

Podstawy teorii ewolucji

Informacja i ewolucja

Informacje

Kontakt:

Paweł Golik

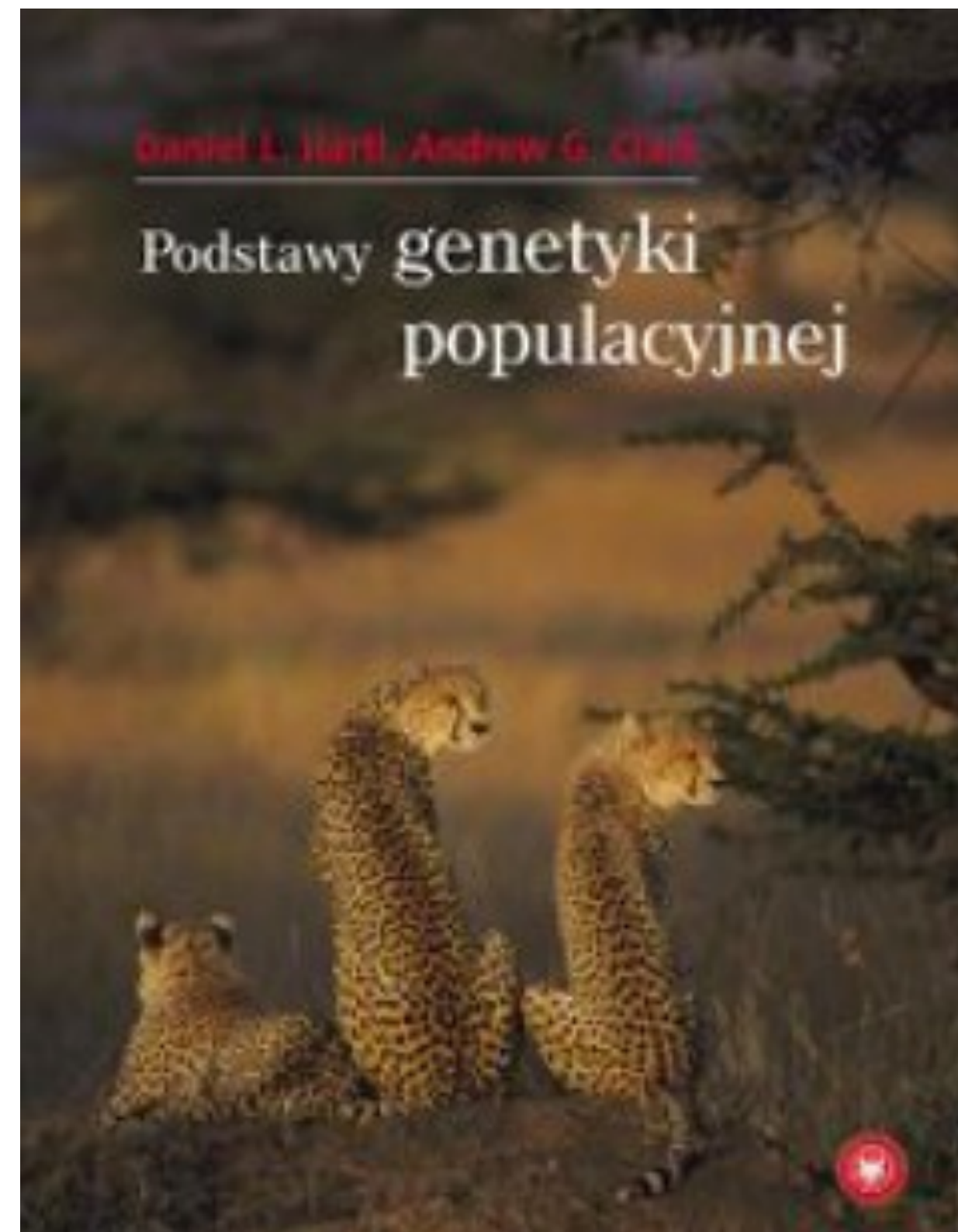
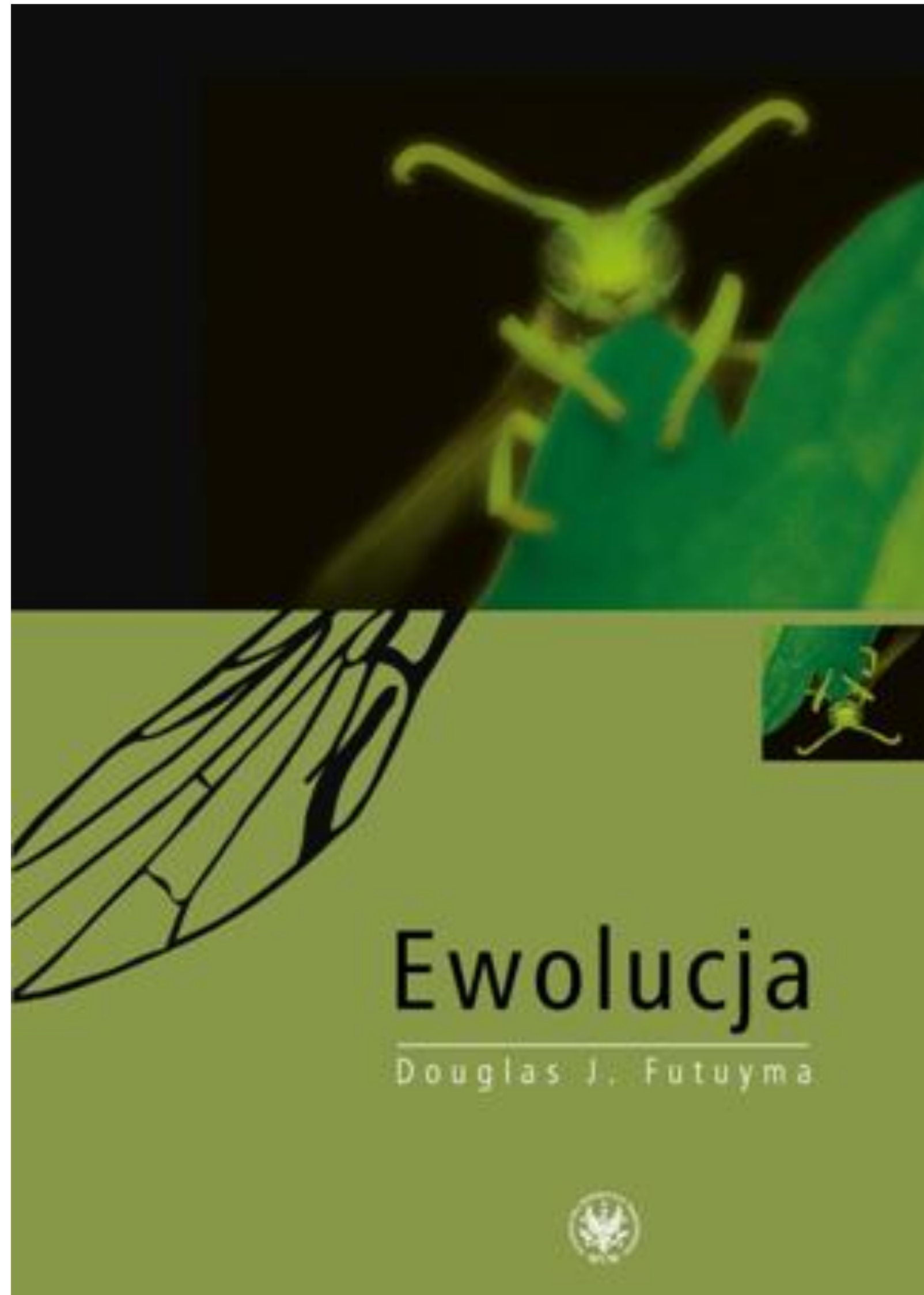
Instytut Genetyki i Biotechnologii, Pawińskiego 5A

pgolik@igib.uw.edu.pl

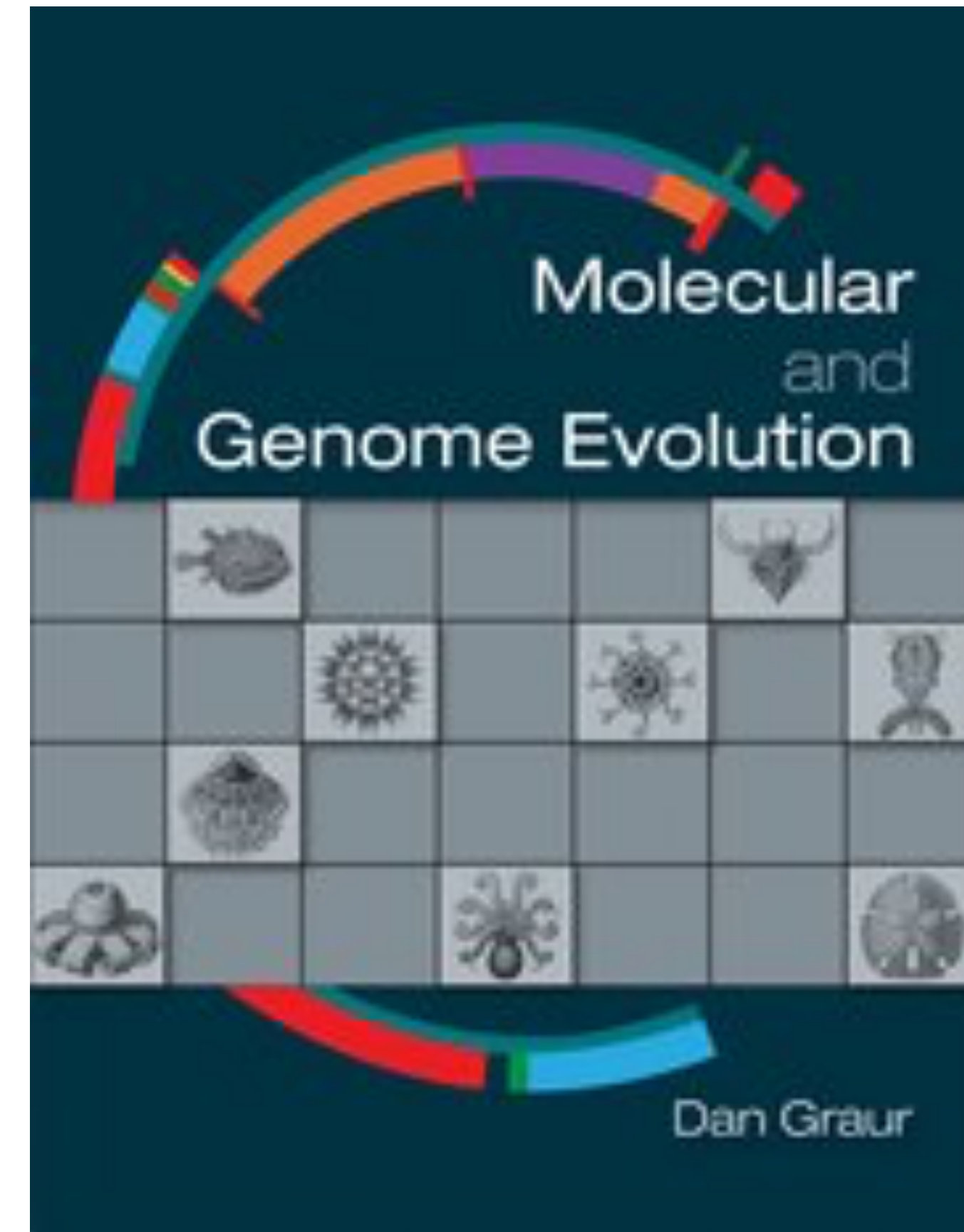
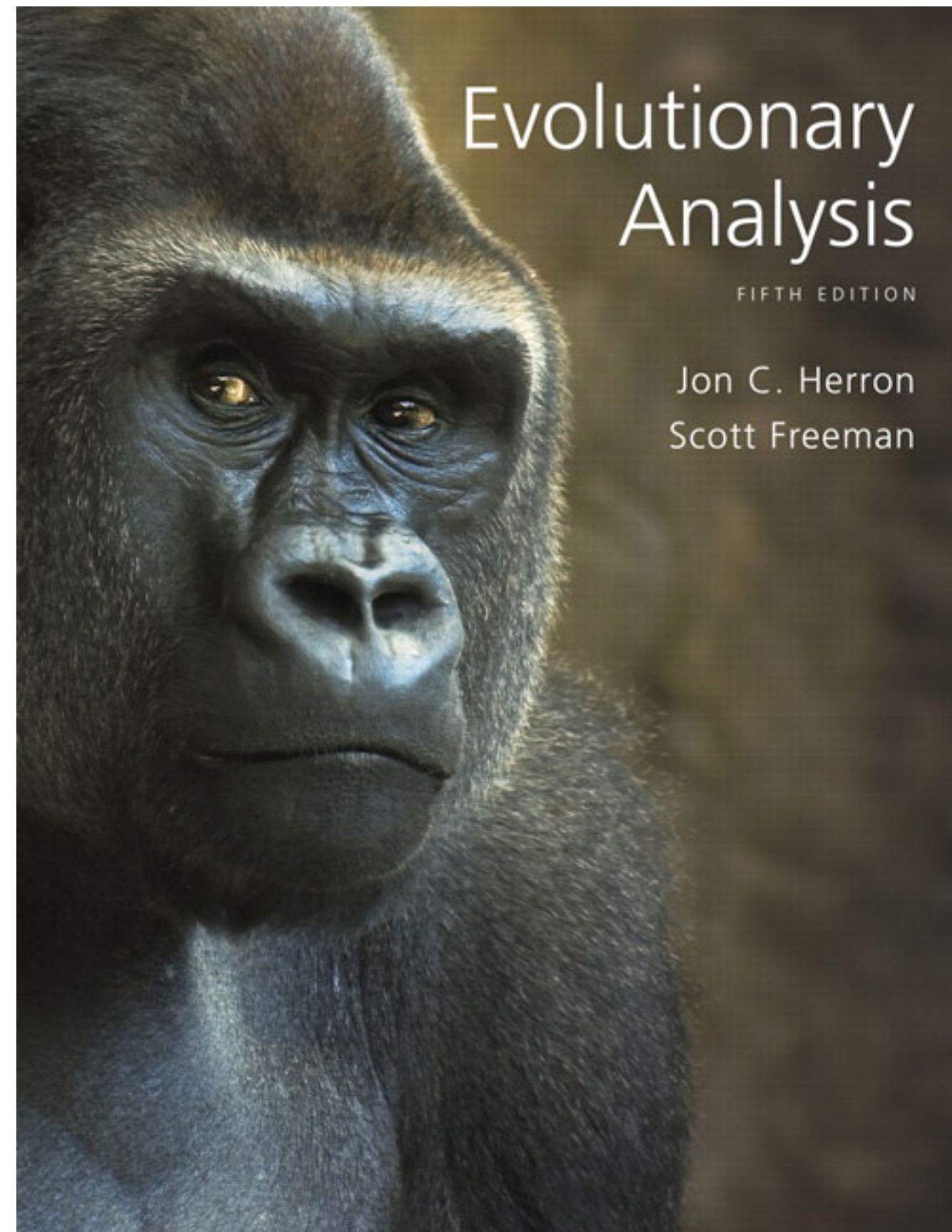
Informacje, materiały:

<http://www.igib.uw.edu.pl/> (~~wiki.biol.uw.edu.pl~~ nie działa)

Podręczniki



Dla zainteresowanych



<https://www.pearsonhighered.com/program/Herron-Evolutionary-Analysis-5th-Edition/PGM296285.html>

Podstawowe pojęcia

- Informacja genetyczna
 - Przekazywana z podziałem komórki informacja umożliwiająca odtworzenie całej struktury komórkowej.
- Materiał genetyczny
 - Nośnik fizyczny informacji genetycznej. W komórkach jest nim DNA.
- Kod genetyczny
 - Mechanizm przełożenia informacji genetycznej zapisanej w sekwencjach DNA i RNA na sekwencję aminokwasową białka. Zasadniczo taki sam u wszystkich organizmów żywych.

Ewolucja

- Znaczenie ogólne: zmiany zachodzące stopniowo w czasie
 - W biologii – ewolucja biologiczna
 - W astronomii i kosmologii – ewolucja gwiazd i wszechświata
 - W naukach społecznych – “ewolucja wierzeń, poglądów” itp.

Ewolucja biologiczna

- Znaczenie ogólne:
 - proces zmian informacji genetycznej organizmów (częstości i rodzaju alleli w populacji),
 - które to zmiany są przekazywane z pokolenia na pokolenie
 - dotyczy populacji, nie pojedynczego osobnika
 - dotyczy zmian **dziedziczonych**
- Dziedziczenie z modyfikacją (*descent with modification* - Darwin)

Ewolucja biologiczna

- Zjawisko (fakt)
- Teoria ewolucji
- Historia zmian ewolucyjnych

Ewolucja biologiczna - zjawisko

- Zjawisko ewolucji (fakt)
 - Dziedziczne zmiany w populacjach organizmów
 - Łatwe do zaobserwowania w warunkach naturalnych i laboratoryjnych
 - Ewolucja eksperymentalna

Ewolucja biologiczna - teoria

- Teoria ewolucji
 - Wyjaśnienie mechanizmów zmian ewolucyjnych
 - darwinizm i neodarwinizm
 - Wyjaśnienie roli mechanizmów ewolucyjnych w kształtowaniu organizmów żywych
 - wspólne pochodzenie

Ewolucja biologiczna - historia

- Historia zmian ewolucyjnych
 - Jak przebiegała ewolucja życia na Ziemi
 - Oparte na danych kopalnych - nieuniknione luki
 - Odtwarzanie relacji pokrewieństwa na podstawie cech organizmów współczesnych - filogenetyka
 - obecnie na podstawie danych molekularnych (DNA, białka)
- Nieuniknione luki w wiedzy - typowe dla pytań o historię

Teoria ewolucji

- Populacje zmieniają się w czasie
- Różne żyjące organizmy wywodzą się od wspólnych przodków
- Mechanizmy zmian ewolucyjnych
 - Kształtowane przez dobór (naturalny lub sztuczny)
 - Losowe (dryf)

Podstawy ewolucji

- Replikacja informacji genetycznej wprowadza zmienność
 - Losowe błędy w replikacji (nieuniknione)
- Wytworzone przez zmienność warianty nie są równocenne
 - Różne warianty mają różne dostosowanie (*fitness*) – różne prawdopodobieństwo przekazania informacji kolejnym pokoleniom w danych warunkach środowiska

Podstawy ewolucji

- Skoro błędy w replikacji są nieuniknione, to wszystkie replikatory mogą podlegać ewolucji
- Replikacja jest koniecznym i wystarczającym warunkiem ewolucji
 - wyjątek – w pełni stabilne i jednorodne środowisko, zawsze faworyzujące jeden genotyp

Mechanizmy ewolucji

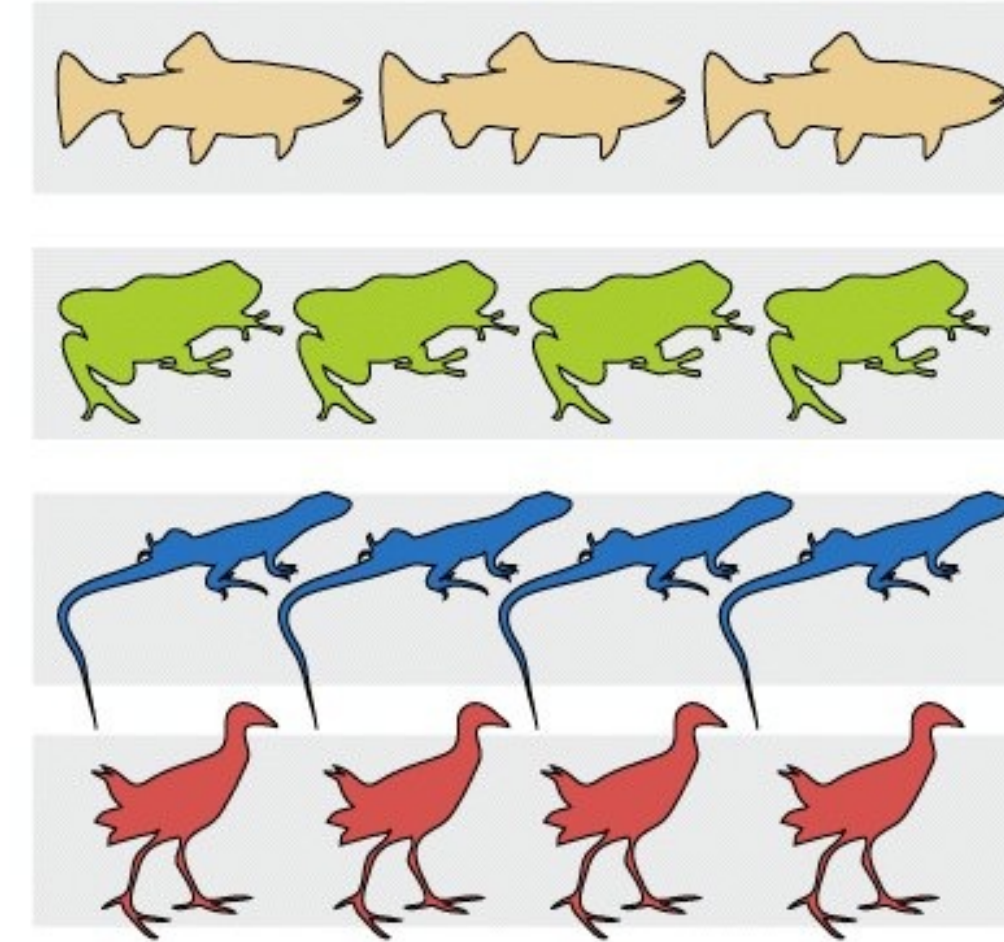
- Generujące zmienność
 - mutacje
 - rearanżacje genomu
 - horyzontalny transfer genów
- Działające na warianty wytworzone przez zmienność
 - dobór naturalny
 - dryf genetyczny

Główne założenie darwinizmu i neodarwinimu

- Podstawowym mechanizmem kształtującym proces ewolucji biologicznej jest dobór naturalny
 - dryf genetyczny i inne zjawiska też mają znaczenie
 - znaczenie doboru i dryfu jest różne na różnych poziomach zmian ewolucyjnych
 - na poziomie molekularnym (zmian sekwencji DNA i białek) dryf może być głównym mechanizmem zmian – teoria neutralna
 - za adaptacje odpowiada dobór naturalny!

Special Creation

- Species do not change
- Each species separately created
- Earth and life are young



Descent with Modification

- Species change over time
- Species derive from common ancestors
- Earth and life are old

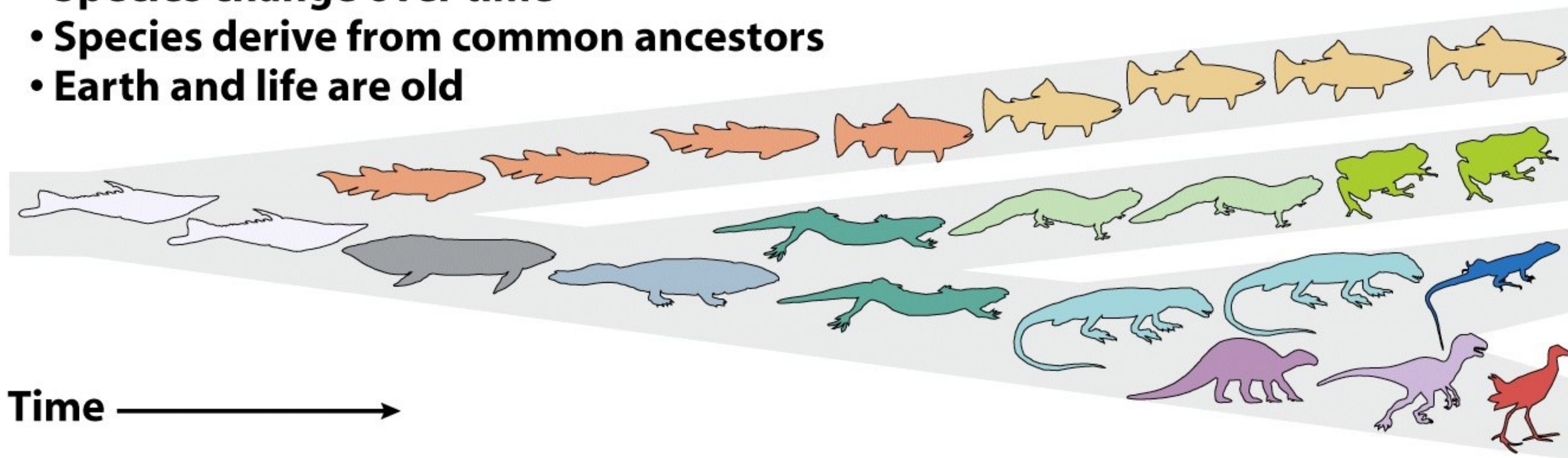
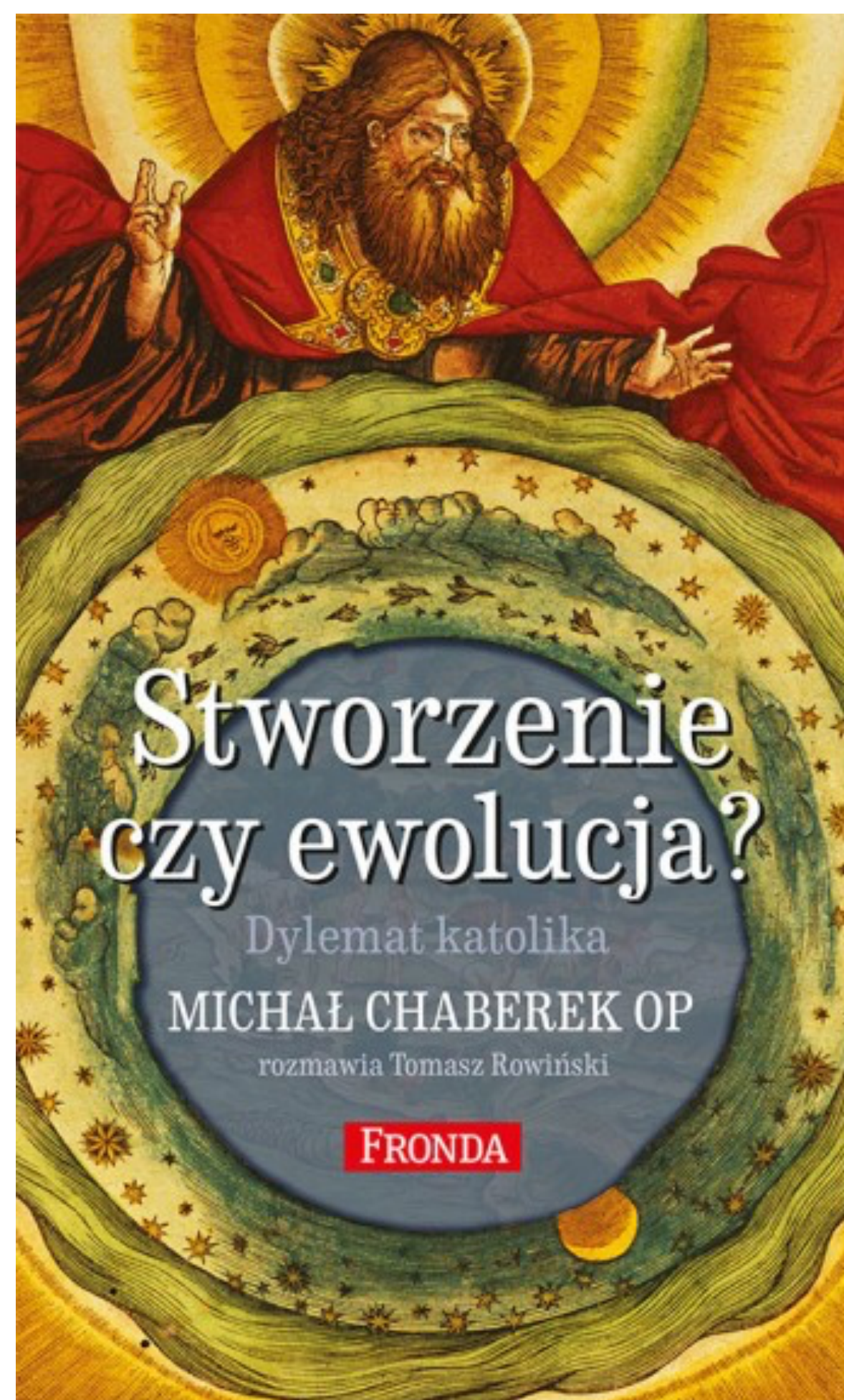
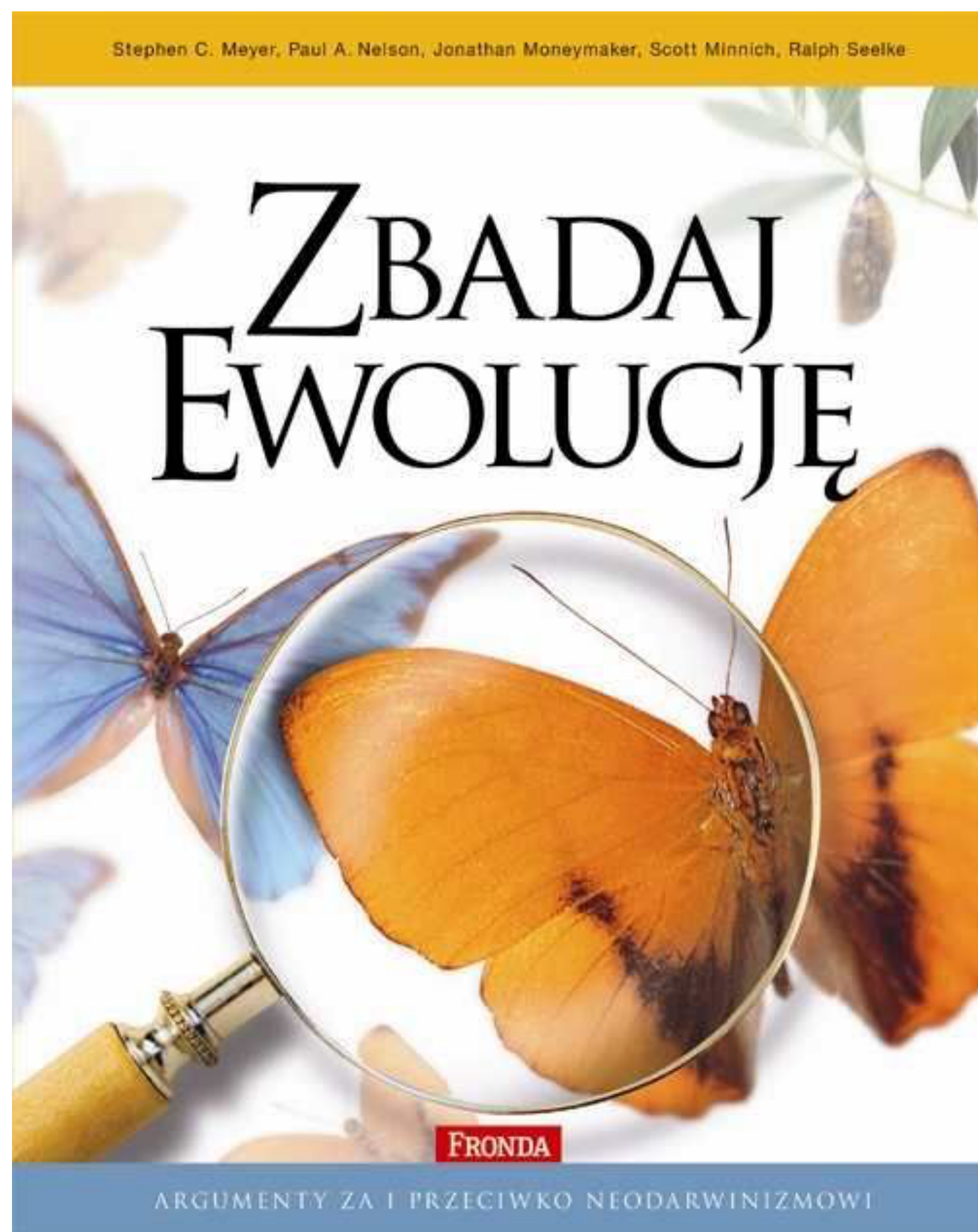


Figure 2-1 Evolutionary Analysis, 4/e
© 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.

Ewolucja czy kreacja?

Kreacjoniści są wśród nas

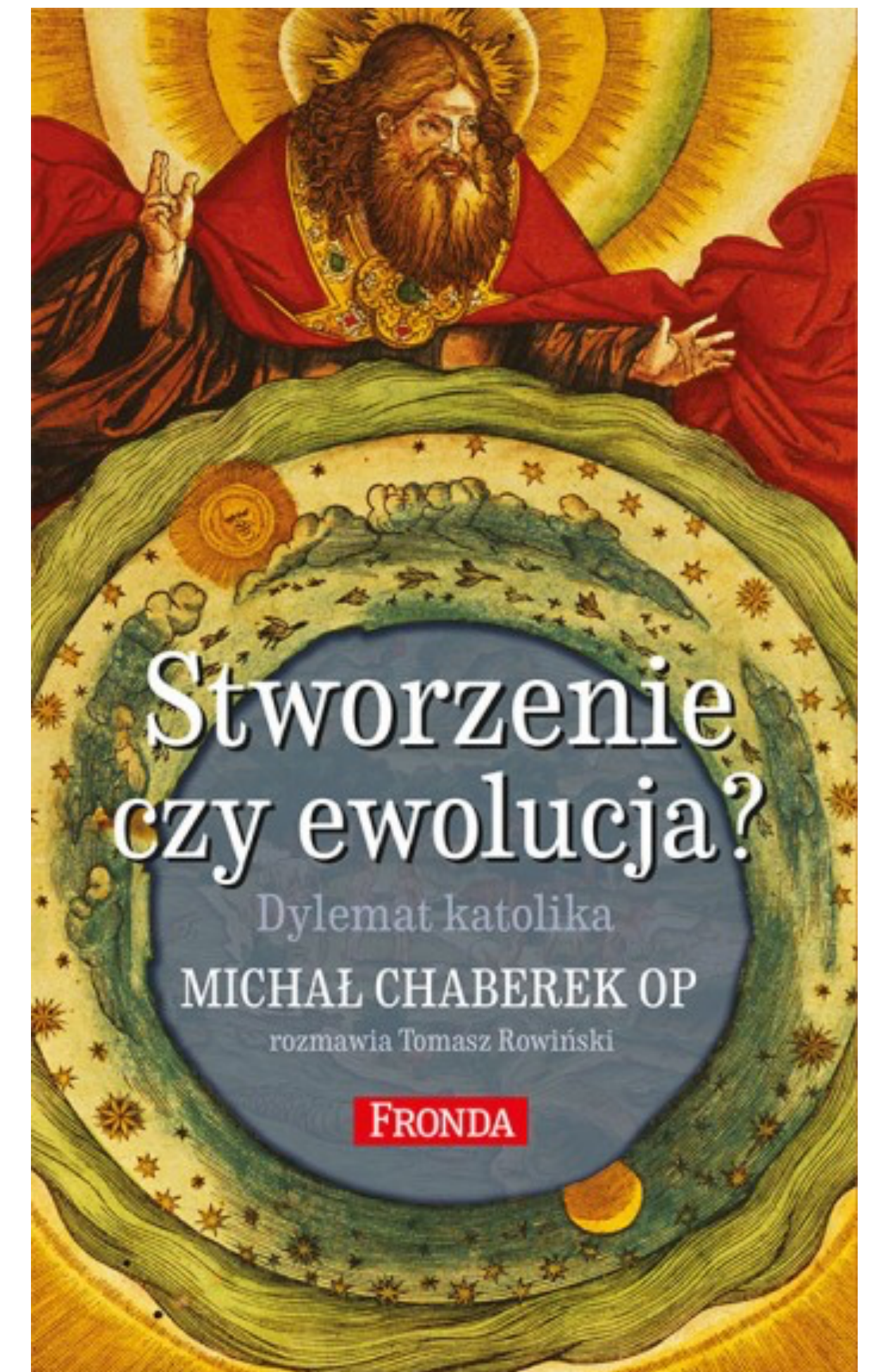


Typowy błąd kreacjonistyczny

“W teorii Darwina każda jednostka jest efektem kumulacji przypadkowych zdarzeń.”

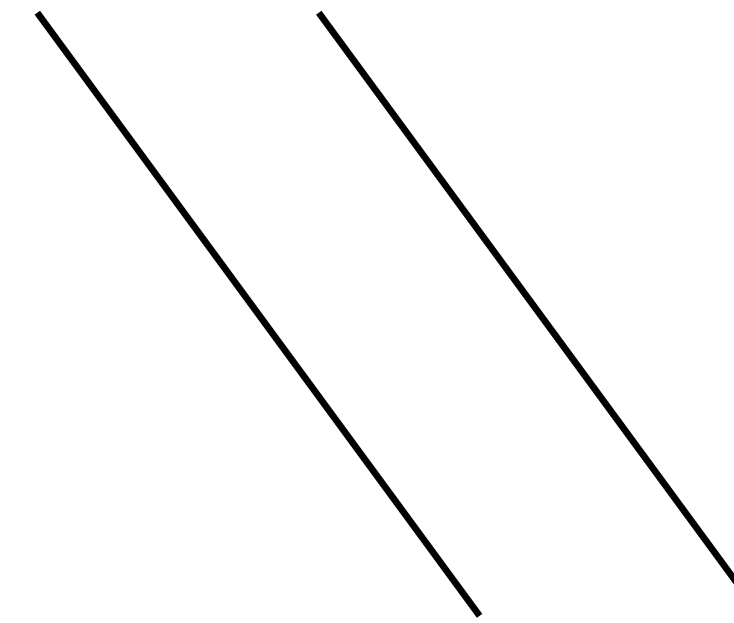
Michał Chaberek, OP, w: *“Stworzenie czy ewolucja? Dylemat katolika”*

Istotnie, ewolucja zaczyna się od przypadkowych zmian, ale organizmy są produktem **nieprzypadkowej** selekcji tych zmian przez dobór naturalny!

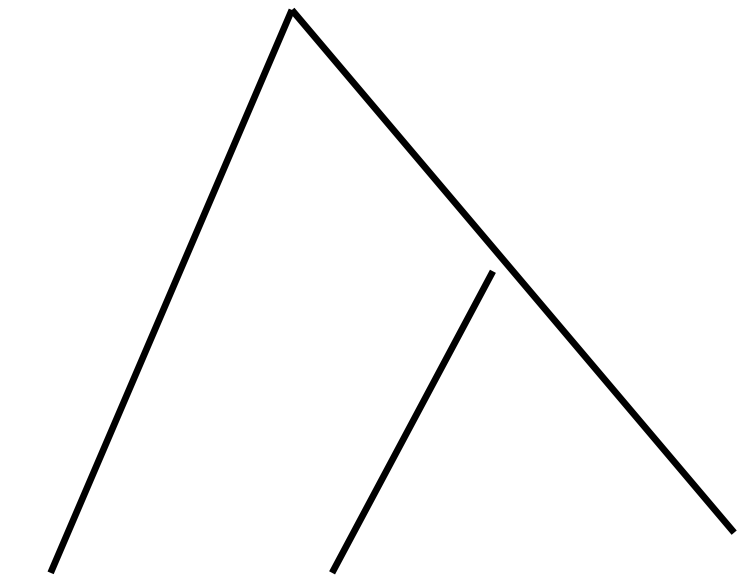


Zamiast historii

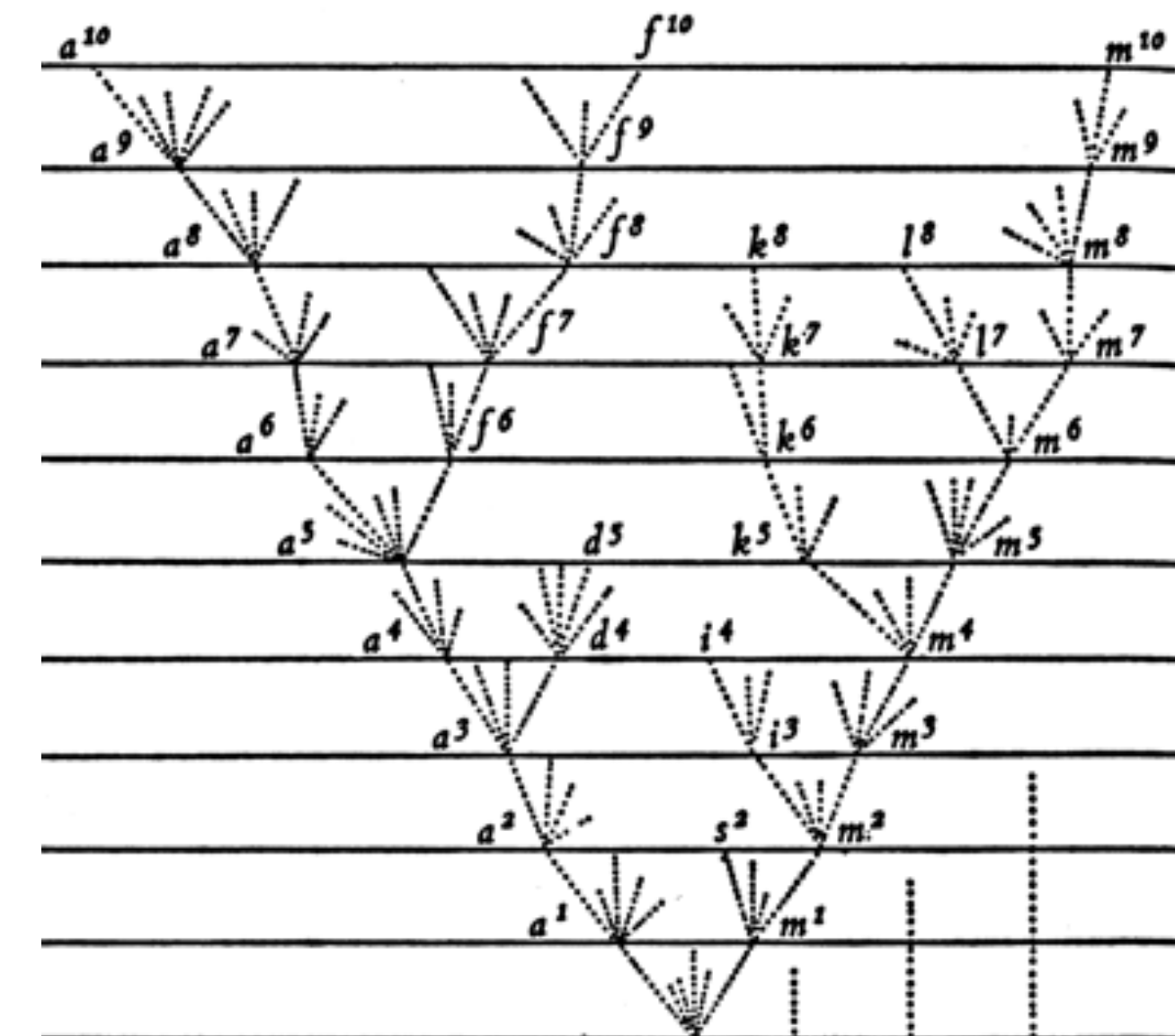
- Przekonanie o zmienności form żywych pojawiało się przed Darwinem, ale nie były znane mechanizmy
- Osiągnięcia Darwina:
 - teoria doboru naturalnego jako mechanizmu ewolucji
 - koncepcja wspólnego pochodzenia (u Lamarcka była zmiana ewolucyjna, ale bez wspólnego pochodzenia)



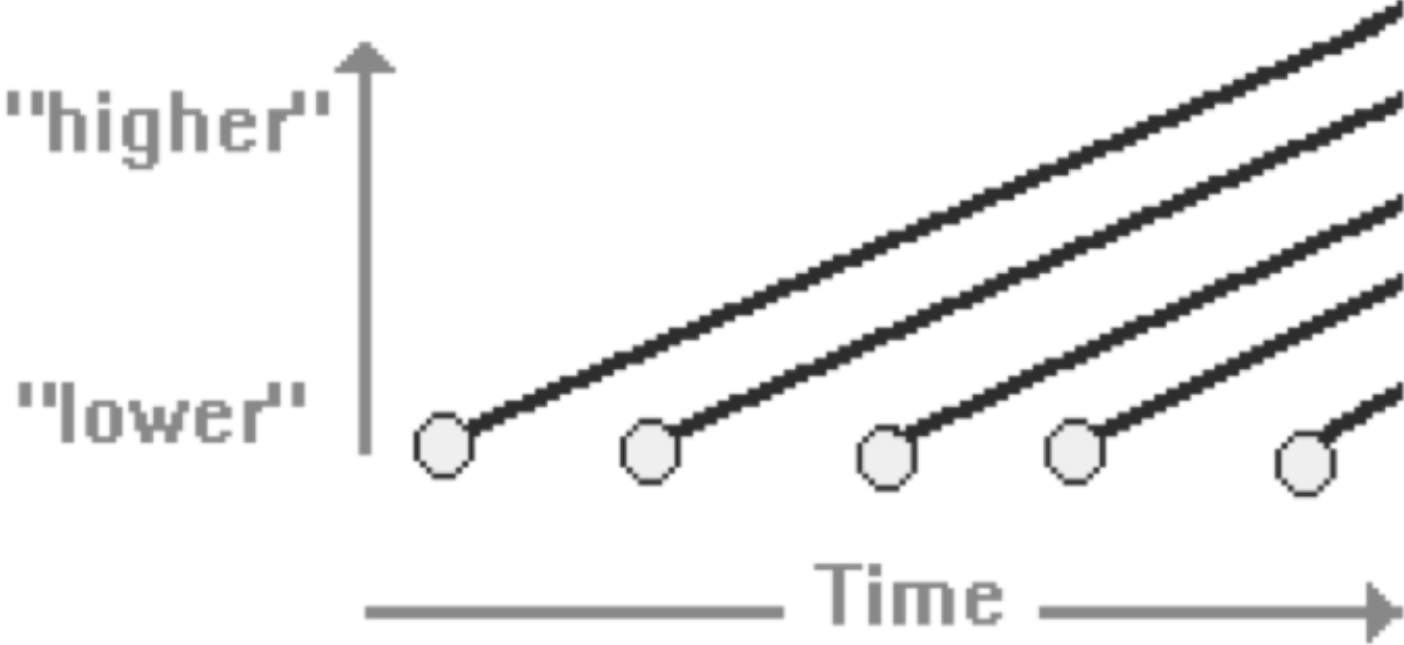
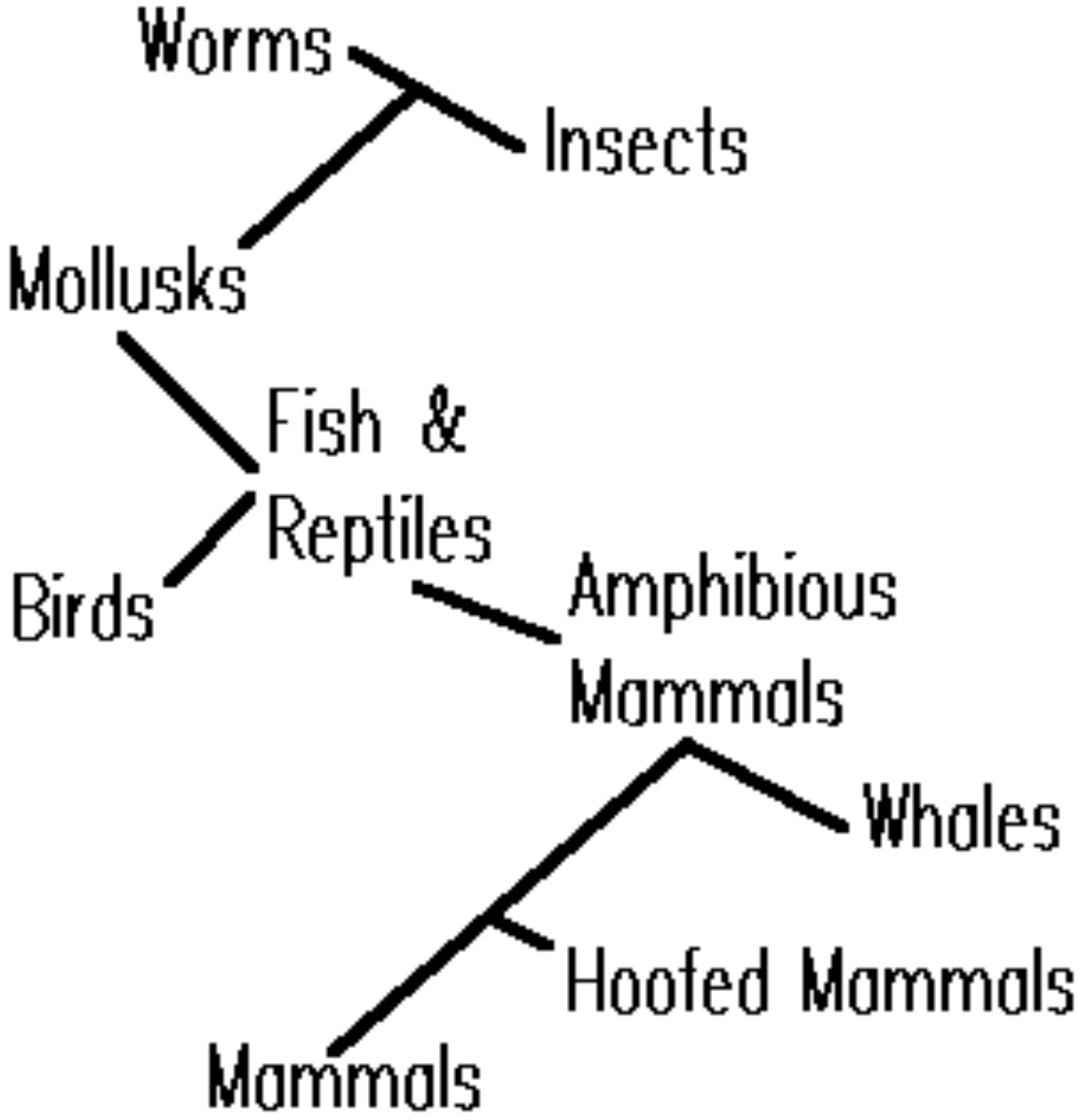
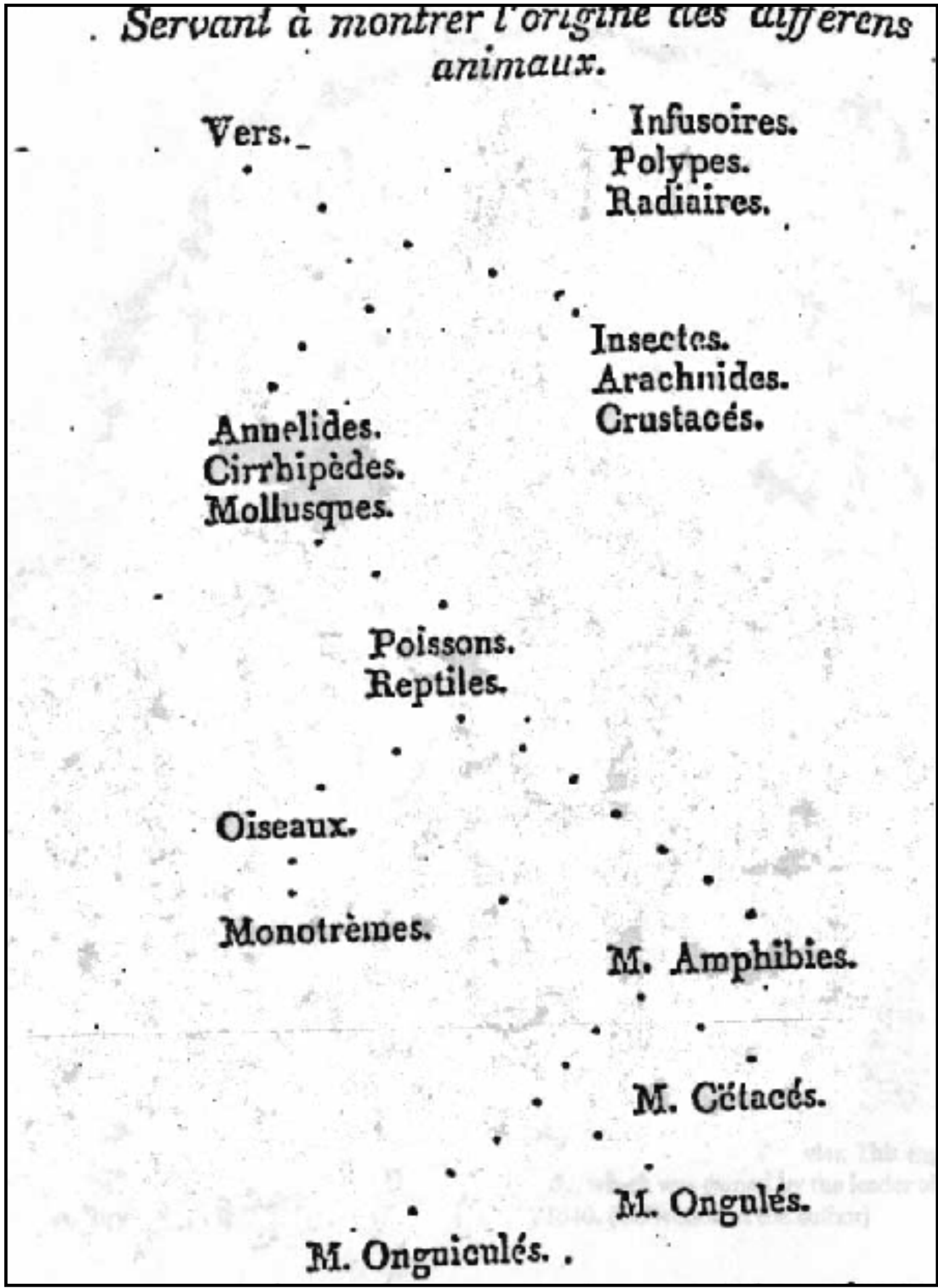
Lamarck



Darwin



Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829)



Philosophie Zoologique (1809)

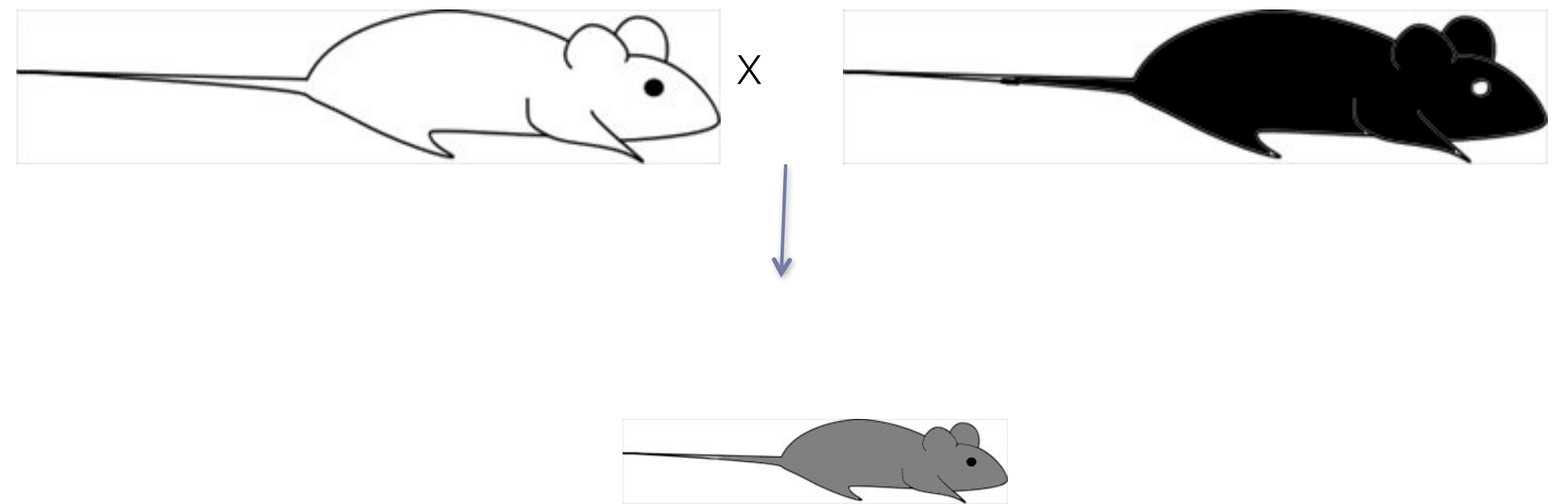
Problem Darwina - brak poprawnej teorii dziedziczenia.

Hipoteza pangenezy

- Oparta na koncepcjach Hipokratesa
- Uwzględnia teorię komórkową, ale zakłada istnienie cząstek mniejszych od komórek, z których komórki mogą powstawać
- Cząstki - gemmule, wytwarzane przez narządy i przenoszone przez krew do narządów rozrodczych
- Gemmule ojca i matki mieszają się tworząc zarodek
- Możliwe częściowe dziedziczenie cech nabytych

Główne problemy pangenezy

- Dziedziczenie cech nabytych
- Mieszanie się cech
 - pozornie zgodne z obserwacjami (np. kolor skóry człowieka)
 - nie wyjaśnia przeskakiwania pokoleń i wielu wzorów dziedziczenia
- uniemożliwia ewolucję wg. teorii Darwina!



Tymczasem na Morawach

- Za dziedziczenie każdej cechy odpowiadają wyodrębnione jednostki (geny), które się nie mieszają i nie zmieniają
- Każdy organizm posiada dwie kopie (allele) każdego genu
- Każda gameta wytwarzana przez organizm posiada tylko jeden allel z danej pary alleli genu. Rozdział alleli zachodzi z jednakowym prawdopodobieństwem
- Gdy organizm posiada dwa warianty (allele) danego genu, w fenotypie ujawnia się tylko jeden z nich - dominacja



Gregor Mendel
(1822-1884)

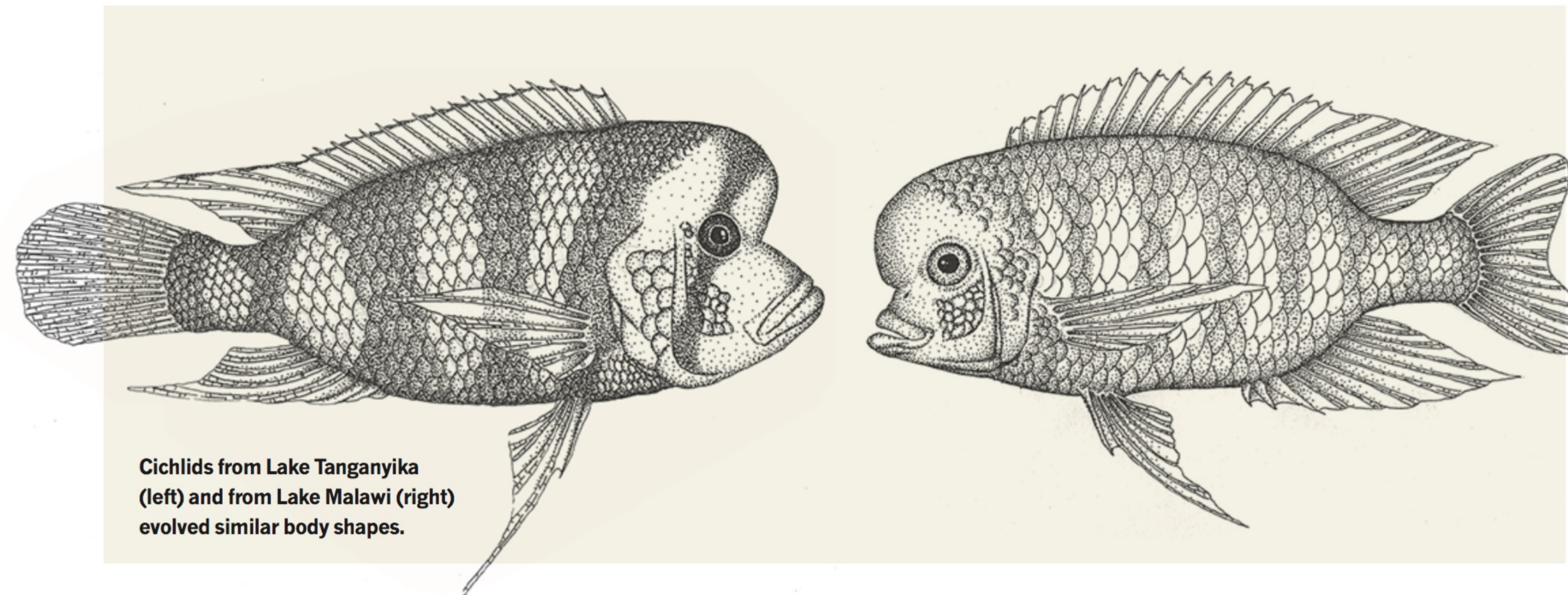
Mendel i Darwin

- Publikacja Mendla w 1866 w *Verhandlungen des naturforschenden Vereins Brünn* (Raporty Towarzystwa Nauk Przyrodniczych w Brnie)
 - czasopismo mało znane w Europie
 - tytuł “Doświadczenia nad hybrydyzacją u roślin”
- Czy Darwin miał dostęp do prac Mendla?

Syntetyczna teoria ewolucji

- Tzw. “współczesna synteza” (*modern synthesis*)
- Połączenie teorii doboru naturalnego z genetyką
 - klasyczną (pierwsza połowa XX w.)
 - molekularną - ewolucja molekularna
- Neodarwinizm
 - niezbyt jasne definicje:
 - nurt STE kładący nacisk na rolę doboru
 - synonim STE

Aktualna dyskusja



Does evolutionary theory need a rethink?

Researchers are divided over what processes should be considered fundamental.

POINT

Yes, urgently

COUNTERPOINT

No, all is well

Status STE

- Trwają dyskusje dotyczące włączenia do teorii ewolucji takich zjawisk, jak:
 - epigenetyka
 - plastyczność rozwojowa i fenotypowa
 - kształtowanie niszy przez organizm (dobór jako proces dwukierunkowy)
 - symbioza na poziomie genomu
 - ogólnie - nie zawsze ewidentne przełożenie genotypu na fenotyp (dostosowanie)

Podstawowa wątpliwość

- Czy allelom pojedynczych genów można przypisywać określony współczynnik selekcji?
 - Oddziaływania genetyczne
 - Zdarza się, że mutacja jest korzystna w jednym tle genotypowym, a w innym - niekorzystna

Status STE

- Na gruncie nauki **nie** jest podważana idea ewolucji biologicznej, ani jej zasadniczo darwinowski mechanizm (losowa zmienność i dobór)
- Dyskusje w obrębie TE nie są podstawą do jej odrzucenia
- Odrzucanie TE zawsze ma motyw pozanaukowy (religijny), niezależnie od prób prezentacji na gruncie nauki
 - “inteligentny projekt” - próba przedstawienia kreacjonizmu jako teorii naukowej

Ewolucja biologiczna

- Znaczenie ogólne:
 - proces zmian informacji genetycznej organizmów (częstości i rodzaju alleli w populacji),
 - które to zmiany są przekazywane z pokolenia na pokolenie
 - dotyczy populacji, nie pojedynczego osobnika
 - dotyczy zmian **dziedziczonych**
- Dziedziczenie z modyfikacją

Elementy teorii informacji w ewolucji

Teoria informacji

- Zmienna losowa X – obiekt mogący przyjąć skończoną liczbę stanów x_1, \dots, x_N , z określonymi prawdopodobieństwami p_1, \dots, p_N
- Przykład



$x_1; p_1=0,5$



$x_2; p_2=0,5$

Informacja – ujęcie matematyczne

- Entropia – miara niepewności dotyczącej stanu zmiennej losowej

$$H(X) = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i$$

- Podstawa logarytmu definiuje jednostkę
 - \log_2 – bity
 - \ln – naty
 - \log_N – mery

Informacja – ujęcie matematyczne

- W przypadku monety



$x_1; p_1 = 0,5$



$x_2; p_2 = 0,5$

$$H(X) = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i$$

$$H(X) = - [0,5 * \log_2(0,5) + 0,5 * \log_2(0,5)] = - [0,5 * (-1) + 0,5 * (-1)] = 1 \text{ bit}$$

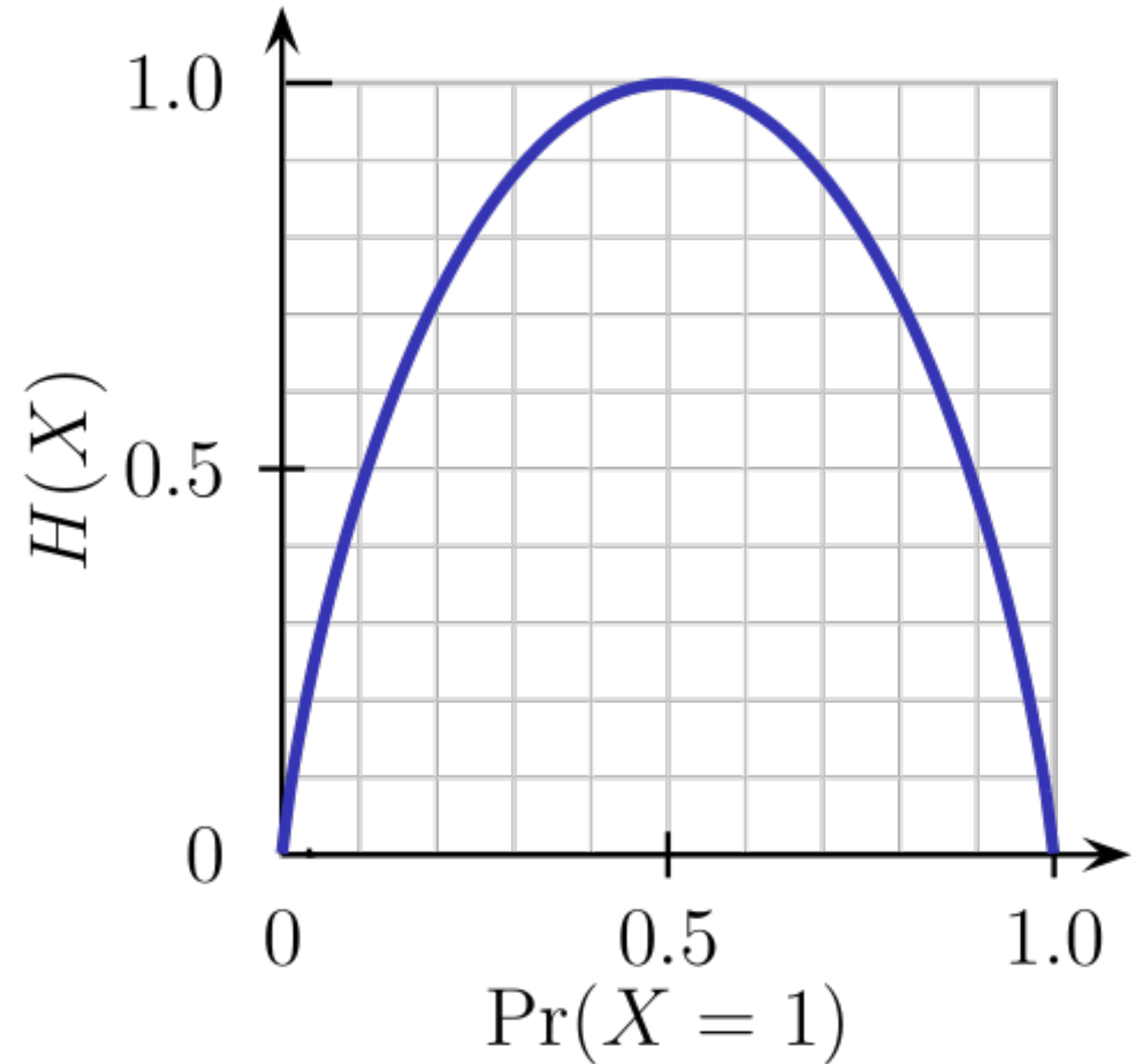
- Informacja – zmniejszenie niepewności
 - Znajomość wyniku rzutu monetą to 1 bit informacji
 - Maksymalna informacja, którą może nieść układ jest równa jego entropii

Teoria informacji

- Informacja musi mieć reprezentację fizyczną (moneta, bity w pamięci komputerowej, nukleotydy w DNA, neurony)
- Informacja musi mieć kontekst
- Dowolny układ symboli jest potencjalną informacją (posiada entropię), ale dopiero związek ze światem fizycznym nadaje mu status informacji

Maksimum entropii

- Entropia jest największa wtedy, gdy $p_1=p_2=\dots p_N$ – największa niepewność



Teoria informacji w biologii

- W układach biologicznych informacja zapisana jest w DNA
- Jedna pozycja nukleotydowa, gdzie każdy z nukleotydów może występować z jednakowym prawdopodobieństwem: $H(X) = 2$ bity (1 mer)
- Jest to maksymalna entropia dla tej pozycji
- W rzeczywistości prawdopodobieństwo wystąpienia danego nukleotydu w danej pozycji nie zawsze wynosi 0,25, jeżeli na sekwencję działa dobór

O czym ta informacja?

- Żeby określić właściwą zawartość informacji i odróżnić ją od redundancji, trzeba wiedzieć czego dotyczy
- Każda populacja żyje w określonym środowisku
- Mutacje wywołują zmienność
- Środowisko dokonuje selekcji
- Ergo: genom zawiera informację o niszy środowiskowej organizmu („genetyczna księga umarłych”)
- Zmienność populacji przed selekcją odpowiada wyjściowej entropii
- Informacja płynie ze środowiska do genomu (genomów)

Ewolucja a informacja

Informacja w biologii jest więc ściśle powiązana z ewolucją.

Tylko analiza ewolucyjna pozwala na określenie informacji w biologii.

Informacja a ewolucja

- W rzeczywistości prawdopodobieństwo wystąpienia danego nukleotydu w danej pozycji nie zawsze wynosi 0,25, jeżeli na sekwencję działa dobór
- W danym środowisku prawdopodobieństwa wystąpienia w sekwencji określonego nukleotydu są różne (np. C w 78% w danej pozycji, itp.)
- Na tej podstawie obliczamy $H(X)$
- Różnica między H_{max} a $H(X)$ to miara informacji o środowisku zawartej w tej pozycji

Informacja w sekwencji białka

Maksymalna entropia pozycji jeżeli nie ma żadnych ograniczeń:

$$H(X_i) = H_{max} = \log_2(20) \approx 4,32 \text{ bity}$$

W rzeczywistości aminokwasy w danej pozycji nie występują losowo – ogranicza to dobór naturalny, czyli środowisko

Sekwencje DNA i białek zawierają informację o środowisku (szeroko pojmowanym)

Informacja w sekwencji białka

Stan środowiska to zmienna losowa E o stanach e_j o określonym prawdopodobieństwie.

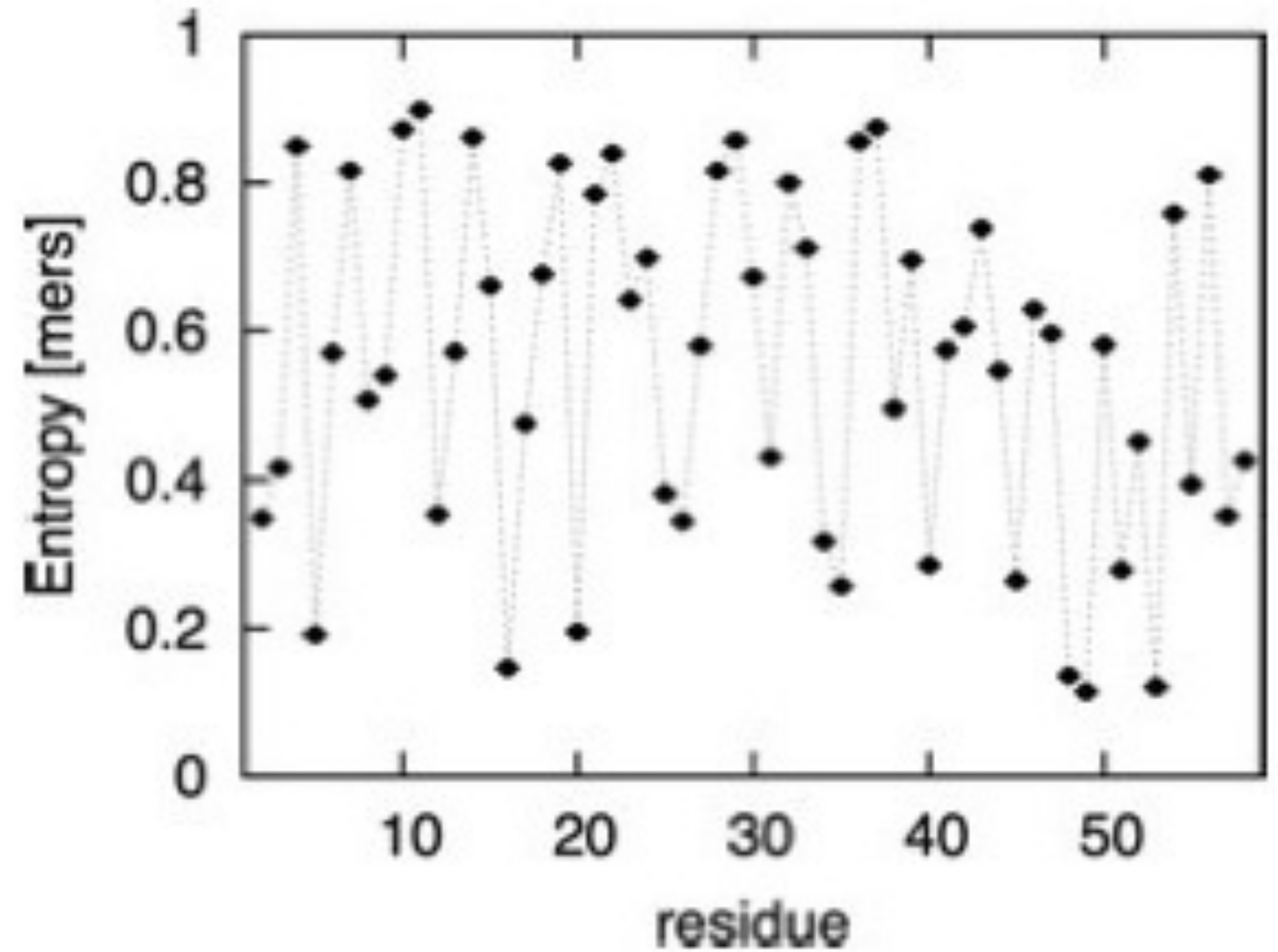
Środowisko ogranicza występowanie w danej pozycji konkretnych aminokwasów (np. w danej grupie w 80% w danej pozycji Trp, itp.).

Na tej podstawie można obliczyć obserwowaną entropię danej pozycji, kształtowaną przez środowisko (poprzez dobór): $H(X_i|E = e_j)$

Różnica $H_{max} - H(X_i|E = e_j)$ to informacja o środowisku zapisana w pozycji i sekwencji.

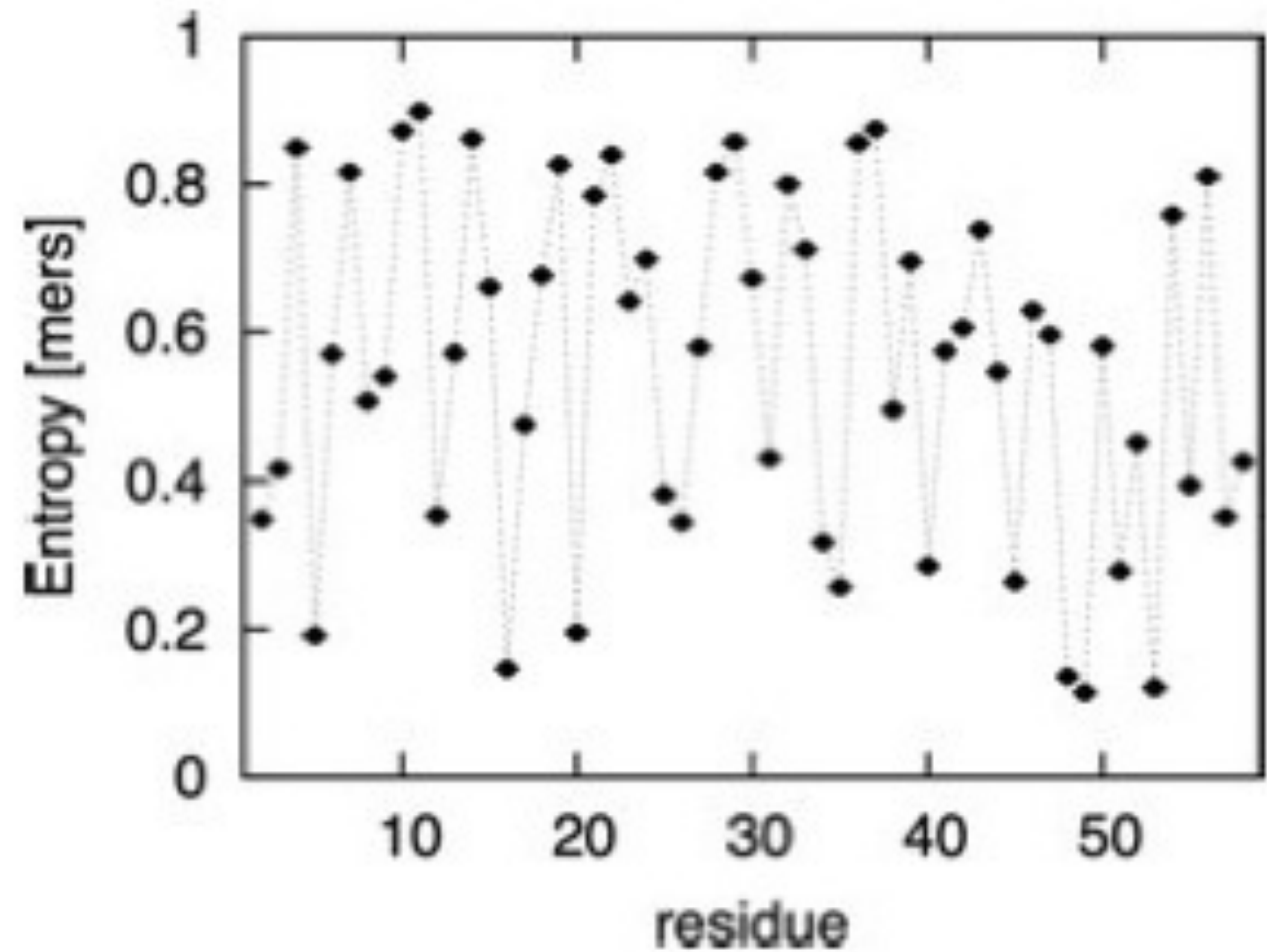
Profil entropii białka

- Przykład: 57 aminokwasów homeodomeny gryzoni, na podstawie porównania 810 sekwencji



Całkowita zawartość informacji

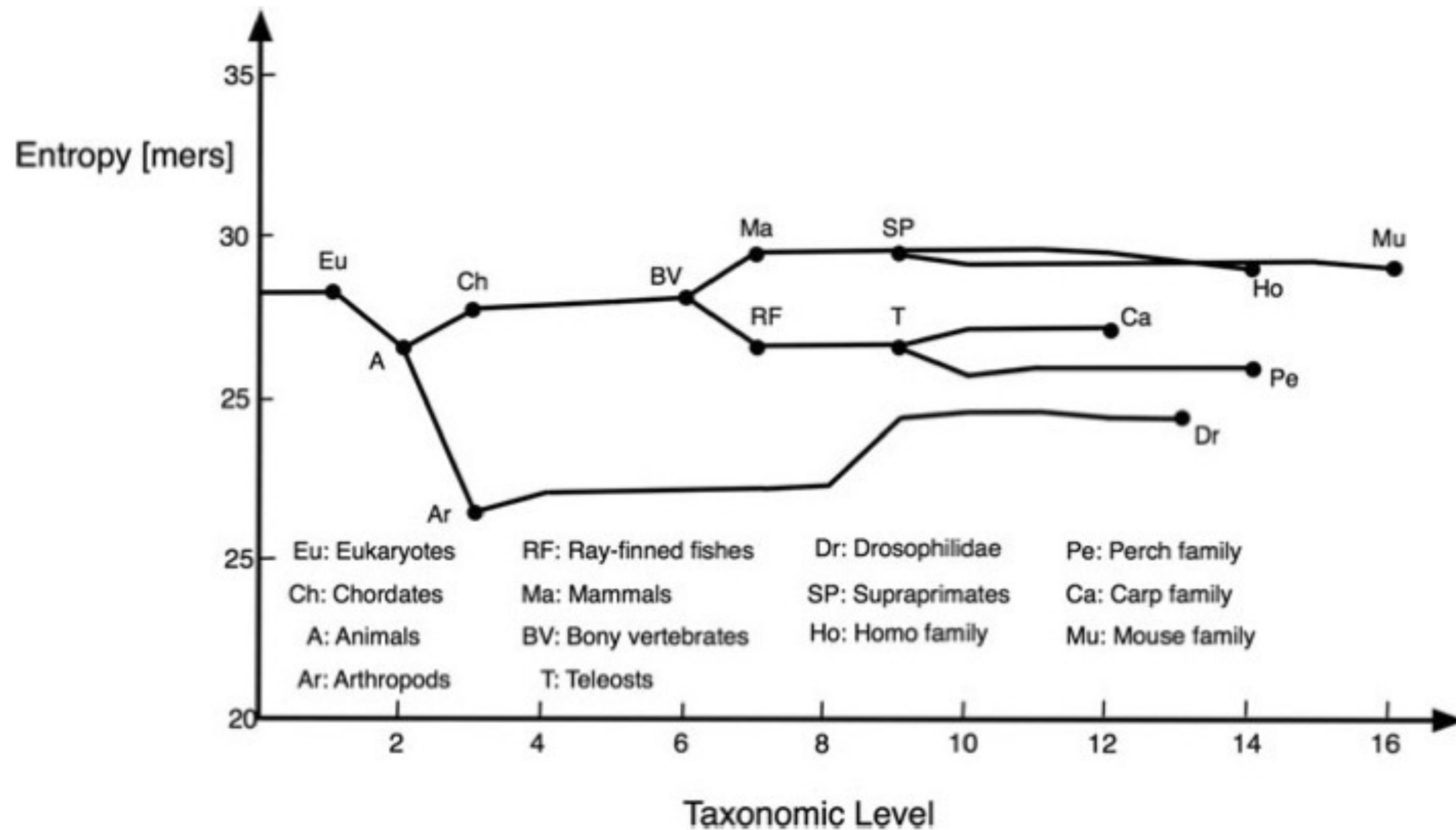
- Całkowitą entropię (i całkowitą zawartość informacji) uzyskamy sumując entropię dla wszystkich pozycji



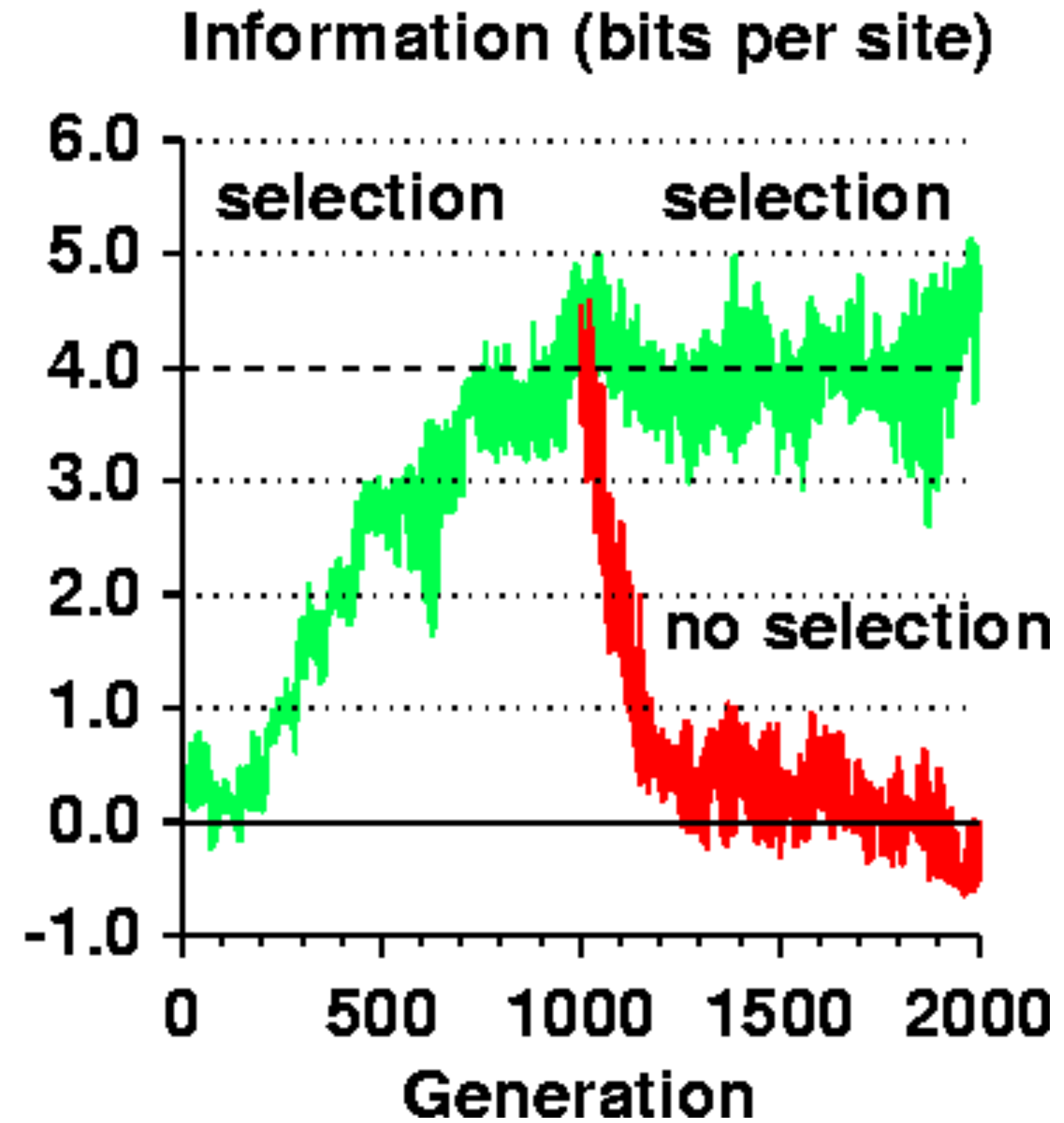
$$I_{\text{gryzonia}} = 57 - \sum_{i=1}^{57} H(X_i)$$

$$I_{\text{gryzonia}} = 25,29 \pm 0,09 \text{ merów} \approx 109 \text{ bitów}$$

Entropia homeodomeny w ewolucji



Gdyby nie było doboru...



Skąd pochodzi informacja genetyczna

Informację genetyczną “zapisuje” środowisko poprzez proces doboru naturalnego, równoważąc utratę informacji na skutek błędów replikacji