

Εξελικτική Βιολογία

Εισαγωγή

Αριστοτέλης Παπαγεωργίου, Τμ. ΜΒΓ ΔΠΘ, apapage@mbg.duth.gr

Οι “μεταλλαγμένοι” λύκοι του Τσερνομπίλ



9 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2024, 13:08

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι λύκοι του Τσερνόμπιλ είναι άτρωτοι στον καρκίνο

Η προσαρμογή των σαρκοβόρων θηλαστικών στο ραδιενεργό περιβάλλον προκάλεσε γονιδιακές μεταλλάξεις που όπως φαίνεται ισχυροποίησαν τον οργανισμό τους απέναντι στην εμφάνιση καρκίνου. Το γεγονός μπορεί να αποδειχθεί ευεργετικό στις αντικαρκινικές έρευνες για τον άνθρωπο

Οι “μεταλλαγμένοι” λύκοι του Τσερνομπίλ

Τι είναι τελικά αληθές από
αυτό το ρεπορτάζ;

Πώς εξελίχθηκαν οι λύκοι να
αντέχουν την ραδιενέργεια;



Η Κάρα Λοβ, εξελικτική βιολόγος και οικοτοξικολόγος, εξέτασε πώς οι μεταλλαγμένοι λύκοι έχουν εξελιχθεί για να επιβιώσουν στο ραδιενεργό περιβάλλον τους (flcc.edu)

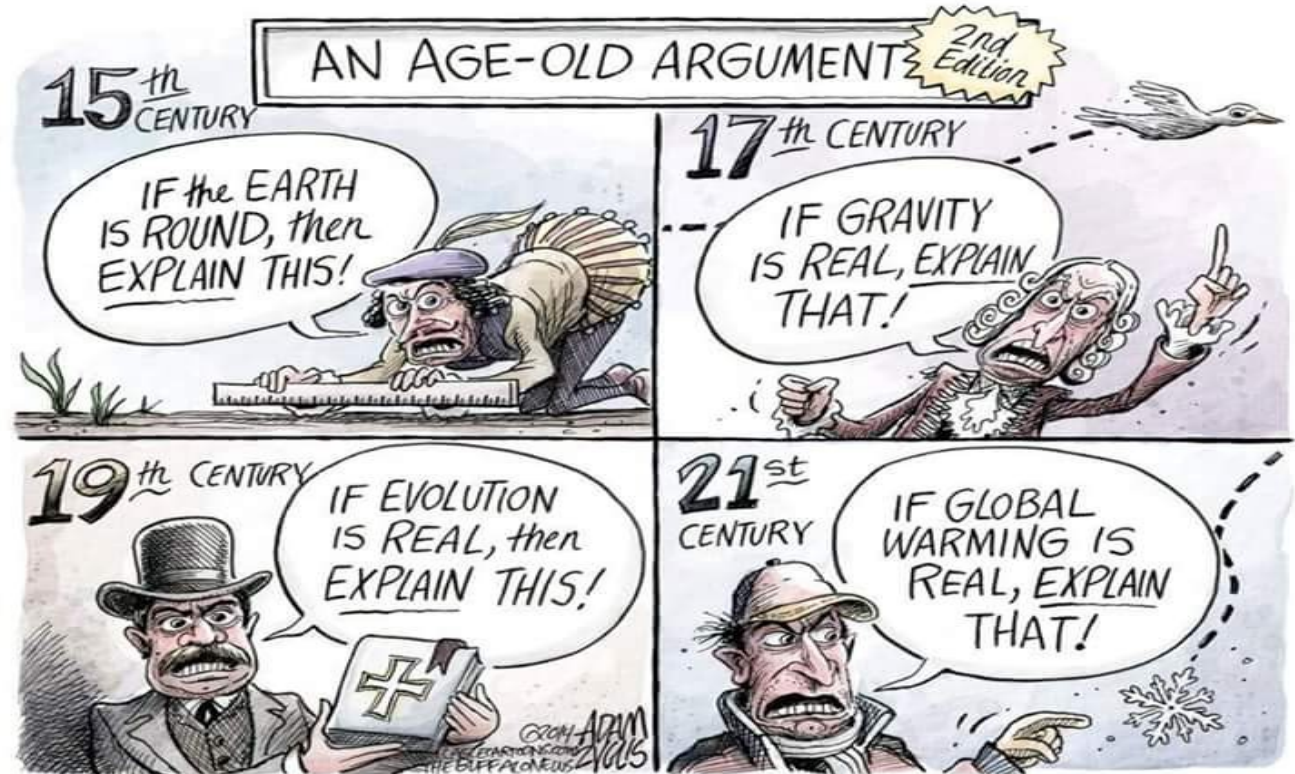
Διαλύοντας μύθους

- Πολλά από αυτά που πιστεύουν οι άνθρωποι για την εξέλιξη είναι λάθος και δημιουργούν σύγχυση και αναίτιες συζητήσεις
- Ας δούμε λοιπόν τι ΔΕΝ ισχύει για την εξέλιξη



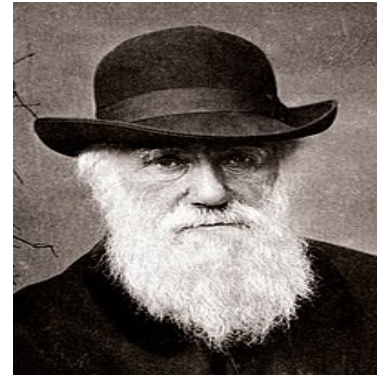
Η εξέλιξη δεν είναι θεωρία

- Είναι διαδικασία αλλαγής του έμβιου κόσμου
- Είναι φυσική δύναμη
- Δεν είναι εναλλακτική άποψη απέναντι σε δόγματα
- Δεν είναι θέμα πίστης
- Είναι η βάση της Βιολογίας

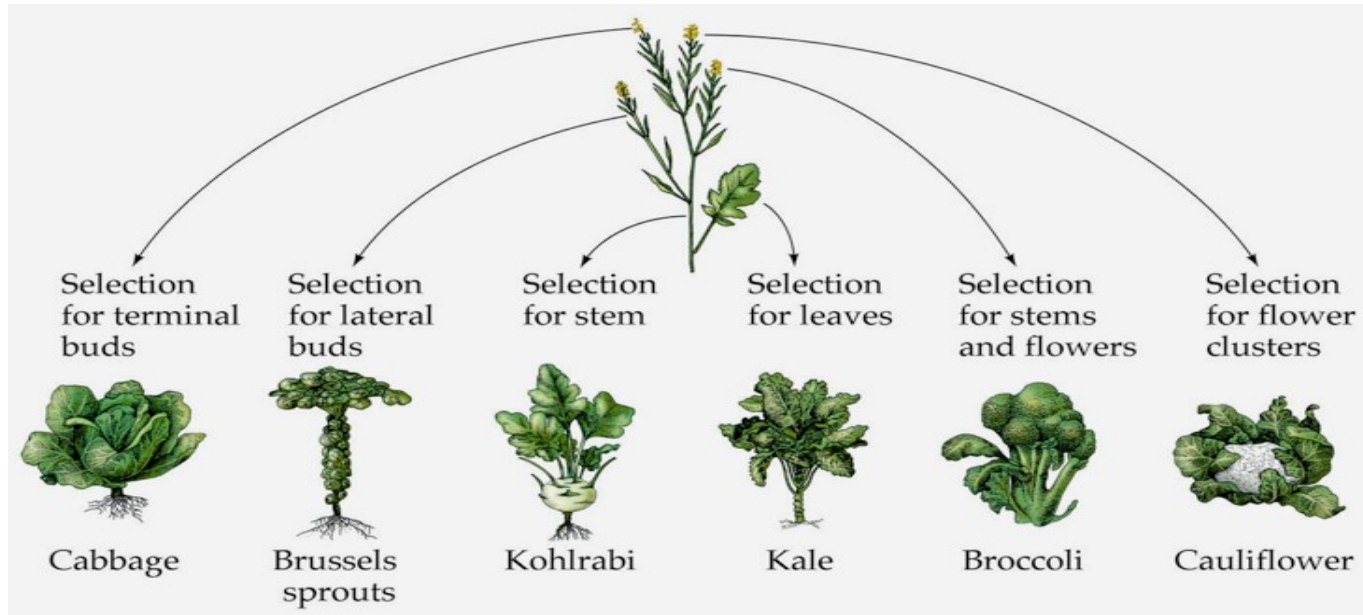


Ο Δαρβίνος δεν ήταν ο πρώτος που μίλησε για εξέλιξη

- Η έννοια μιας δυναμικής διαδικασίας μεταβολής της φύσης διατυπώθηκε από αρχαίους φιλοσόφους
- Τον 19ο αιώνα η επιστημονική κοινότητα ήταν έτοιμη να δεχτεί μια δυναμική θεωρία για τη ζωή
- Ο Δαρβίνος περιέγραψε για πρώτη φορά τον μηχανισμό της προσαρμογής: τη φυσική επιλογή!



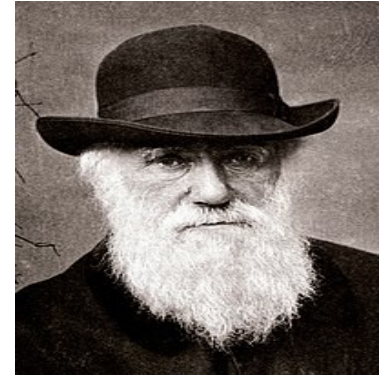
Η επιλογή δεν ήταν άγνωστη στον άνθρωπο



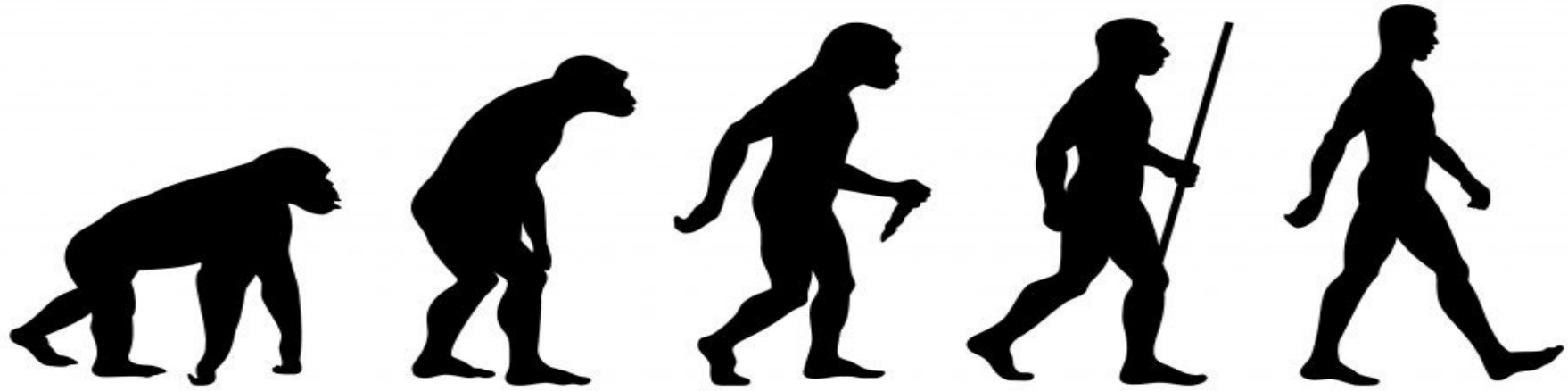
- Η τεχνητή επιλογή υπάρχει εδώ και περίπου 12.000 χρόνια
 - Το κύριο μέσο για την αγροτική επανάσταση

Ο Δαρβίνος δεν είχε δίκιο σε όλα

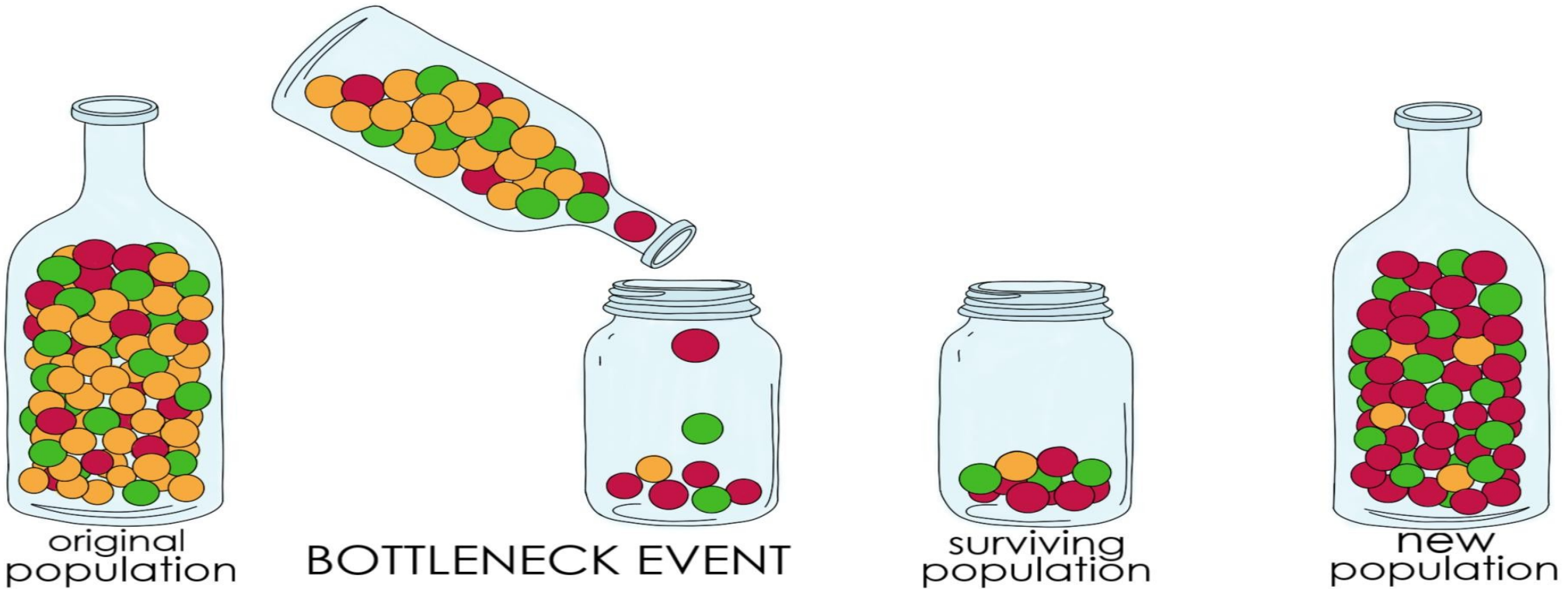
- Αν και ο Δαρβίνος περιέγραψε πρώτος με τον σωστό τρόπο τη δράση της φυσικής επιλογής, είχε τεράστια κενά στον τομέα της γενετικής
- Δεν ήξερε πώς κληρονομούνται τα χαρακτηριστικά
- Δεν ήξερε πώς δημιουργείται η ποικιλομορφία στους οργανισμούς
- Δεν είχε διαβάσει **Mendel**



Δεν καταγόμαστε από τον πίθηκο



Η φυσική επιλογή δεν είναι η μόνη εξελικτική δύναμη



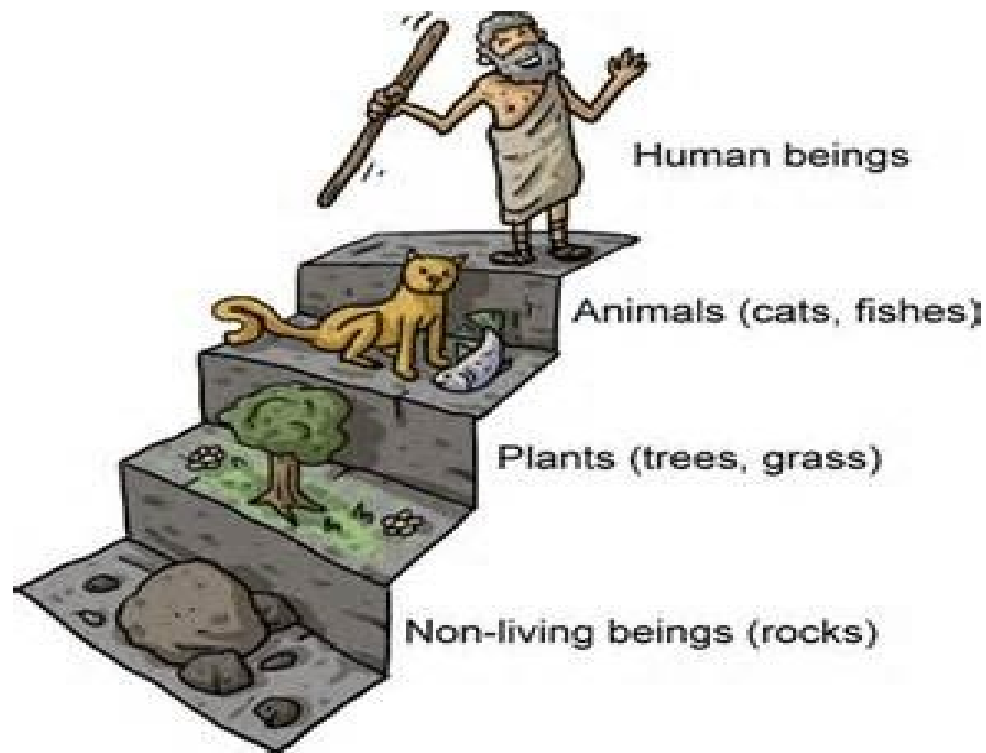
Δεν είναι όλα τα γνωρίσματα κληρονομικά

- Πολλά χαρακτηριστικά είναι αποτέλεσμα περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραγόντων
- **P=G+E**
- Υπάρχει μια τάση στην κοινωνία να αποδίδει γενετική αξία σε συμπεριφορές (π.χ. το γονίδιο της ευφυΐας)
 - Βιολογικός προκαθορισμός (biological determinism)



Η εξέλιξη δεν έχει σκοπό

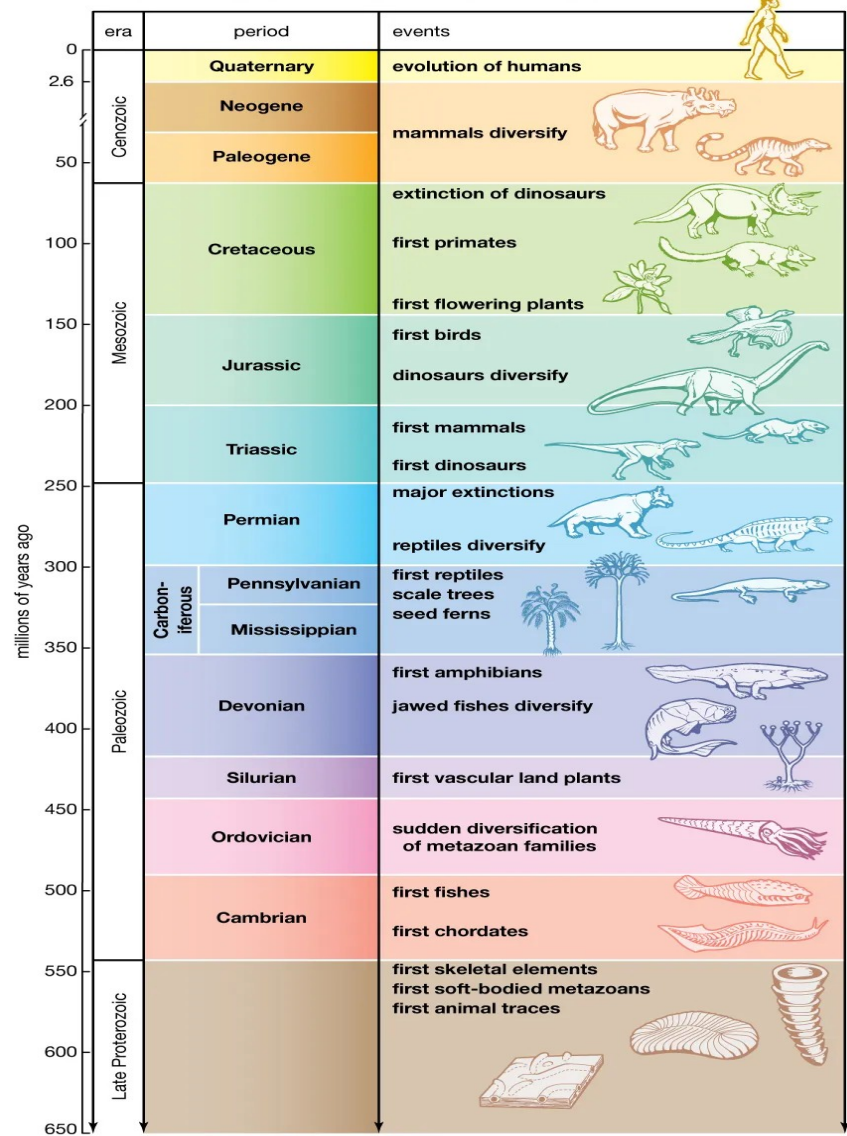
- Ο άνθρωπος δεν είναι το τελικό σκαλοπάτι της εξέλιξης
- Η φυσική επιλογή οδηγεί σε προσαρμογή, που ακολουθεί τις εναλλαγές του περιβάλλοντος



Τι είναι εξέλιξη;

Εξέλιξη

είναι η διαδικασία κατά την οποία οι πληθυσμοί των οργανισμών αλλάζουν με το χρόνο



Βασικά στοιχεία της εξέλιξης

- Διαδικασία αλλαγών: μια **δυναμική** διαδικασία
 - η φύση δεν είναι στατική

Βασικά στοιχεία της εξέλιξης

- Συμβαίνει σε επίπεδο **πληθυσμών**
 - Ένας πληθυσμός είναι το σύνολο των οργανισμών του ίδιου είδους που αναπαράγονται



Βασικά στοιχεία της εξέλιξης

- Οι αλλαγές που συμβαίνουν είναι **κληρονομικές** και περνούν από γενιά σε γενιά
 - Η γενετική είναι βασικό συστατικό της εξελικτικής βιολογίας
 - *Εξελικτική γενετική*



Βασικά στοιχεία της γενετικής (που αφορούν την εξέλιξη)

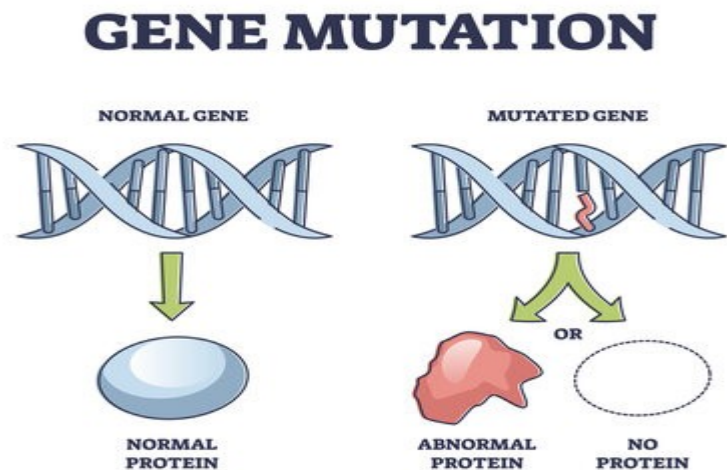
- Η γενετική πληροφορία για κάθε οργανισμό, εδράζεται πάνω στην αλληλουχία των βάσεων (νουκλεοτιδίων) του DNA του
 - Το σύνολο της γενετικής πληροφορίας για έναν οργανισμό λέγεται **γονιδίωμα** (genome)
- Το γονιδίωμα περιέχει πολλά στοιχεία, ανάμεσα στα οποία και γονίδια
 - Ένα **γονίδιο** μεταφέρει την πληροφορία για την έκφραση ενός χαρακτηριστικού σε έναν οργανισμό
 - Προφανώς η πραγματικότητα είναι πιο σύνθετη!

Βασικά στοιχεία της εξέλιξης (και της γενετικής)

- Οι αλλαγές που προκύπτουν και κληρονομούνται στην επόμενη γενιά αφορούν δύο στάδια:
 - Μια **μετάλλαξη** αλλάζει το DNA και δημιουργεί μια νέα εναλλακτική εκδοχή του γονιδιώματος
 - Η **φυσική επιλογή** αλλάζει τις αναλογίες των εναλλακτικών αυτών εκδοχών των γονιδιωμάτων σε έναν πληθυσμό
 - Δεν είναι μόνο η φυσική επιλογή που το κάνει αυτό

Μετάλλαξη

- **Τυχαίες** μεταβολές στο DNA από λάθη κατά την αντιγραφή του
 - Προκαλούνται αλλαγές στο γονιδίωμα
- Δημιουργεί μια εναλλακτική μορφή ενός γονιδίου
 - **Αλληλόμορφο**



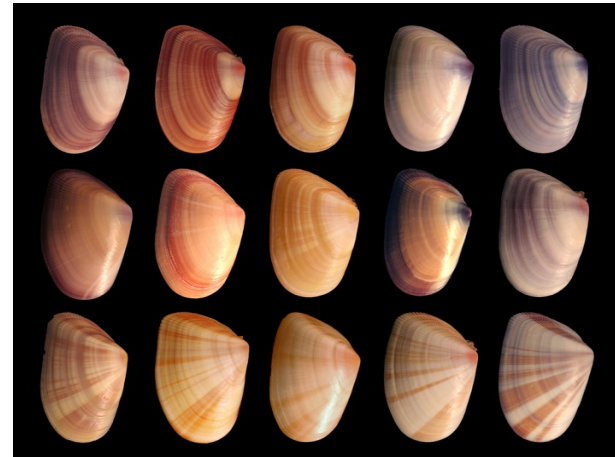
Μετάλλαξη

- Οι μεταλλάξεις μπορεί να είναι για τον οργανισμό:
 - Ουδέτερες
 - Εκφυλιστικές
 - αρνητικές
 - Επωφελεείς
 - θετικές



Γενετική ποικιλότητα

- Για κάθε γονίδιο μπορεί να υπάρχουν περισσότερα αλληλόμορφα σε έναν πληθυσμό
 - **Γενετική ποικιλότητα**
- Κάθε αλληλόμορφο μπορεί να υπάρχει σε διαφορετικές αναλογίες (συχνότητες)



Γενετική ποικιλότητα



Τρία κορίτσια από τη φυλή Hopi, με το μεσαίο κορίτσι να έχει αλφισμό, μια αυτοσωμική υποτελής διαταραχή που είναι συχνή στους Ινδιάνους Hopi της Αριζόνα (φωτογραφία από το 1900)

- Οι γενετικές διαφορές ανάμεσα στους οργανισμούς έχουν τη μορφή διαφορετικών αλληλομόρφων για τα ίδια γονίδια
 - Τα αλληλόμορφα συνδυάζονται ανά δύο για κάθε γονίδιο και σχηματίζουν τον **γονότυπο**

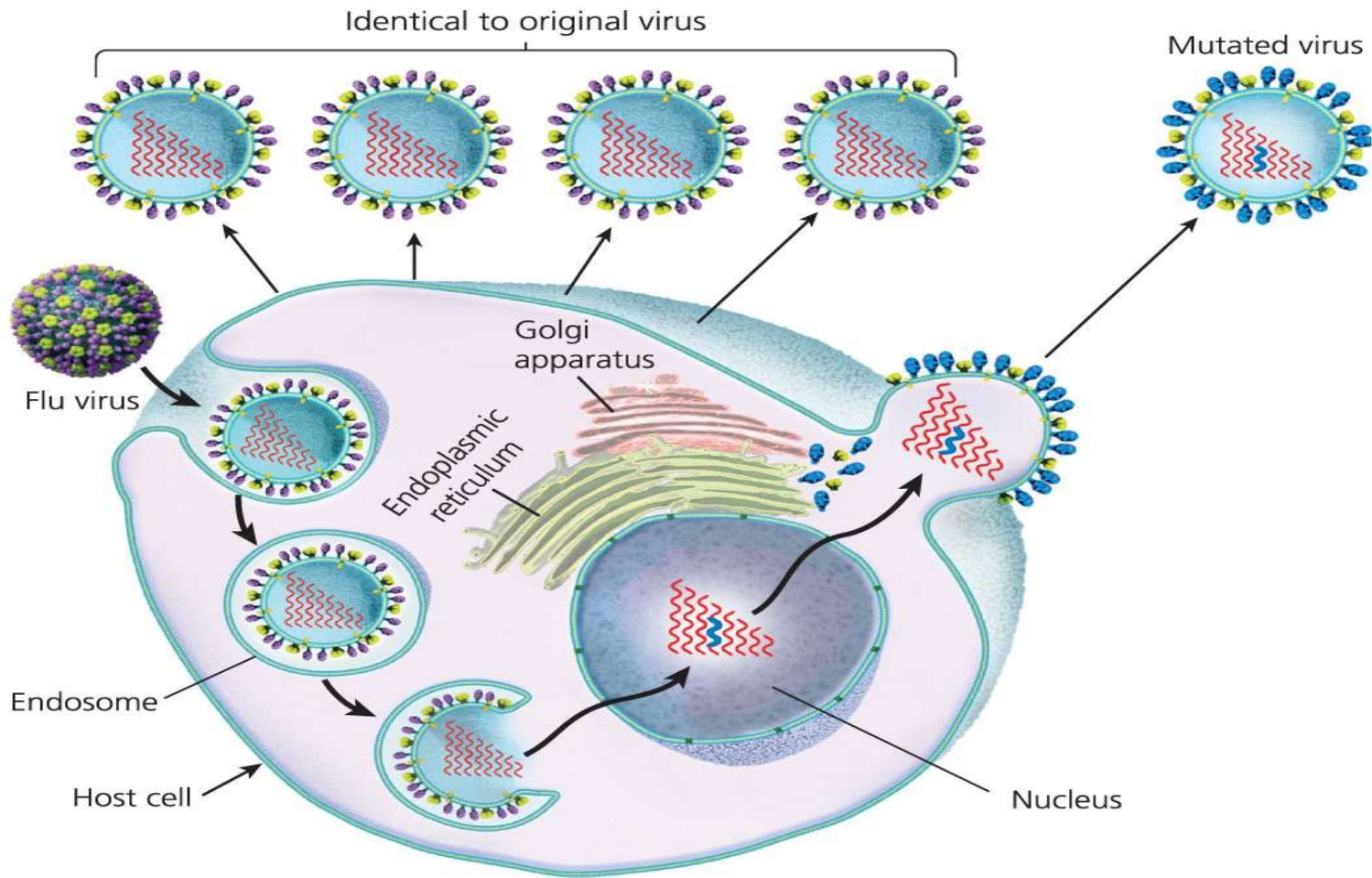
Φυσική επιλογή

- Η φυσική επιλογή προκύπτει όταν τα κληρονομούμενα χαρακτηριστικά οδηγούν ορισμένα άτομα σε έναν πληθυσμό να **επιβιώνουν** και να **αναπαράγονται** με μεγαλύτερη επιτυχία από τα άλλα άτομα
- Είναι ένας μηχανισμός της εξέλιξης που προκαλεί αλλαγές στη γενετική σύσταση ενός πληθυσμού (αναλογίες αλληλομόρφων και γονοτύπων) από γενιά σε γενιά
- Η φυσική επιλογή δεν είναι τυχαία δύναμη
 - Οδηγεί σε καλύτερα **προσαρμοσμένους** πληθυσμούς

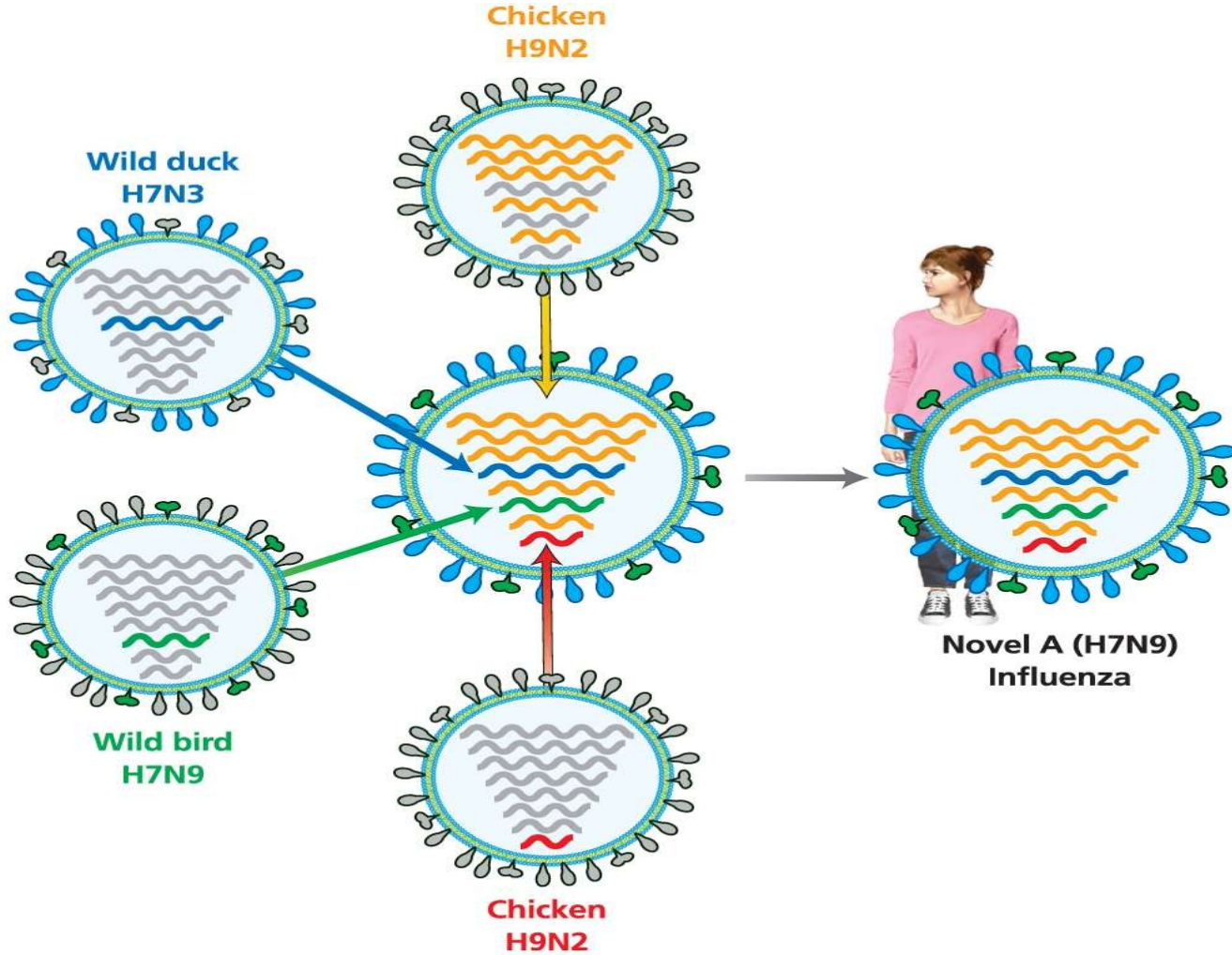


A: Photo by J. G. M. Thewissen, NEOMED; B: Carl Buell

The 49-million-year-old skeleton of *Ambulocetus* has an involucrum, as well as other traits that are found today only in whales. It was the first fossil whale to be discovered with legs.



Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company



Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company

Ερωτήματα της Βιολογίας

- Πώς προέκυψε η ζωή;
- Πού οφείλεται η τόσο μεγάλη ποικιλία μορφών ζωής;
- Γιατί οι οργανισμοί φαίνεται να είναι τόσο καλά προσαρμοσμένοι στο περιβάλλον τους;
- Ποιο είναι το μέλλον της ζωής στη γη (ή αλλού);
- *«Τίποτα δεν έχει νόημα στη Βιολογία παρά μόνο κάτω από το φως της εξέλιξης»*
 - *Theodosius Dobzhansky*

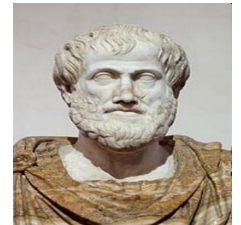


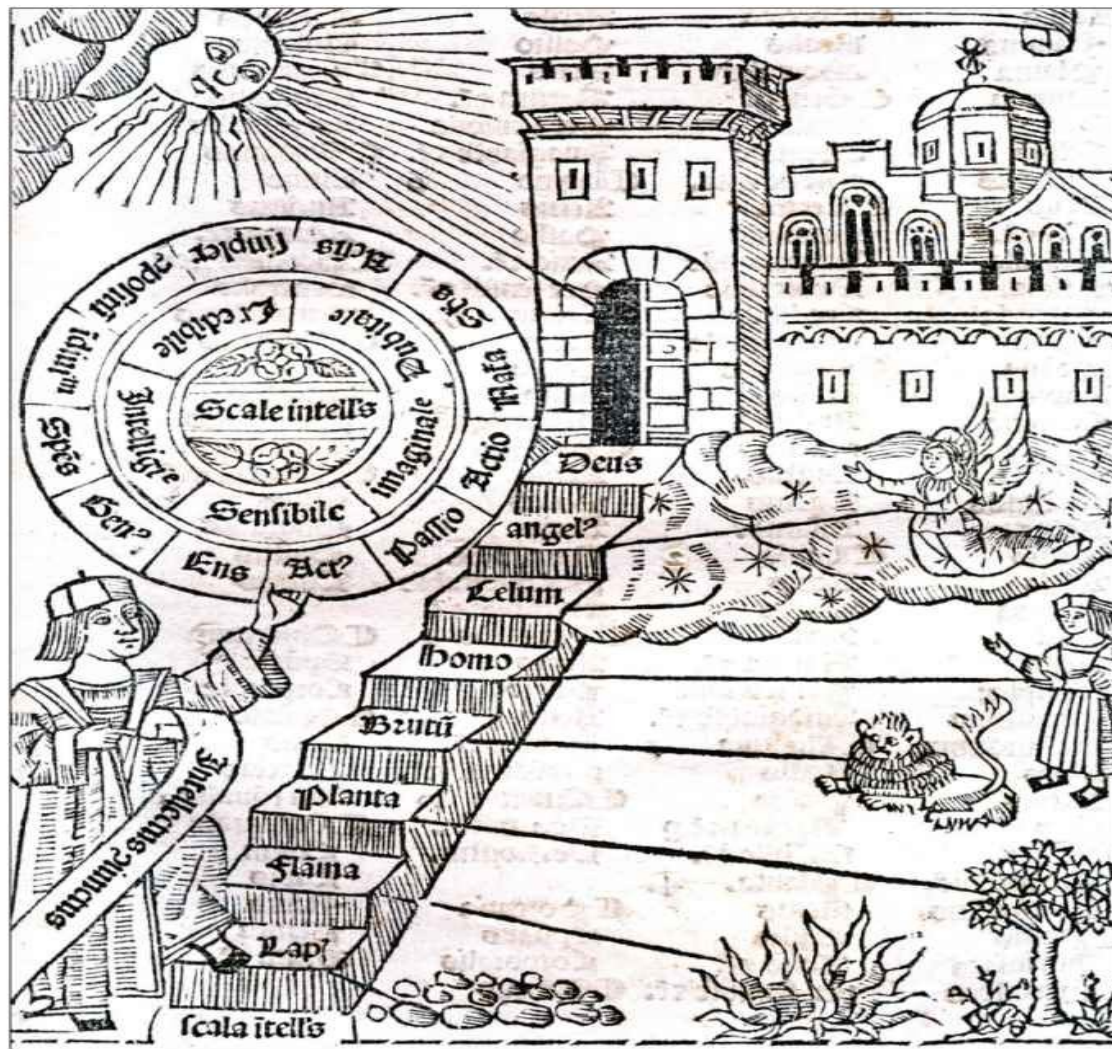
Η εξέλιξη της εξελικτικής σκέψης

- **Ο ακίνητος κόσμος**
 - Έλληνες φιλόσοφοι
 - Μεσαίωνας – χριστιανική θεώρηση
- **Πριν τον Δαρβίνο**
 - Πρώτες ενδείξεις για έναν δυναμικό κόσμο
 - Πρώτες απόπειρες ερμηνείας της εξέλιξης
- **Δαρβίνος**
 - Εξέλιξη μέσω φυσικής επιλογής
- **Μετά τον Δαρβίνο**
 - Γενετιστές και μαθηματικοί
 - Νέα σύνθεση
 - Ανάπτυξη μοριακής βιολογίας και αλληλούχηση γονιδιωμάτων

Ο ακίνητος κόσμος

- Πλάτων:
 - «είδος» ή τύπος ή ιδέα: συνδυάζει την τελειότητα, την αιωνιότητα, την αμεταβλητότητα
 - Όλα τα υλικά αντικείμενα είναι ατελείς και φθαρτές απομιμήσεις του τέλειου προτύπου που υπάρχει στο νοητό κόσμο των ιδεών
 - ποικιλομορφία= ατελείς μορφές
- Αριστοτέλης:
 - Πρώτη μελέτη οργανισμών (μαζί με τον Θεόφραστο)
 - Τελειότητα και σκοπός – αμετάβλητος κόσμος
- Ενσωμάτωση φιλοσοφικών απόψεων Πλάτωνα -Αριστοτέλη στη Χριστιανική Θεολογία



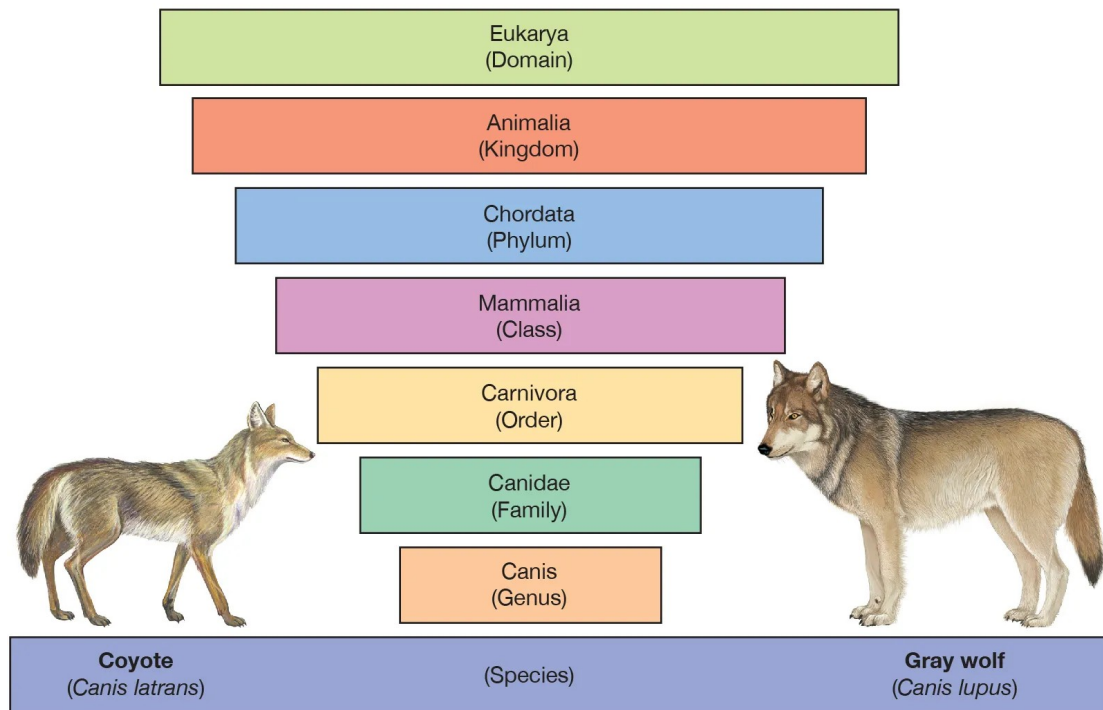


Album / Kurwenal / Prisma / Album / Superstock, Inc.

Η κατάταξη της ζωής

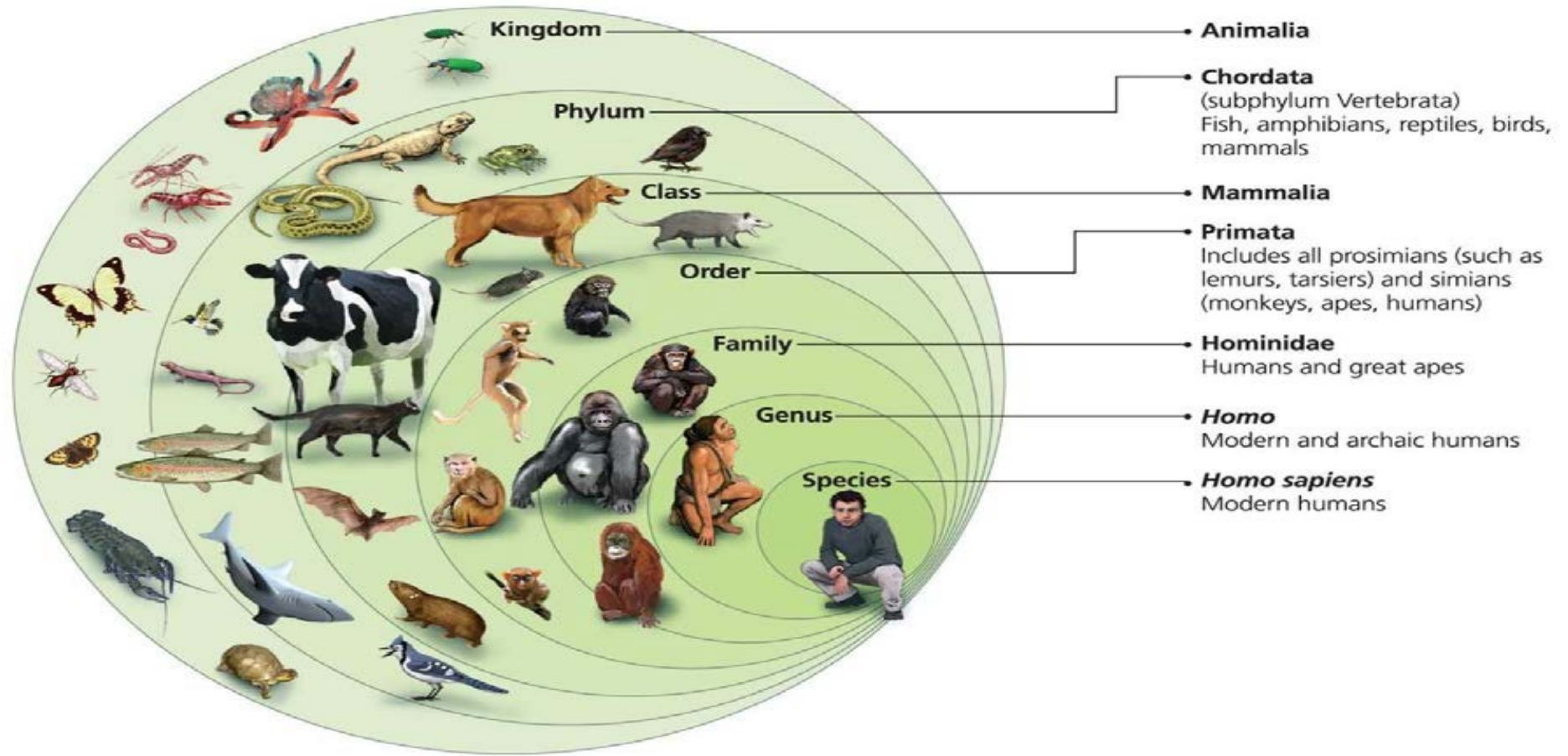


Hirarchivum Press / Alamy Stock Photo



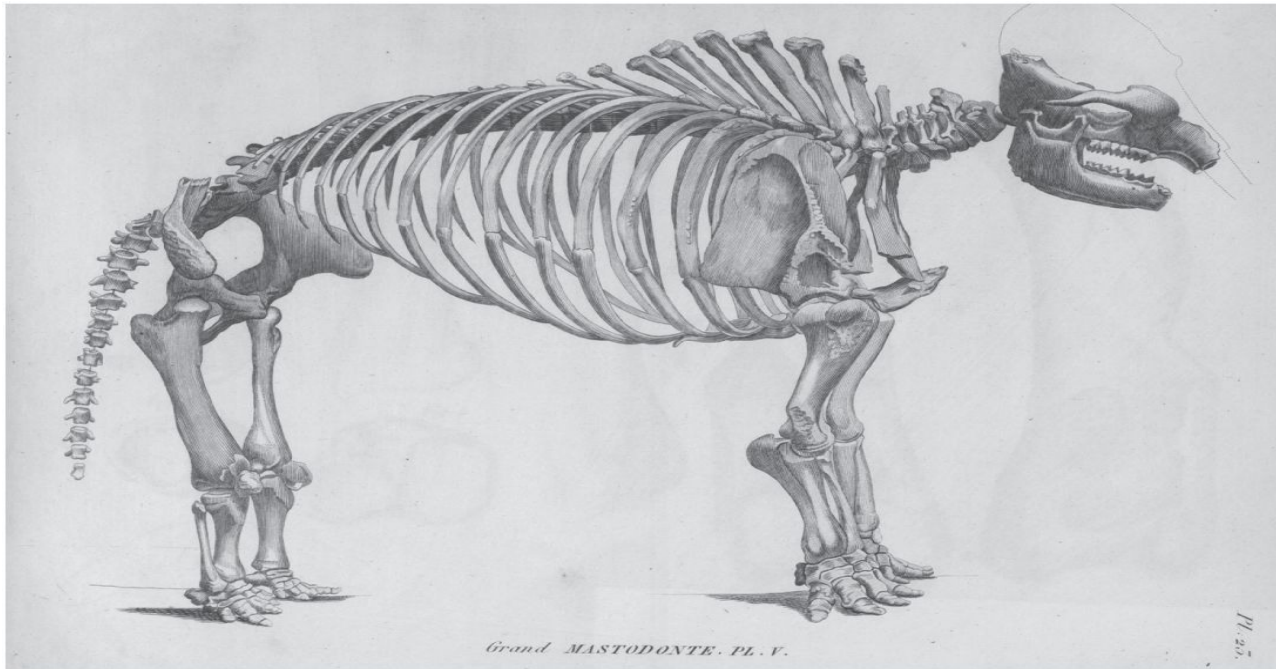
© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Carolus Linnaeus (1707–78) invented a system to classify biological entities into groups based on their similarities



Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company

Απολιθώματα



In the late 1700s, paleontologists recognized that some fossils belonged to species that no longer existed, such as this **mastodon**, a relative of elephants that became extinct 11,000 years ago

Η ηλικία της γης μεγαλύτερη απ' ότι πιστευόταν

Απολιθώματα διαφορετικών γεωλογικών στρωμάτων θεωρήθηκαν ως το αποτέλεσμα διαδοχικών καταστροφών

Courtesy of the Library & Archives of the Academy of Natural Sciences of Drexel University, Philadelphia, PA



Pictorial Press Ltd / Alamy Stock Photo

Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon

Director of the King's Garden in Paris

Μελέτησε την ποικιλία των ζωντανών οργανισμών

Επηρεασμένος από την ανάπτυξη των φυσικών επιστημών πρότεινε μια θεωρεία για τη δημιουργία της γης

Georges Buffon (1707–88) was one of the earliest naturalists to argue that life had changed over time.



Hulton Archive / Getty Images

Jean-Baptiste Lamarck (1744–1829) argued that complex species had evolved from simple ones

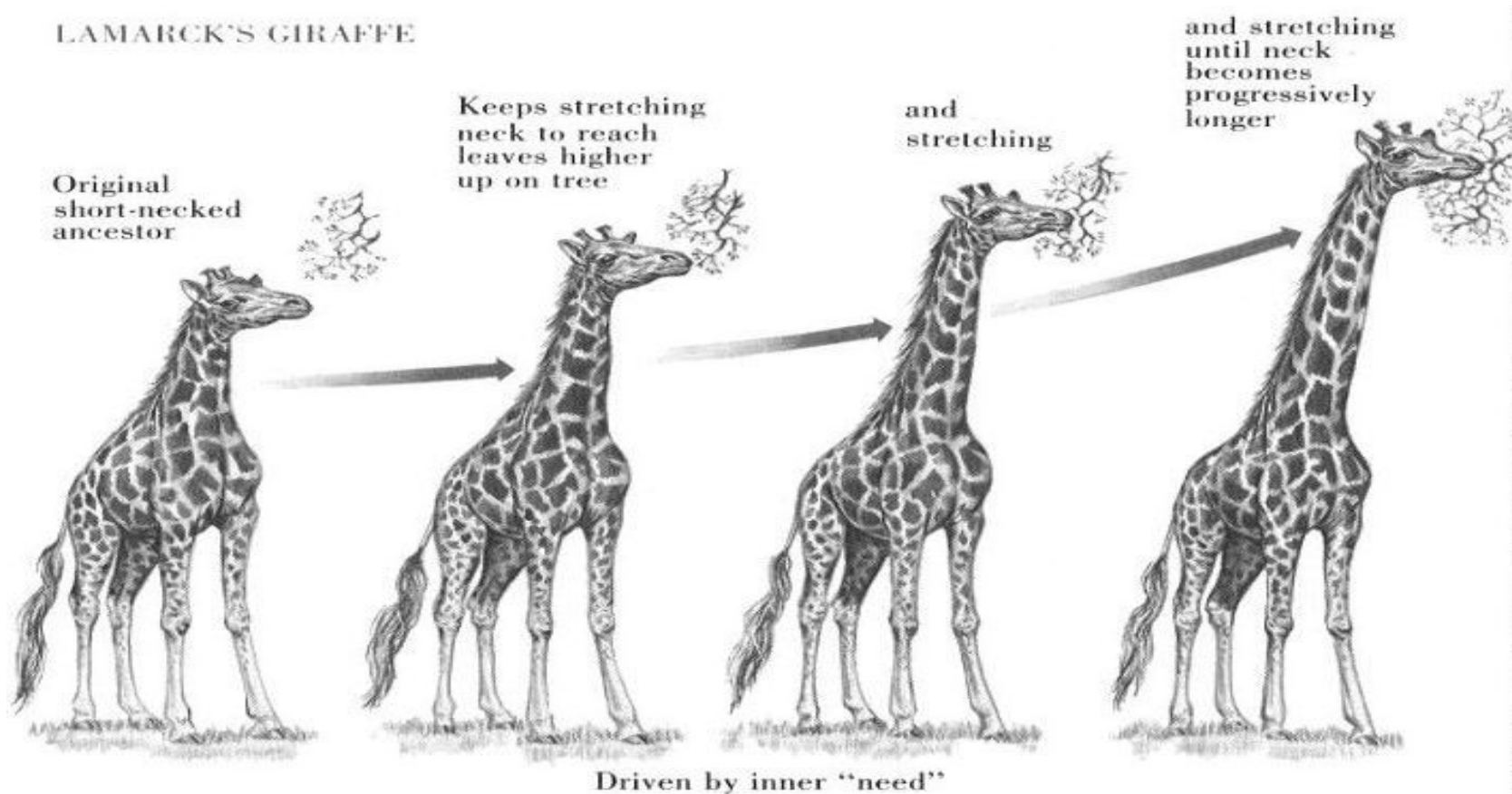
Ο Lamarck ήταν ο πρώτος που με επιστημονική επιχειρηματολογία υποστήριξε τη διαδικασία της εξέλιξης και διατύπωσε μια θεωρία για το μηχανισμό της

Philosophie Zoologique (1809):

- όλες οι μορφές ζωής μεταβάλλονται από ατελείς σε τέλειες
- αρχή χρήσης – αχρησίας
- κληρονομικότητα επίκτητων χαρακτήρων

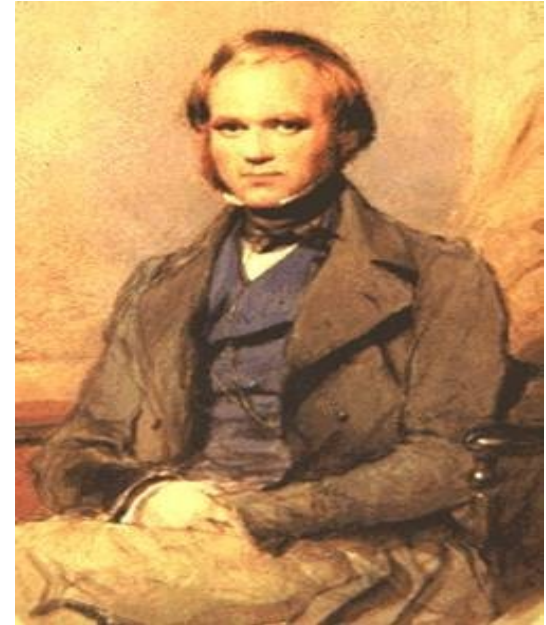
Κληρονόμηση επίκτητων χαρακτήρων

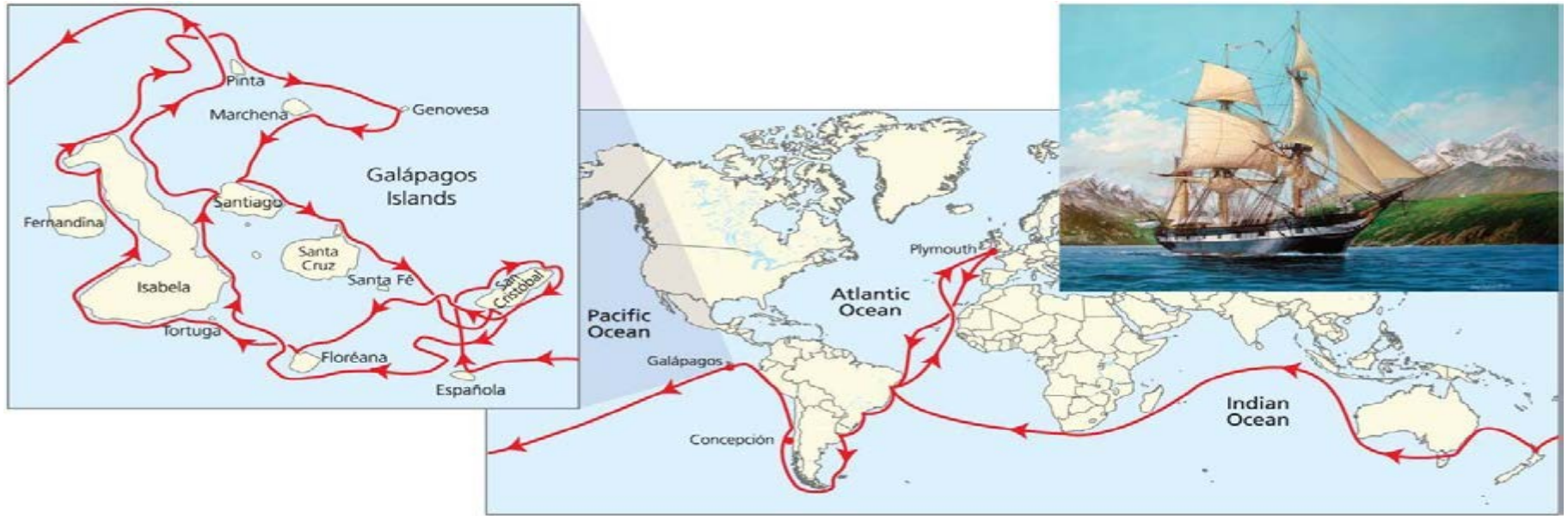
LAMARCK'S GIRAFFE



Κάρολος Δαρβίνος (1809-1882)

- Από μαθητής ενδιαφερόταν για τη μελέτη του φυσικού κόσμου
- Σπουδές στην Ιατρική, τις οποίες εγκαταλείπει, και μετά στη Θεολογία
- Το 1831 συμμετέχει ως άμισθος φυσιοδίφης σε υπερπόντια αποστολή για λογαριασμό του Βρετανικού Ναυτικού





ullstein – Olaf Rahardt / The Image Works

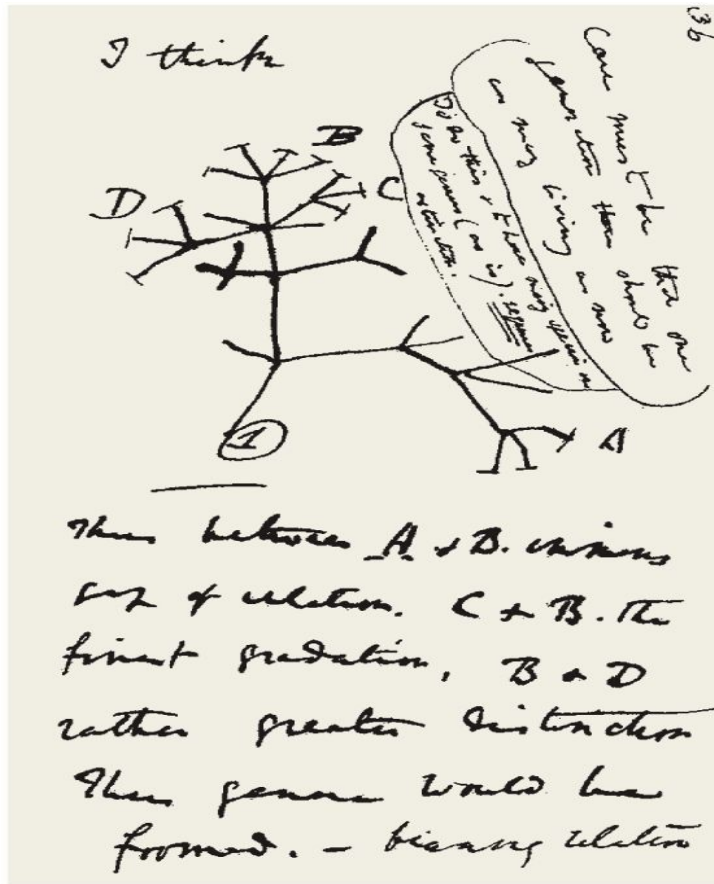
Charles Darwin spent five years aboard **HMS Beagle**, traveling the world and gathering clues that he would later use to develop his ideas about evolution



Row 1 left to right: Michael Stubblefield / Getty Images, Michael Stubblefield / Getty Images, iStock / Getty Images; row 2 left to right: iStock / Getty Images, NHPA / Superstock, Mary Plage / Getty Images

Darwin was surprised to discover that although some birds from the **Galápagos** Islands had dramatically different beaks, they were all **finches**

I think...

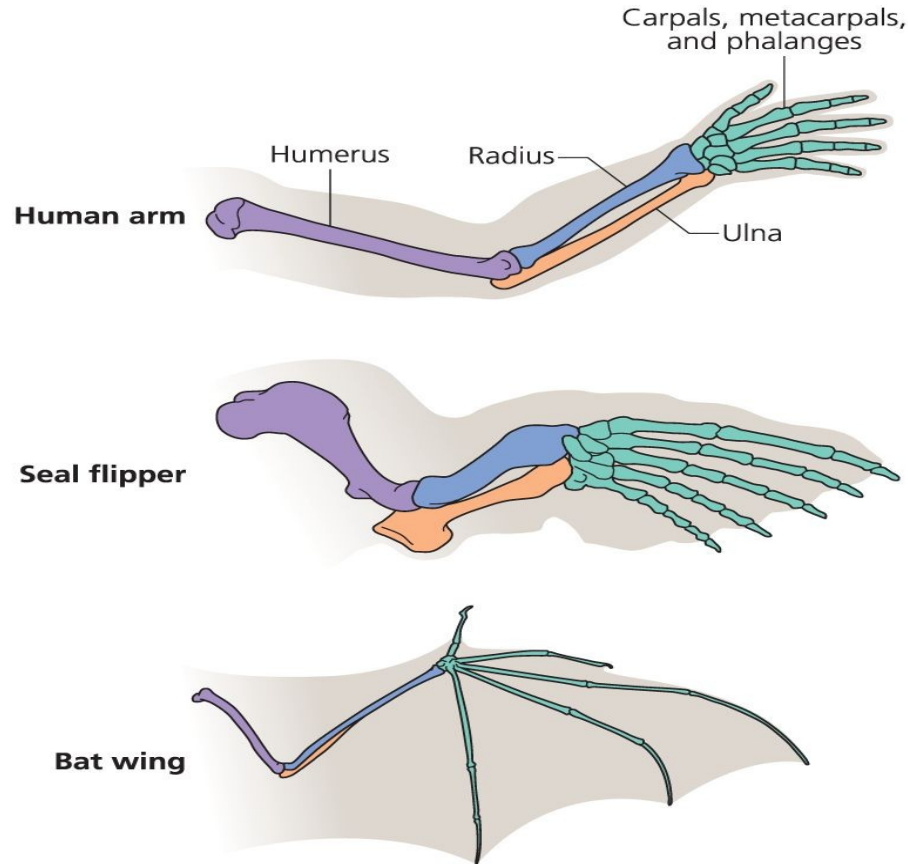


Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company

After returning to England, Darwin began to develop his ideas about evolution in a series of notebooks.

He drew this tree in 1837 to illustrate how different lineages evolve from a common ancestor

Ομόλογοι χαρακτήρες



Humans, seals, and bats have seemingly different limbs, which they use for different functions. But the numbers and arrangement of bones in one species correspond to those in the others. Darwin argued that this similarity was a sign of **common ancestry**

Ανάμεσα σε διαφορετικά είδη εμφανίζονται ομοιότητες στη δομή που λέγονται **ομόλογοι χαρακτήρες** και αποτελούν ισχυρότατη ένδειξη για κοινή καταγωγή των ειδών αυτών

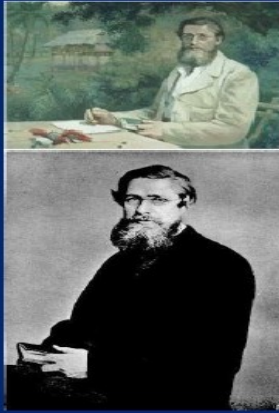
Καταγωγή με τροποποίηση (descent with modification)

Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020
W. H. Freeman and Company

Φυσική επιλογή

- Η **φυσική επιλογή** είναι ένας μηχανισμός που μπορεί να οδηγήσει σε *προσαρμοστική εξέλιξη*
- Οι διαφορές στους φαινοτύπους των ατόμων επιτρέπουν σε ορισμένους από αυτούς να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν πιο αποτελεσματικά από άλλους
 - Φαινότυπος: το σύνολο των χαρακτηριστικών ενός οργανισμού
- Οι Darwin & Wallace εξήγησαν τον κύριο μηχανισμό της εξέλιξης

Alfred Russel Wallace (1823-1913)



Wallace corresponded with Darwin in 1858. As a result both presented a paper at a meeting of the Linnean Society in 1958 a paper titled

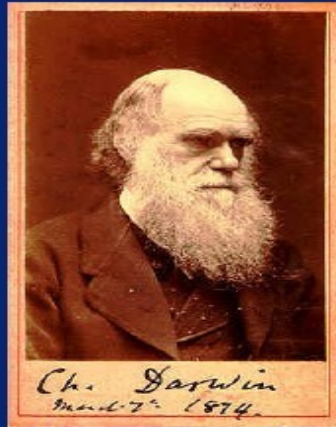
On the Tendency of Species to form Varieties; and on the Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection.

By CHARLES DARWIN, Esq., F.R.S., F.L.S., & F.G.S., and ALFRED WALLACE, Esq. Communicated by Sir CHARLES LYELL, F.R.S., F.L.S., and J. D. HOOKER, Esq., M.D., V.P.R.S., F.L.S., &c.

Το 1858, ο Δαρβίνος παρακινήθηκε να δημοσιεύσει τις ιδέες του όταν έλαβε επιστολή από τον Άγγλο φυσιοδίφη **Alfred Russel Wallace** (1823–1913) που είχε περάσει χρόνια στις ζούγκλες της Νότιας Αμερικής και το Μαλαισιανό Αρχιπέλαγος. Ο Wallace κράτησε προσεκτικά αρχεία για την ποικιλομορφία της ζωής που είδε και στο συμπέρασμα ότι η ζωή είχε εξελιχθεί. Περιέγραψε έναν παρόμοιο μηχανισμό με τη φυσική επιλογή.

Ο Wallace έγραψε στον Δαρβίνο για να μοιραστεί τις νέες του ιδέες, που παρουσιάστηκαν από κοινού στην Linnean Society, έναν από τους κορυφαίους επιστημονικούς οργανισμούς της Αγγλίας.

Charles Darwin (1809-1882)



But if variations useful to any organic being ever do occur, assuredly individuals thus characterised will have the best chance of being preserved in the struggle for life; and from the strong principle of inheritance, these will tend to produce offspring similarly characterised. This principle of preservation, or the survival of the fittest, I have called natural selection.
– from The Origin of Species, 6th edition

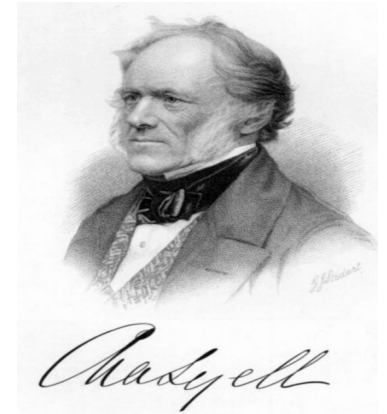
«Αν ποτέ εμφανίζεται ποικιλότητα χρήσιμη σε κάποιο έμβιο ον, σίγουρα, τα άτομα που την φέρουν θα έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να διατηρηθούν στον αγώνα για τη ζωή. Και σύμφωνα με την αρχή της κληρονομικότητας, αυτά τα άτομα θα δίνουν απογόνους με τα ίδια χαρακτηριστικά. Αυτή την αρχή της διατήρησης ή της επιβίωσης του ικανότερου την ονόμασα Φυσική Επιλογή»

Δημοσίευση της δαρβίνειας θεωρίας

- 1844: γράφει ένα δοκίμιο για τη φυσική επιλογή, δεν το δημοσιεύει
- 1856: αρχίζει να δουλεύει πάνω στο βιβλίο «Natural Selection», δεν το ολοκλήρωσε ποτέ
- 1858: λαμβάνει ένα χειρόγραφο από τον Wallace, στο οποίο αναπτυσσόταν η ιδέα της Φυσικής Επιλογής
- 1 Ιουλίου 1858: Παρουσιάζονται μαζί τα δοκίμιά τους περί Φυσικής Επιλογής στη Λιναία Εταιρεία του Λονδίνου
- 1859: Δημοσιεύει μια «περίληψη» του βιβλίου που έγραφε με τίτλο:
 - «Η προέλευση των ειδών μέσω Φυσικής Επιλογής» (The origin of species by Means of Natural Selection)

Επιρροές

- Lyell (γεωλόγος): «Principles of Geology» (1830-1833). Η επιφάνεια της γης διαμορφώθηκε βαθμιαία από τη δράση της βροχής, των ανέμων, σεισμών, ηφαιστειακών εκρήξεων και άλλων φυσικών δυνάμεων που δρουν μέχρι σήμερα Η ηλικία της γης είναι πολύ μεγάλη
- T. Malthus (οικονομολόγος): «Δοκίμιο επί της αρχής των πληθυσμών» (1798). Ανεξέλεγκτη αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού οδηγεί αναπόφευκτα σε λιμό



Βασικά σημεία της φυσικής επιλογής

- Ποικιλομορφία στους φυσικούς πληθυσμούς εμφανίζεται τυχαία και μεταβιβάζεται στους απογόνους
- Οι πληθυσμοί τείνουν να αυξάνουν με γεωμετρικό ρυθμό
- Το μέγεθος των πληθυσμών παραμένει σταθερό λόγω περιορισμένων φυσικών πόρων: **ανταγωνισμός**
 - Παράγονται περισσότεροι απόγονοι από όσους μπορούν να επιζήσουν
- Διαμάχη για επιβίωση
- Άτομα που διαθέτουν πλεονεκτικά χαρακτηριστικά για το συγκεκριμένο περιβάλλον στο οποίο ζουν θα επιζήσουν
- Τα πλεονεκτικά χαρακτηριστικά μεταβιβάζονται στην επόμενη γενιά με μεγαλύτερη συχνότητα από τα λιγότερο πλεονεκτικά
 - **Φυσική επιλογή**
- Με την πάροδο του χρόνου η συσσώρευση όλο και περισσότερων πλεονεκτικών χαρακτήρων σε έναν πληθυσμό μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ενός νέου είδους

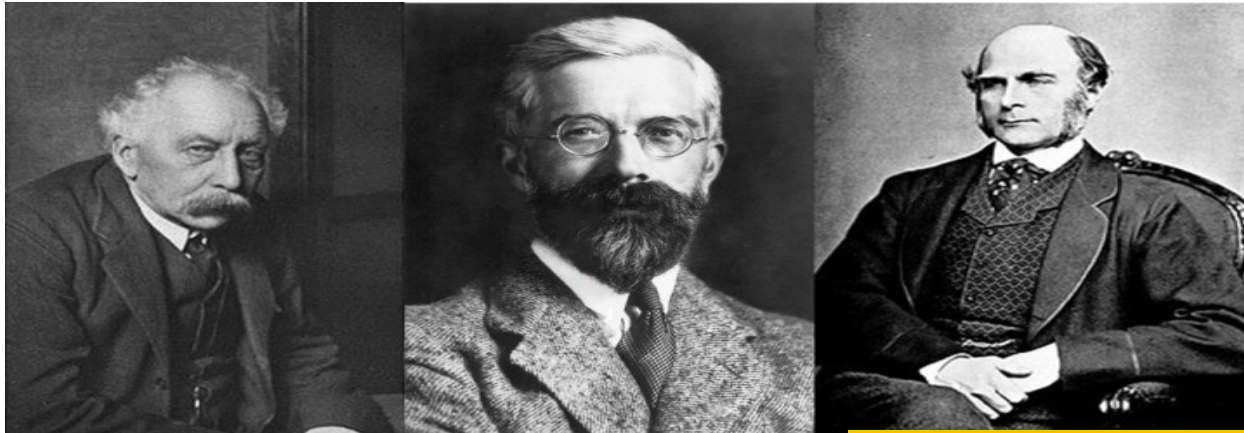
Μετά τη δημοσίευση

- Η ιδέα της εξέλιξης έγινε ευρέως αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα αλλά όχι η φυσική επιλογή
- Βασική αδυναμία της θεωρίας του Δαρβίνου: δεν μπορούσε να ερμηνεύσει την εμφάνιση νέων χαρακτήρων και τους μηχανισμούς της κληρονομικότητας
- Ο Δαρβίνος δεν γνώριζε τους νόμους του Mendel (1866), που παρέμειναν στην αφάνεια για 40 χρόνια



Βιομετριστές και μενδελιστές

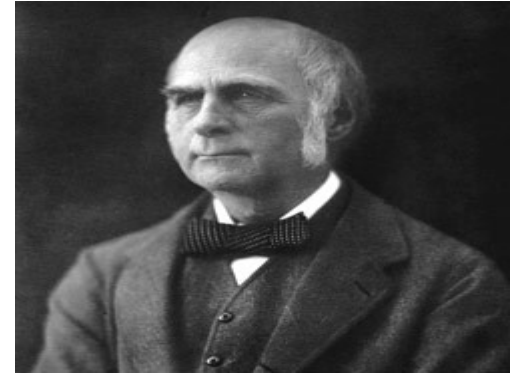
- Μετά το 1900 ανακαλύπτονται οι νόμοι του Mendel και προκαλούν μεγάλη αμφισβήτηση για τη θεωρία του Δαρβίνου
 - Μενδελιστές vs. Βιομετριστές



William Bateson (1861-1926) R.A. Fisher (1890-1962) Francis Galton (1822–1911)

Francis Galton

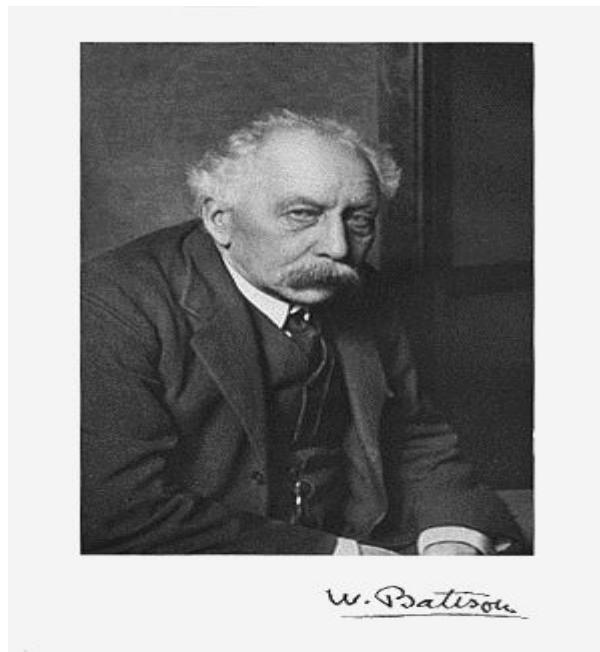
- Στατιστικός, ψυχολόγος, κοινωνιολόγος, ανθρωπολόγος, εξερευνητής, γενετιστής
- Ιδρυτής της “ευγονικής” και του “κοινωνικού δαρβινισμού”
- Μελέτησε τις βιομετρικές διαφορές στους ανθρώπινους πληθυσμούς
- Πρότεινε εναλλακτική θεωρία κληρονομικότητας από αυτή του Mendel (βιομετρική σχολή)



Francis Galton (1822–1911)

William Bateson

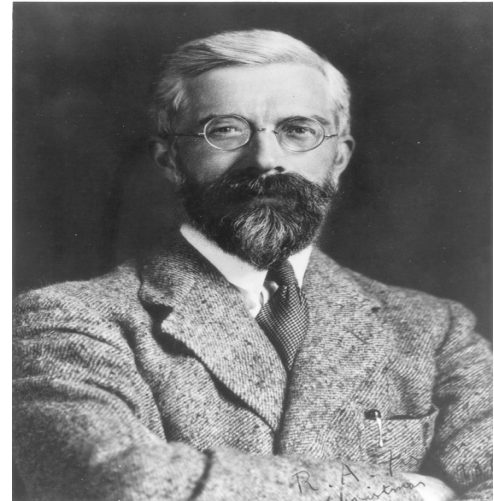
- Υπερασπιστής της Μενδελικής σχολής, ιδρυτής της γενετικής επιστήμης
- Μαζί με τους Charles Davenport και Wilhelm Johannsen
- Τη δεκαετία του 1930 οι απόψεις των βιομετρικών είχαν πλέον απορριφτεί και η μενδελική κληρονομηση κυριαρχεί



William Bateson (1861-1926)

Roland A. Fisher

- Αρχικά βιομετριστής, έπειτα συμφιλίωσε τις δύο σχολές
- Οπαδός της ευγονικής
- Γενετική βελτίωση φυτών και ζώων
- Ιδρυτής της Ποσοτικής Γενετικής
- Πρωτοπόρος της στατιστικής
- Περιέγραψε τη φυσική επιλογή με μαθηματικά μοντέλα

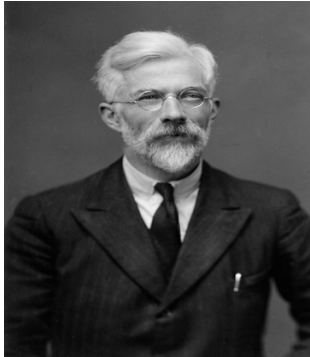


R.A. Fisher (1890-1962)

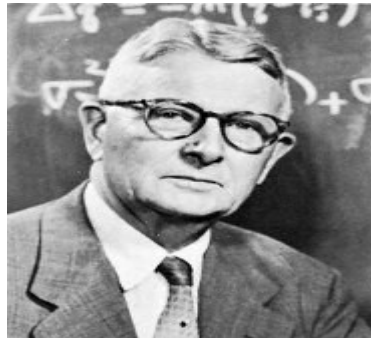
- **The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance (1918)**
- **The Genetical Theory of Natural Selection (1930)**

Νέα Σύνθεση

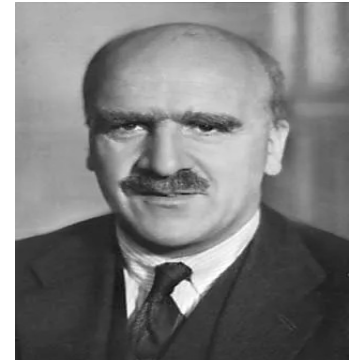
- Εξήγηση της κληρονομικότητας με μαθηματικό τρόπο
- Περιγραφή των εξελικτικών δυνάμεων μέσα από τον Mendel
- Η βάση της γενετικής και της εξέλιξης
 - *Γενετική πληθυσμών*



R.A. Fisher (1890-1962)



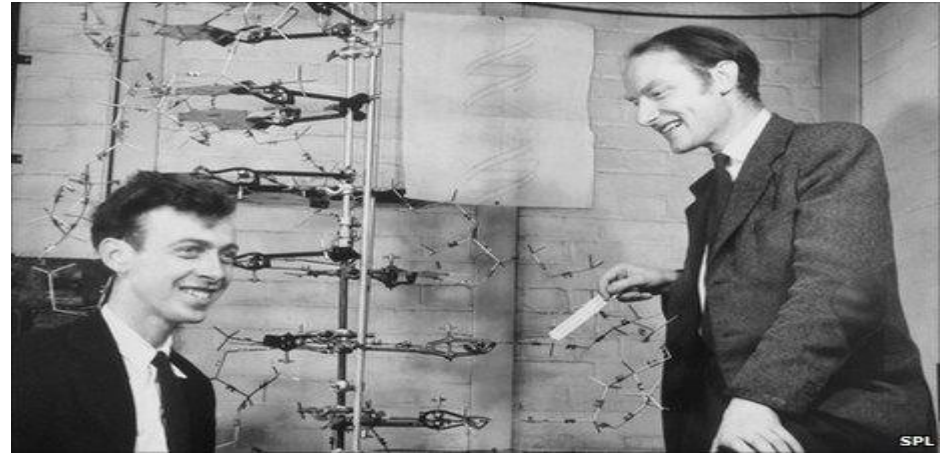
R.A. Huxley (1890-1962)



J.B.S. Haldane (1892-1964)

Η μοριακή βιολογία στην υπηρεσία της εξέλιξης

- 1953: ανακάλυψη δομής του DNA
- 1966: πρώτοι μοριακοί δείκτες
- 1985: ανάπτυξη της PCR
- 2001: Αλληλούχηση ανθρώπινου γονιδιώματος
- Σήμερα: NGS, βιοπληροφορική, big data, AI



Watson & Crick 1953

Εξελικτική Βιολογία

Ο κλάδος της βιολογίας που μελετά τις εξελικτικές διαδικασίες που είναι υπεύθυνες για την ποικιλότητα της ζωής πάνω στη γη

Thank you

