεία κειμένου στο γενετικό μήνυμα.

Σε μία από τις παρατηρήσεις του ο J.D. τονίζει το ταυτόσημο μεταξύ της έκθεσης του κειμένου προς ανάγνωση και της έκθεσής του στον «κίνδυνο» αλλοίωσης ή προσθήκης. Είναι χαρακτηριστικό ότι όσο η κατανόηση των μοριακών διαδικασιών προχωρεί, αναγνωρίζουμε ότι με μία ταυτόχρονη κίνηση (χρησιμοποιώντας τη φράση του Derrida) το γενετικό μήνυμα εκτίθεται στην αντιγραφή, στην ανάγνωση, αλλά και στο ενδεχόμενο αλλοίωσης. Τέτοιες αλλοιώσεις (μεταλλάξεις) του γενετικού μηνύματος οδηγούν συνήθως σε αρνητικά αποτελέσματα για το άτομο, ενώ ταυτόχρονα κάποιες από αυτές μπορεί να αποδειχθούν ωφέλιμες, στη δεδομένη πάντα περιβαλλοντική συγκυρία. Αυτές οι μεταλλάξεις θεωρούμε ότι αποτελούν τον «κινητήρα» της εξέλιξης «βελτιώνοντας» το περιεχόμενο του γενετικού μηνύματος.

Η αμφισημία αποτελεί ένα ακόμη τυπικά «κειμενικό» χαρακτηριστικό του γενετικού μηνύματος. Γνωρίζουμε ότι σε σημαντικό αριθμό περιπτώσεων, με κρίσιμο αντίκτυπο στη δυνατότητα του οργανισμού να ανταποκρίνεται στη μεταβλητότητα του περιβάλλοντος, το γενετικό μήνυμα μπορεί να διαβαστεί με διαφορετικούς τρόπους. Τούτο μπορεί να συμβεί μέσω της λεγόμενης «εναλλακτικής συρραφής», όπου στο επίπεδο του μηνύματος-RNA η απάλειψη διαφορετικών του τεμαχίων οδηγεί σε παραγωγή διαφορετικών πρωτεϊνών. Τούτο συμβαίνει όταν στην αλληλουχία βάσεων της γύρω περιοχής υπάρχει μία «ηθελήμενη» ασάφεια. Σε άλλες περιπτώσεις, τα «συμφραζόμενα» του γενετικού μηνύματος μπορούν να



οδηγούν το ριβόσωμα να διαβάσει «λάθος» μία τριπλέτα STOP, με αποτέλεσμα αντί να τερματίσει την επιμήκυνση του πρωτεϊνικού μορίου, να διαβάζει το STOP ως αμινοξύ και να συνεχίζεται η πρωτεϊνική σύνθεση με τη συνέχεια του μηνύματος-RNA, έως ότου να ολοκληρωθεί όταν συναντήσει την επόμενη τριπλέτα STOP. Θα λέγαμε ότι εδώ η φύση συναγωνίζεται σε ευρηματικότητα το δελφικό χρησμό, όπου μία αμφιβολία σε σημείο στίξης μπορούσε να οδηγήσει σε διαφορετικά νοήματα. Και στις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις και οι δύο εκδοχές συμβαίνουν ταυτόχρονα με διαφορετική πιθανότητα η καθεμιά, παράγοντας στο κύτταρο δύο διαφορετικά πρωτεϊνικά προϊόντα του ίδιου γονιδίου.

Αποτελεί μία γενική τάση τόσο των ανθρώπινων γλωσσών όσο και ποικίλων «κωδίκων» επικοινωνίας που ενέχουν χαρακτήρα γλώσσας, να εμφανίζουν συνεχή μετατόπιση των *σημαινόμενων* (εννοιών, πραγμάτων) προς το ρόλο του *σημαίνοντος* (συμβόλου, «λέξης»). Τούτο χαρακτηρίζει τόσο την ιστορία του γενετικού μηνύματος όσο και τη βιολογική εξέλιξη στο σύνολό της. Σήμερα είναι γνωστό ότι τα προβιωτικά μακρομόρια ήταν αυτοδιπλασιαζόμενα «πολυνοουκλεοτίδια» τύπου RNA, τα οποία επιτελούσαν αυτοτελώς τις βασικές φυσικοχημικές λειτουργίες τις απαραίτητες για την «επιβίωσή» τους. Στην πορεία, από λειτουργούσες μονάδες (σημαινόμενα) μετατράπηκαν σε φορείς πληροφορίας (σημαίνοντα) παραχωρώντας το λειτουργικό ρόλο στις πολύ καταλληλότερες γι' αυτό το σκοπό πρωτεΐνες. Το κυρίως βιομόριο - φορέας πληροφορίας, το DNA, έχει υιοθετήσει μέσω της δομής της διπλής έλικας μία διαμόρφωση που θυμίζει την αντίστοιχη μορφή των βιβλίων: όπως αυτά στρέφουν προς τα έξω την ομοιομορφία του προστατευτικού τους «δεσίματος» ενώ η διαφορετικότητα του περιεχομένου τους εμφωλεύει στο κείμενο των σελίδων τους, έτσι η διπλή έλικα στρέφει προς τα έξω τον ομοιόμορφο «σακχαροφωσφορικό βασικό σκελετό» των αλυσίδων της, ενώ η αλληλουχία των βάσεων είναι προστατευμένη στο εσωτερικό της. Αντίθετα, οι πρωτεΐνες έχουν ποικίλο σχήμα και σύσταση, προσαρμοσμένα στη λειτουργία που επιτελεί εκάστη.

Η τάση μετατόπισης *σημαινόμενων* προς *σημαίνοντα* κυριαρχεί στα βιολογικά συστήματα και πέραν του γενετικού μηνύματος: Όσον αφορά ουσίες που στο επίπεδο του μεμονωμένου κυττάρου παίζουν ένα «χημικό» ρόλο (αναγωγικά συνένζυμα, πολύπλοκες οργανικές ενώσεις, πεπτιδικά κ.ά.), όταν κατά την εξέλιξη οδηγηθήκαμε στους πολυκύτταρους οργανισμούς, η έμφαση για πολλές από αυτές τις ουσίες μετατέθηκε αναμφισβήτητα στο ρόλο τους ως *σήματα*, σημεία απαραίτητα για το συντονισμό του οργανισμού ως αυτοτελούς μονάδας (ορμόνες, νευροδιαβαστές κ.λπ.). Σε ένα άλλο επίπεδο, μία πρωτεΐνη που συνόδευε τα σπερματοζωάρια ενός ψαριού ως «συντηρητικό» υποσκελίστηκε από άλλες ουσίες σε αυτό το ρόλο, ενώ η ίδια λειτουργεί ως ελκυστικός παράγοντας για τα θηλυκά του είδους.

### ***Καταληκτικές παρατηρήσεις***

Στο προηγούμενο μέρος τονίσαμε τη σχέση της ιστορικότητας της βιολογίας με την ύπαρξη στο μοριακό της υπόστρωμα ενός «γενετικού κειμένου». Επιστρέφοντας στο αρχικό αίτημα για επανασύνδεση των θετικών με τις ανθρωπιστικές επιστήμες, μπορούμε να

πούμε ότι αναδεικνύοντας το χαρακτήρα του γενετικού μηνύματος ως κειμένου, εμφανίζεται μία ακόμη δυνατότητα μεθοδολογικής σύγκλισης μεταξύ πεδίων που ανήκουν στις δύο αυτές γενικές επιστημονικές κατευθύνσεις. Μία αντίστοιχη προσπάθεια πραγματοποιείται κατά το τελευταίο διάστημα καθώς η δομή των κειμένων των ανθρώπινων γλωσσών αρχίζει να ιχνηλατείται με χρήση υπολογιστή, με μεθόδους από το χώρο της θεωρίας των κρίσιμων φαινομένων, της μη-γραμμικής δυναμικής και των χαοτικών ελκυστών<sup>6</sup>. Επίσης, σημαντικές δυνατότητες διανοίγονται από την ανάπτυξη, στο γενικότερο πλαίσιο της «Επιστήμης της Πολυπλοκότητας», του κλάδου της «Συμβολικής Δυναμικής»<sup>7</sup>, η οποία αναπτύσσει μεθοδολογίες χειρισμού αλληλουχιών συμβόλων (κειμένων με τη γενικευμένη έννοια) με εργαλεία του παραπάνω τύπου. Στους στόχους αυτής της προσέγγισης περιλαμβάνεται και η ποσοτικοποίηση της «εντροπίας»/αταξίας ενός κειμένου<sup>8</sup>, καθώς και του ουσιαστικού περιεχομένου πληροφορίας που τούτο φέρει. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι ο ορισμός της έννοιας της πληροφορίας που φέρει ένα κείμενο αποτελεί ανοιχτό πρόβλημα, εφόσον επιδιώκεται να νοηματοδοτείται από τη φύση του κειμένου και όχι να αποτελεί απλώς υπολογισμό του ισοδυνάμου σε bits (δυναδικές μονάδες πληροφορίας).

Συνοψίζοντας πρέπει να τονιστεί ότι δεν μπορούμε να μιλάμε για μια μοναδική γλώσσα του γενετικού μηνύματος. Το γονιδίωμα, ιδίως των ανώτερων οργανισμών, φέρει τμήματα με πολλούς και διαφορετικούς ρόλους, που «αναγινώσκονται» με διαφορετικούς κώδικες, είτε επάλληλους είτε παράλληλους, ενώ τα «κωδικοποιούντα» (για πρωτεΐνες) τμήματά του αποτελούν μικρό μόνο μέρος της συνολικής του έκτασης. Επίσης, η ιδιαίτερα γόνιμη αφαίρεση όπου το DNA αναπαρίσταται ως μία μονοδιάστατη αλληλουχία συμβόλων δεν πρέπει να μας κάνει να παραγνωρίζουμε τη σημασία για την ορθή «ανάγνωση» του μηνύματος που τούτο φέρει, της συνολικής του δομής στο χώρο, της φυσικοχημικής του υπόστασης, της δυναμικής του συμπεριφοράς και της αλληλεπίδρασής του με πληθώρα σημαντικών πρωτεϊνών. Εν τούτοις, το γονιδίωμα φαίνεται να παραμένει πρωτίστως ένα ιδιότυπο «κείμενο», γραμμένο μέσω της εξελικτικής διαδικασίας, όπου βεβαίως, όπως συμβαίνει και στα ανθρώπινα κείμενα, το υλικό και η φύση της μεθόδου γραφής επιδρά καθοριστικά στο μεταφερόμενο «μήνυμα».

Είναι γνωστό ότι ο λόγος σε μία ιδεογραμματική γραφή αποτυπώνεται και μεταφέρεται διαφορετικά από ό,τι σε μία φθογική γραφή, και ακόμη, ότι οι κριτικοί της λογοτεχνίας μιλούν για διαφορετικό ύφος κειμένων που γράφονται κατευθείαν σε υπολογιστή από αυτά που συντάσσονται στο χαρτί. Έτσι, ο τρόπος μοριακής γραφής που ετελέγη και αποκρυστάλλωθηκε κατά την εξέλιξη έχει καθοριστικά συμβάλει στη διαμόρφωση του φερομένου «νοήματος», δηλαδή στη σημερινή μορφή του έμβιου κόσμου. Εν τούτοις, πρέπει να παραμένουμε επιφυλακτικοί προς κάθε «μοριακό αναγωγισμό» που είναι φυσικό να συνοδεύει την «παιδική ηλικία» της μοριακής βιολογίας, η οποία άλλωστε έχει να επιδείξει πολύ σημαντικά επιτεύγματα, τόσο στο επίπεδο της κατανόησης του έμβιου όσο και στο επίπεδο των εφαρμογών.

*Το γενετικό κείμενο αποτελεί μία άκρως ιδιότυπη «προβολή» στο χώρο των βιομορίων - φορέων πληροφορίας, του οικοσυστήματος στο σύνολό του, από τη σκοπιά του συγκεκριμένου οργανισμού. Με την παραπάνω φράση, εννοούμε ότι η μη-γραμμική και αναδραστική δυναμική του οργανισμού ως πολύπλοκου συστήματος (complex system), κατά την αλ-*

ληλεπίδρασή του με το περιβάλλον, αναπτύσσει τη δυνατότητα «συλλογής» των νέων εκείνων στοιχείων που αποτελούν μορφώματα καινοφανούς ανάπτυξης, λειτουργικότητας ή συμπεριφοράς και που προκαλούνται στο «φαινότυπο» λόγω ορισμένων από τις τυχαίες μεταλλάξεις. Αυτή τούτη άλλωστε η «συλλογή» των μεταλλάξεων που προάγουν το έμβιον είναι μία αναδραστική επικοινωνία του οργανισμού (φαινοτύπου) με το γενετικό κείμενο που αυτός φέρει.

Εντυπωσιακό για την επίδειξη των δυνατοτήτων της σύζευξης ενός «παιγνίου τύχης» με έναν υψηλά μη-γραμμικό και πολύπλοκο μηχανισμό επιλογής (εδώ την ανθρώπινη όραση) είναι το computer game που εισάγει ο Richard Dawkins στο βιβλίο του «Ο Τυφλός Ωρολογοποιός». Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι ο ίδιος ο R.D. φαίνεται να μην αναγνωρίζει επαρκώς το «μη-αναγώγιμο» των σύνθετων διαδικασιών, όπως η οπτική αναγνώριση σχημάτων, στη δράση μεμονωμένων γονιδίων ή των γραμμικών τους αλληλεπιδράσεων. Αυτή η αναγωγή είναι ένα σημείο στο οποίο ο Dawkins επανέρχεται επίμονα, στα εν τούτοις πολύ ενδιαφέροντα βιβλία του.

Σε μία ακόμη σχηματική αναλογία, ας θυμηθούμε πώς συγγράφει, λόγω της αναπηρίας του, ο διάσημος φυσικός Steven Hawking: ο υπολογιστής του τον προμηθεύει κατά σχεδόν τυχαίο τρόπο με γράμματα ή λέξεις και εκείνος συνθέτει το κείμενο επιλέγοντας μέσα από αυτή τη ροή «σημαινόντων». Θα ήταν βεβαίως λάθος αν ισχυριζόμασταν ότι ο κύριος συντελεστής για τη συγγραφή των βιβλίων του Hawking είναι ο υπολογιστής του...

Ως κατακλείδα αξίζει να αναφέρουμε το σχόλιο του Derrida για τον Φαίδρο, όταν αυτός στον ομώνυμο διάλογο εμφανίζεται να έχει *κεκρυμένους υπό το ιμάτιον λόγους εν βιβλίοις*. «... Ένας λόγος (discours) εκφωνούμενος αυτοπροσώπως δε θα είχε (για τον Σωκράτη) το ίδιο αποτέλεσμα. Μόνο λόγοι εν βιβλίοις, λόγοι (paroles) που η εκφώνησή τους έχει αναβληθεί, που διατηρούνται ως απόθεμα, λόγοι διπλωμένοι, περιτυλιγμένοι, που τον υποχρεώνουν να τους περιμένει γιατί διαθέτουν το σχήμα και την προστασία του στερεού αντικειμένου, που τον αφήνουν να τους ποθεί όση ώρα είναι καθ' οδόν, μόνο γράμματα κρυμμένα μπορούν να παρασύρουν κατ' αυτό τον τρόπο τον Σωκράτη». Θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι οι ζωντανοί οργανισμοί, διαθέτοντας *υπό το ιμάτιον λόγους εν βιβλίοις*, διαθέτουν το *φάρμακον* (όπως αποκαλεί ο Πλάτων το κείμενο στον προαναφερθέντα διάλογο) το οποίο διά της μνήμης/υπομνήσεως διατηρεί τη συνέχεια του εμβίου και ταυτοχρόνως όλη τη δυναμική που το έχει δημιουργήσει.

## Βιβλιογραφία

- Ilya Prigogine & Isabelle Stengers, *Τάξη μέσα από το Χάος*, Εκδόσεις Κέδρος.  
 Jacques Monod, *Η Τύχη και η Αναγκαιότητα*, Εκδόσεις Ράππα.  
 T. S. Kuhn, *Η Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων*, Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα.  
 Jacques Derrida, *Πλάτωνος φαρμακεία*, Εκδόσεις Άγρα.  
 Richard Dawkins, *Ο Τυφλός Ωρολογοποιός*, Εκδόσεις Κάτοπτρον.  
 Κώστα Κριμπα, *Τα Δαρβινικά*, Εκδόσεις Ερμής.  
 James Gleick, *Χάος, μία νέα επιστήμη*, Εκδόσεις Κάτοπτρον.  
 ▽ Gregoire Nicolis & Ilya Prigogine, *Exploring Complexity* (W.H. Freeman & Co., N.York, 1989).  
 B. Alberts et al, *Molecular Biology of the Cell* (Garland Publishing, Inc. N.York & London, 1999).

**Σημειώσεις**

1. Shannon, C.E. (1948, 51), *Bell. Syst. Tech. J.* 27, 379- 30, 50.
2. Trifonov, E.N. (1989), *Bull. Math. Biol.* 51, 417.
3. Tsonis, A.A., Elsner, J.B. & Tsonis, P.A. (1991), *J. Theor. Biol.* 151, 323.
4. Zipf, G.K., *Human Behavior and the principle of Least Effort* (Addison-Wesley, N.York, 1949) - Mandelbrot B. (1954), *Word* 10, 1.
5. Mantegna. R.N. *et al.* (1995), *Phys. Rev. Let.* 23, 3169 - Provata, A. & Almirantis, Y. (1997), *Physica A*, 247, 482 - Almirantis, Y. & Provata, A. (1999), *J. Stat. Phys.* 97, 233.
6. Nicolis, J. S. & Katsikas A.A. (1994), In "Cooperation and Conflict in General Evolutionary Processes", Ed. J.L. Custi & A. Karlqvist, John Willey & Sons, Inc.
7. Nicolis, G., *Introduction to Nonlinear Science* (Cambridge U.P., 1995).
8. Ebeling, W. & Nicolis, G. (1992), *Chaos Solitons and Fractals* 2, 635.