

O ROZUMENIU INFORMACJI W BIOLOGII WSPÓŁCZESNEJ

Radosław Siedliński



POLSKO-JAPOŃSKA
AKADEMIA TECHNIK
KOMPUTEROWYCH

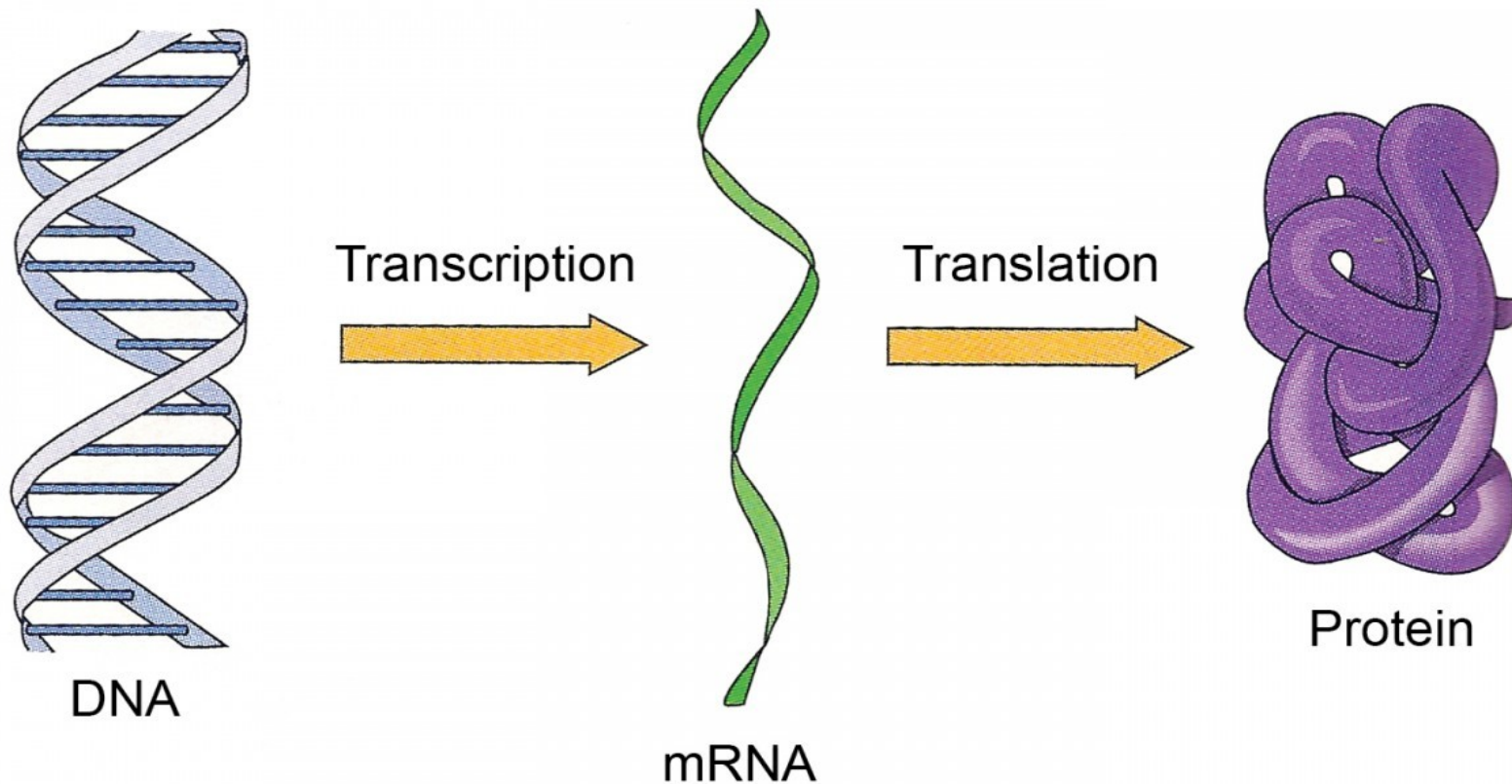
PLAN REFERATU

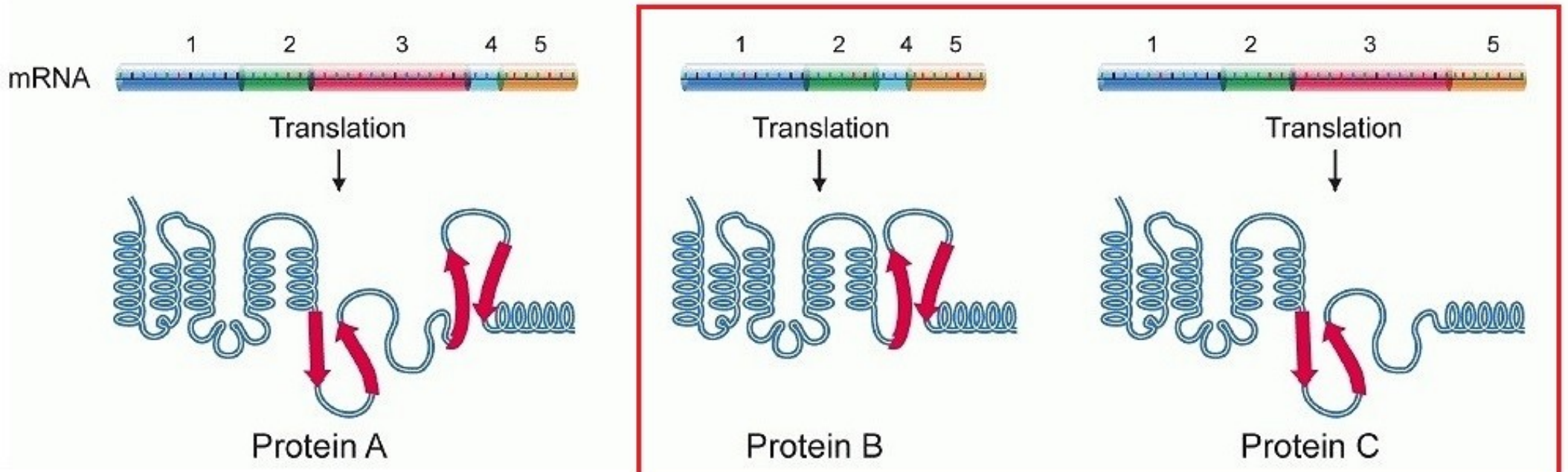
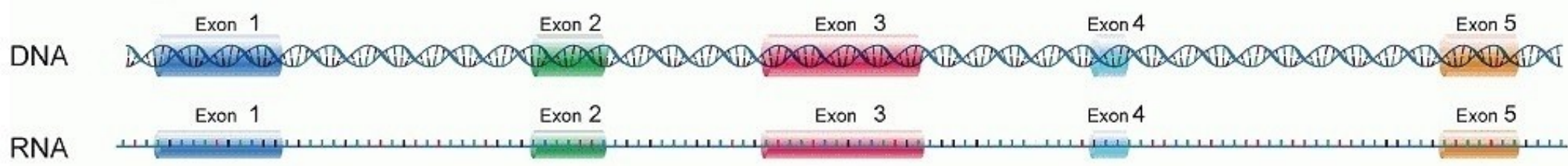
1. Kształtowanie się nowoczesnego genocentryzmu
2. Problem z definicją informacji biologicznej
3. Kauzalne vs. semantyczne rozumienie bioinformacji
4. Kwestia intencjonalności informacji biologicznej
5. Cztery szlaki przekazywania bioinformacji wg E. Jablonki
6. Szlak piąty – ekologiczny (tzw. "konstrukcja niszy")
7. Biologia systemowa jako nowy paradygmat w badaniu układów żywych
8. Całościowa koncepcja informacji biologicznej A. Latawiec

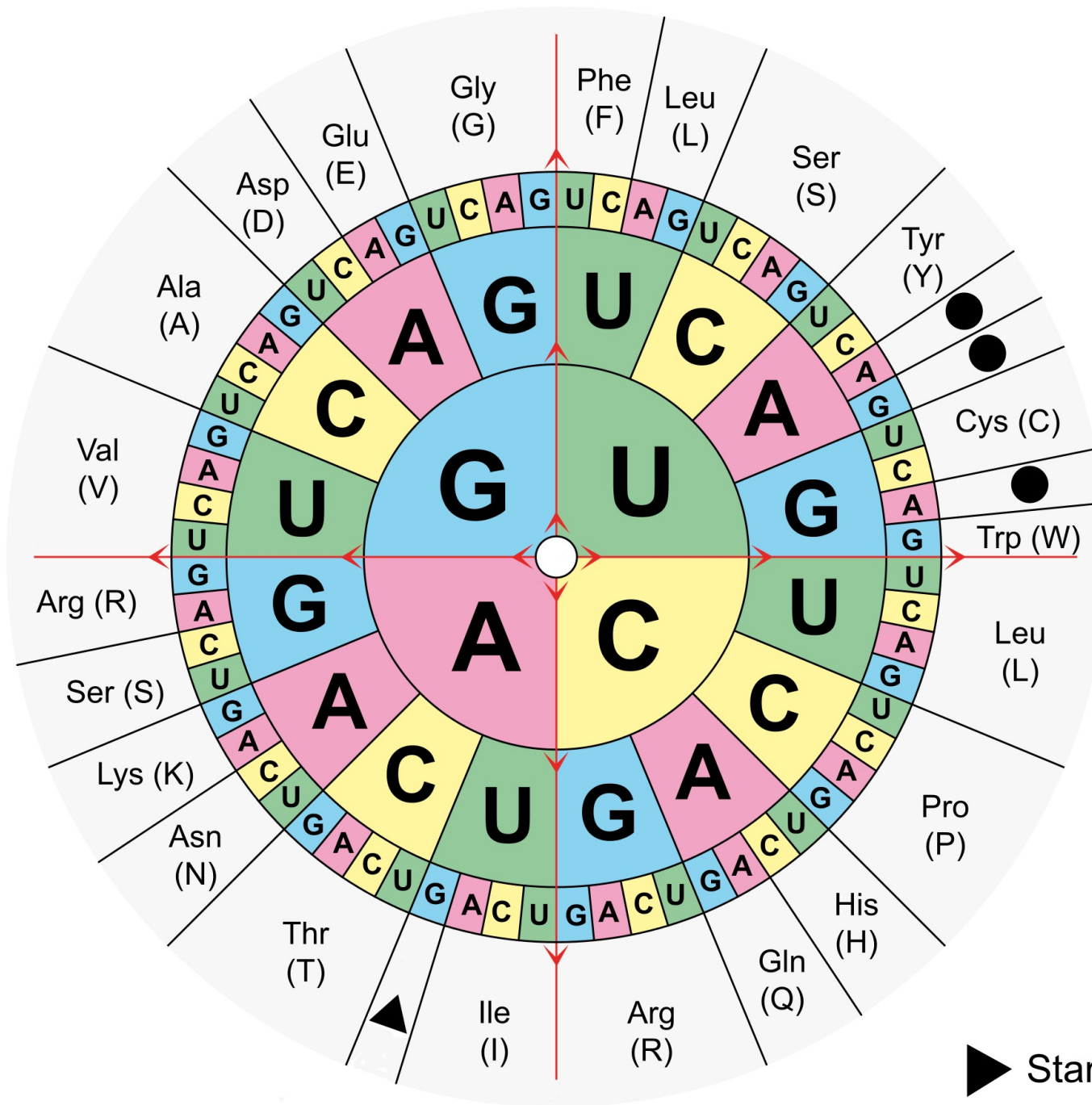
Dyskusja nad znaczeniem i rolą pojęcia "informacji" w biologii molekularnej koncentruje się na opisie relacji zachodzących między **genami** a różnymi **produktami** w których zaistnieniu geny pełnią funkcję przyczynową.

Zdaniem wielu biologów przyczynowa rola genów winna być rozumiana specyficznie: geny uznaje się za **nośniki informacji** o swoich produktach – **białkach**.

Geny, jak się powszechnie uważa, **kodują informacje o białkach**. Dokładniej mówiąc: kolejne trójki nukleotydów (tzw. *tryplety*) w łańcuchu DNA kodują informacje o **aminokwasach** będących komponentami białek.







▲ Start
 ● Stop

KSZTAŁTOWANIE NOWOCZESNEGO GENOCENTRYZMU

1944 – 1953	Pierwsze próby stosowania pojęć matematycznej teorii informacji , do formułowania (E. Schrödinger) oraz rozwiązywania (S. Dancoff, H. Quastler) problemów z zakresu biochemii.
1953 – 1960	Za pomocą pożyczonych z teorii informacji (oraz rozwijającej się prężnie informatyki) pojęć i metafor zbudowany zostaje konceptualny fundament nowoczesnej genetyki molekularnej (G. Gamow, A. Hershey i M. Chase, F. Crick, J. Watson, L. Orgel, J. Monod, F. Jacob).
1960 – 1976	Stworzona wcześniej siatka pojęciowa zostaje wmontowana w ramy syntetycznej teorii ewolucji dając jej mocne ugruntowanie w biologii molekularnej (G. Williams, R. Dawkins).

Początek lat 60' XX w.:

- informacja genetyczna
- kod genetyczny
- odczyt/zapis informacji
- transfer informacji
- program genetyczny

Genocentryczny pogląd na świat ożywiony:

- *DNA robi RNA, RNA robi białka, białka robią nas*
- *Odkryliśmy tajemnicę życia*
- *Geny są istotą życia*

(F. Crick)

KSZTAŁTOWANIE NOWOCZESNEGO GENOCENTRYZMU

Fundament paradygmatu genocentrycznego:

- informacja biologiczna utożsamiona zostaje z informacją genetyczną
- gen utożsamiony zostaje z odcinkiem DNA kodującym białko

W ramach owego paradygmatu rozmaite zjawiska biologiczne oraz różne poziomy ich organizacji (a także dyscypliny je badające) mogą zostać scharakteryzowane przy użyciu pojęcia *informacji*:

- **biologia molekularna** – bada w jaki sposób informacja genetyczna "zapisana" w DNA "tłumaczona" jest na białka
- **biologia rozwoju** – bada w jaki sposób informacja genetyczna kształtuje fenotyp od postaci zygotycznej do dorosłego osobnika
- **biologia ewolucyjna** – bada w wyniku jakich procesów informacja w ogóle znalazła się w DNA w takiej a nie innej postaci

Również problem **biogenezy** można wyrazić w postaci pytania o pochodzenie informacji genetycznej (spór naturalistów z kreacjonistami).

INFORMATION TALK W BIOLOGII WSPÓŁCZESNEJ

- Opisywanie kompletnego fenotypu/organizmu (wraz z całym jego behawiorem) jako **zdeteminowanego** przez informację zapisaną w genomie tegoż organizmu.
- Rozumienie rozmaitych fizyko-chemicznych łańcuchów przyczynowych zachodzących wewnątrz komórki (jak i poza nią – np. w obrębie całego organizmu wielokomórkowego) jako **wykonywania "programów"** zapisanych w genach.
- Traktowanie genów jako obiektów abstrakcyjnych – **zbudowanych z "czystej informacji"**. Reifikowana informacja staje się tu fundamentalnym składnikiem świata ożywionego (G. Williams, R. Dawkins).

UWAGA O TENDENCJI DO REIFIKACJI INFORMACJI W BIOLOGII

Ponieważ konkretna sekwencja nukleotydów w łańcuchu DNA może być zachowywana i przekazywana międzypokoleniowo, część badaczy uznaje informację genetyczną za coś **niezależnego od łańcucha DNA** traktowanego wyłącznie jako jej **nośnik**.

W efekcie dochodzą oni do wniosku, że **informacja jest fundamentalnym składnikiem świata ożywionego**, który winien traktowany być na równi z własnościami fizykalnymi obiektów ożywionych.

Rodzi to pytanie o **szczegóły relacji przyczynowej** łączącej domenę abstrakcyjnie rozumianej informacji z domeną fizycznego konkreту, na który informacja owa miałaby mieć realny wpływ.

Zamiast reifikować informację lepiej jest mówić o **własnościach informacyjnych** obiektów fizycznych. Różne obiekty fizyczne mogą **współdzielić** te same własności informacyjne. Własności owe mogą być objaśnione w terminach fizykalnych z uwzględnieniem kontekstu, w którym obiekty owe są umieszczone.

Np. dwa różne fragmenty łańcucha DNA (ulożone na dwóch różnych egzemplarzach danego chromosomu znajdującego się w dwóch różnych komórkach) **współdzielą** tę samą kolejność ułożenia zasad azotowych. Z kolei kodowane przez nie białko **współdzieli** z nimi liniową kolejność aminokwasów (mimo że same te elementy mają różny charakter fizyczny).

PROBLEM DEFINICJI BIOINFORMACJI

Jak do tej pory brak jest niekontrowersyjnej i powszechnie przyjmowanej **definicji** informacji biologicznej.

Można jednak podać szeroko akceptowane **cechy** bioinformacji:

- ma postać **dyskretną**
- jest zapisana w **kwasach nukleinowych**
- przepływa **od DNA do białek**, nigdy odwrotnie
- determinuje proces **ontogenezy**
- podlega procesom **dziedziczenia**
- jest modyfikowana w procesie **ewolucji darwinowskiej**

Nie jest jasne, czy tak scharakteryzowana informacja ma charakter **kauzalny, czy **semantyczny**.**

Innymi słowy: nie ma jasności, czy w procesach biologicznych mamy do czynienia wyłącznie z **przyczynowaniem**, czy również z **komunikowaniem**.

UJĘCIE KAUZALNE	UJĘCIE SEMANTYCZNE
<p>Między kwasami nukleinowymi a białkami mamy do czynienia wyłącznie z czysto chemicznym powinowactwem</p>	<p>Relacja między kwasami nukleinowymi a białkami jest relacją kodowania</p>
<p>Relacje między nimi są zeterminowane i mogą być wyjaśnione przy użyciu aparatu pojęciowego chemii i fizyki</p>	<p>Kod genetyczny jest arbitralny w odniesieniu do będących jego produktami białek</p>
<p>Posługiwanie się językiem informacyjnym przy opisie układów żywych jest tylko skrótem ułatwiającym mówienie o badanych obiektach</p>	<p>W trakcie kopiowania kwasów nukleinowych mogą pojawiać się błędy</p>
<p>Zwolennicy tego ujęcia negują realne istnienie jakkolwiek rozumianej informacji biologicznej</p>	<p>Istnieje wzorcowy sposób odczytania informacji genetycznej</p>
<p>Mamy tu zatem do czynienia z pewną postacią nominalizmu w filozofii biologii</p>	<p>Można zatem potraktować konkretny genom jako komunikat, którego nadawcą staje się wówczas proces ewolucyjny</p>

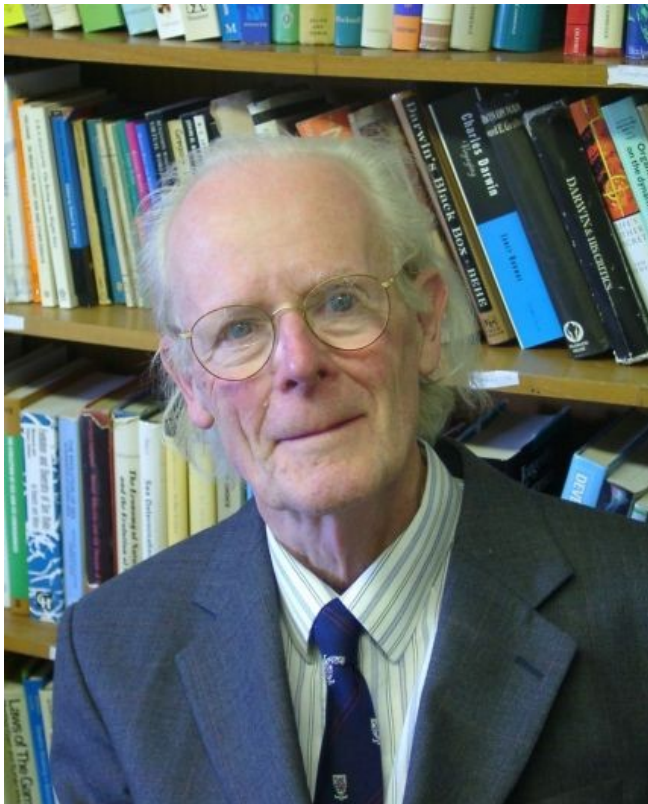
INTENCJONALNOŚĆ INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

J. MAYNARD SMITH (2000)

Intencjonalność bioinformacji zawiera się w fakcie **zaprojektowania komunikatu** biologicznego tak, aby osiągał on określony **cel** – pełnił konkretną **funkcję** biologiczną.

E. JABLONKA (2002)

Intencjonalność zasadza się na możliwości **wykorzystania informacji** na korzyść interesów **odbiorcy** – niezależnie od tego, czy wysłana została jako komunikat mający wywołać określony skutek, czy też nie.



INTENCJONALNOŚĆ INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

J. MAYNARD SMITH (2000)	E. JABLONKA (2002)
Intencjonalność bioinformacji zawiera się w fakcie zaprojektowania komunikatu biologicznego tak, aby osiągał on określony cel – pełnił konkretną funkcję biologiczną.	Intencjonalność zasadza się na możliwości wykorzystania informacji na korzyść interesów odbiorcy – niezależnie od tego, czy wysłana została jako komunikat mający wywołać określony skutek, czy też nie.

Jablonka twierdzi, że Maynard Smith popełnił **błąd utożsamienia informacji z komunikatem** (który ma nadawcę, kanał oraz zamierzony cel po stronie odbiorcy).

Tymczasem:

- **kolor** nieba może być informacją o nadchodzącej nocy
- **zapach** kwiatu może być informacją o możliwości znalezienia pożywienia
- **dźwięk** płynącej wody może być informacją o wodopoju
- **temperatura** powietrza może być informacją o porze godów

Są to **zjawiska informacyjne** (czyli będące nośnikami informacji) choć nie komunikaty.

Jablonka poszerza tym samym zakres pojęcia informacji biologicznej na rozmaite postaci **informacji pozagenetycznej**.

CZTERY SZLAKI PRZEKAZYWANIA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ (Jablonka, Lamb, 2005)

- **Genetyczny System Dziedziczenia**
(GIS)
- **Epigenetyczny System Dziedziczenia**
(EIS)
- **Behavioralny System Dziedziczenia**
(BIS)
- **Symboliczny System Dziedziczenia**
(SIS)

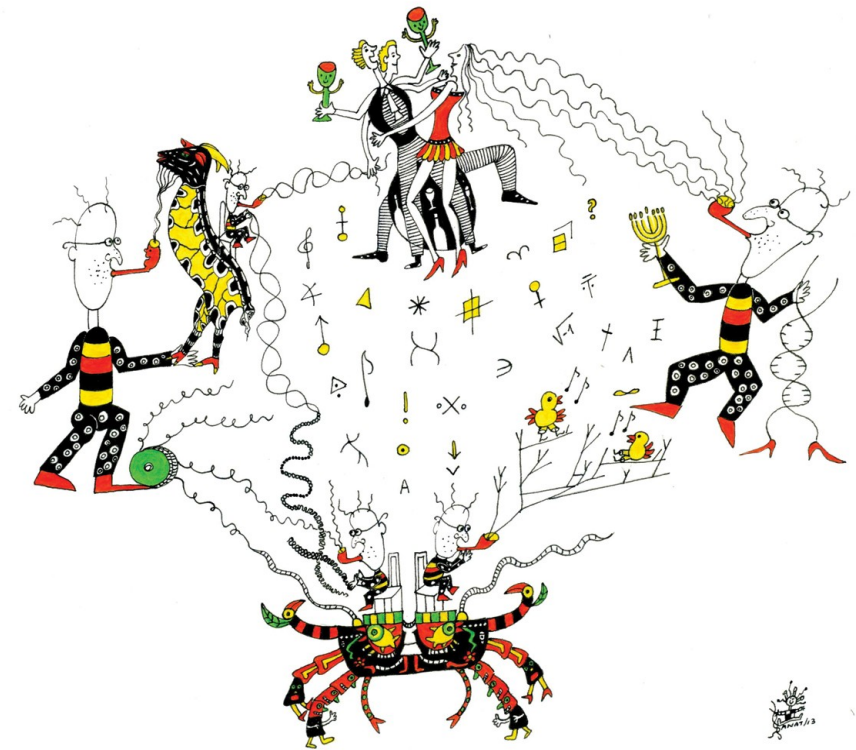
Evolution in Four Dimensions

Genetic, Epigenetic, Behavioral, and
Symbolic Variation in the History of Life

Eva Jablonka, and Marion J. Lamb

illustrated by Anna Zeligowski

revised edition



(MIT Press, 2005)

CZTERY SZLAKI PRZEKAZYWANIA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

(Jablonka, Lamb, 2005)

- **Genetyczny System Dziedziczenia (GIS)**

Modułowy (nukleotydy w DNA mogą być modyfikowane niezależnie od siebie, również ekspresja informacji genetycznej jest modułowa – geny czytane są niezależnie od siebie)

Wertykalny (przekaz informacji odbywa się od rodziców do potomstwa)

- **Epigenetyczny System Dziedziczenia (EIS)**

- **Behawioralny System Dziedziczenia (BIS)**

- **Symboliczny System Dziedziczenia (SIS)**

CZTERY SZLAKI PRZEKAZYWANIA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

(Jablonka, Lamb, 2005)

- **Genetyczny System Dziedziczenia (GIS)**
- **Epigenetyczny System Dziedziczenia (EIS)**

Regulowanie ekspresji genów przy pomocy takich mechanizmów jak: metylacja DNA, markery chromatynowe, wyciszanie genów za pośrednictwem RNA. Również dziedziczenie materiału niegenetycznego (np. symbiontów) przez komórki potomne.

Holistyczny (nie jest zbudowany z wyodrębnionych jednostek informacji, które mogłyby być modyfikowane i kopiowane niezależnie od siebie)

Wertykalny (przekaz informacji odbywa się od rodziców do potomstwa)

- **Behawioralny System Dziedziczenia (BIS)**
- **Symboliczny System Dziedziczenia (SIS)**

CZTERY SZLAKI PRZEKAZYWANIA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

(Jablonka, Lamb, 2005)

- **Genetyczny** System Dziedziczenia (GIS)
- **Epigenetyczny** System Dziedziczenia (EIS)
- **Behawioralny** System Dziedziczenia (BIS)

Przekaz informacji za pośrednictwem społecznie zapośredniczonego systemu uczenia się zachowań.

Zarazem modułowy i holistyczny oraz wertykalny i horyzontalny (możliwa jest transmisja informacji między osobnikami niespokrewnionymi)

- **Symboliczny** System Dziedziczenia (SIS)

CZTERY SZLAKI PRZEKAZYWANIA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

(Jablonka, Lamb, 2005)

- **Genetyczny** System Dziedziczenia (GIS)
- **Epigenetyczny** System Dziedziczenia (EIS)
- **Behawioralny** System Dziedziczenia (BIS)
- **Symboliczny** System Dziedziczenia (SIS)

Modułowy (kiedy mamy do czynienia z przekazem językowym w postaci zdań)

Holistyczny (kiedy mamy do czynienia z pozajęzykowym i symbolicznym przekazem informacji – np. za pomocą obrazów)

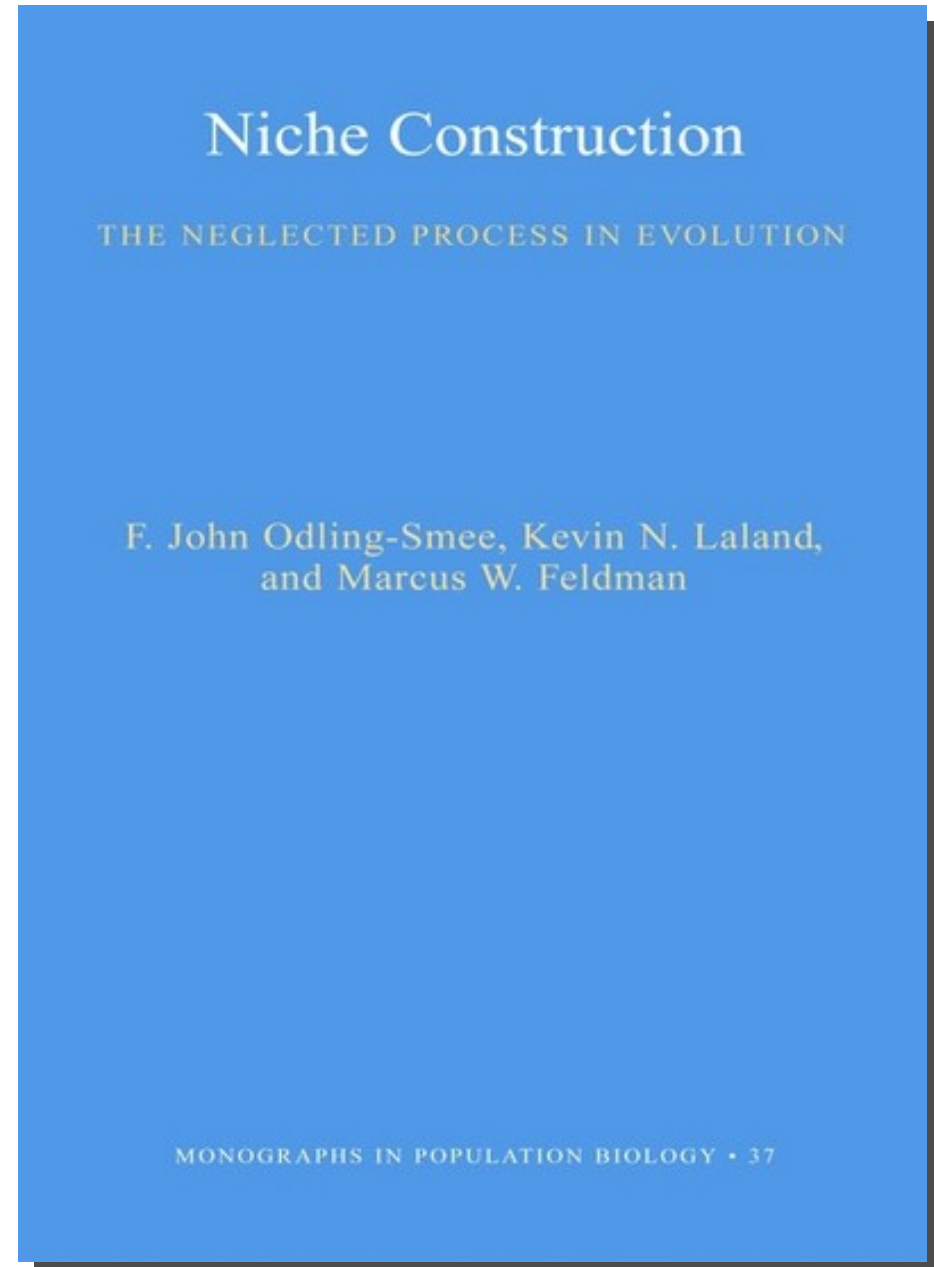
Może być zarówno wertykalny, jak i horyzontalny

PIĄTY SZLAK: tzw. "KONSTRUKCJA NISZY"

(J. Odling-Smee, K. Laland, M. Feldman)

- przekaz informacji opiera się na czynnikach **ekosystemowych**
- populacja organizmów przekształca **niszę ekologiczną**, którą zamieszkuje
- kształtuje tym samym typy bodźców, którym poddani zostaną jej **potomkowie**
- **długofalowy** przekaz informacji łączący elementy genetyczne i pozagenetyczne

Jeżeli za niszę uznać społeczeństwo i kulturę typu ludzkiego, jej konstrukcja jest nieodróżnialna od behawioralnego oraz symbolicznego systemu dziedziczenia Jablonki.



(Princeton University Press, 2003)

W KIERUNKU NOWEGO PARADYGMATU

Omówione systemy przekazywania bioinformacji są specyficzne oraz względnie autonomiczne wobec siebie, **błędem** są zatem próby redukcji ich do systemu genetycznego!

Genocentryczny sposób ujmowania wydaje się być dziś **niewystarczający** dla opisu rozmaitych postaci informacji biologicznie relewantnej oraz relacji **pomiędzy** nimi.

Potrzeba całościowej zmiany nastawienia badawczego narasta od czasu zakończenia projektu pełnego odczytania genomu ludzkiego w ramach **programu HGP** (*Human Genome Project*).



W KIERUNKU NOWEGO PARADYGMATU

Znajomość kompletu genów kodujących białka w ludzkim organizmie, a nawet funkcji tychże białek, **nie dostarcza wyjaśnienia** licznych problemów badawczych

Genocentryczny paradygmat biologii molekularnej musi zostać dalece zmodyfikowany, lub **włączony w szerszą ramę** jeżeli chcemy osiągnąć główny cel, jakim jest zrozumienie **całości** procesów życiowych organizmu

Biologia stoi na progu **zmiany paradygmatu** z genocentrycznego na taki, który będzie w stanie objąć obszar informacji zarówno genetycznej jak i pozagenetycznej.

Rozrzuciliśmy puzzle, a teraz wyzwaniem jest złożenie ich z powrotem w całość.

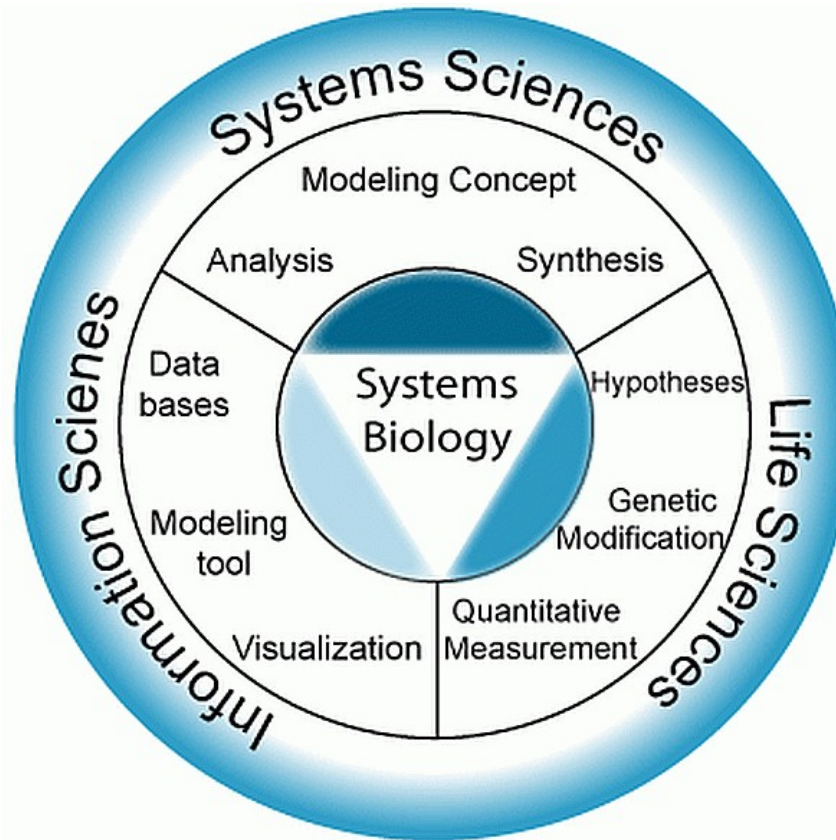
(D. Noble)

Biologia współczesna wkroczyła w erę postgenomiczną.

(E. F. Keller)

W KIERUNKU NOWEGO PARADYGMATU

Najpoważniejszym kandydatem do roli następcy genocentryzmu wydaje się być **biologia systemowa**, badająca organizm jako zintegrowaną, współzależną i współoddziałującą **sieć** kwasów nukleinowych, białek oraz innych substancji chemicznych funkcjonujących na różnych poziomach zorganizowania.



W KIERUNKU NOWEGO PARADYGMATU

Celem zrozumienia funkcjonowania żywej komórki biologia systemowa zastępuje stare pytanie "**kim są aktorzy?**" (kwasy nukleinowe, białka) pytaniem nowym: "**jakie są scenariusze?**" (jak wyglądają współzależności pomiędzy różnymi podsystemami żywej komórki / organizmu).

- **proteomika** (nauka badająca *proteom*, czyli sieć wzajemnych interakcji między białkami w cyklu życia komórki)
- **metabolomika** (dyscyplina badająca komplet metabolitów – *metabolom* – oraz szlaki metaboliczne w komórce)
- **transkryptomika** (badająca czasoprzestrzenny wymiar aktywności genów poprzez badanie *transkryptomu* – zestawu cząsteczek mRNA obecnych w danym momencie w komórce)

NOWY SPOSÓB MÓWIENIA O UKŁADACH ŻYWYCH

(E. F. Keller)



NOWY SPOSÓB MÓWIENIA O UKŁADACH ŻYWYCH

(E. F. Keller)

Biolodzy systemowi przyznają, że należy skupić się na badaniach interakcji między poszczególnymi częściami układów żywych. Milcząco zakładają jednak, że **najpierw** pojawiają się części a dopiero **później** – wskutek interakcji między nimi – całości.

Problematyczność tego widać np. w przypadku definiowania genów **jako** nośników informacji o białkach. Liniowa sekwencja nukleotydów stanowi gen – koduje informację o białku – **wyłącznie** przy założeniu obecności funkcjonującego systemu transkrypcji i translacji, jaki znaleźć można **jedynie** w żywej komórce

Komórka jest **systemem nadającym znaczenie**, który powoduje, że sekwencja nukleotydów w DNA **staje się** genem kodującym białko. Czy wobec tego właściwym jest mówienie o komórce jako **składającej się** z genów oraz ich wytworów?

CAŁOŚCIOWA KONCEPCJA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

(A. Latawiec, 1983)



CAŁOŚCIOWA KONCEPCJA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

(A. Latawiec, 1983)

Informacją biologiczną nazywa się tu *każdy rodzaj oddziaływania (zarówno wewnętrznego jak i zewnętrznego) na organizm, przebiegający na każdym poziomie organizacyjnym, służący organizmowi do życia i przeżycia w warunkach aktualnych i przyszłych.*

Pojawienie się oddziaływania na dowolnym poziomie organizacji jest tożsame z pojawieniem się informacji.

Wszelka informacja niesiona jest za pośrednictwem odpowiednich nośników:

- **materialnych** – jeżeli są elementami określonej struktury fizyko-chemicznej
- **formalnych** – jeżeli nie są elementami materialnymi (np. ruch, kształt, barwa)

Nośnikiem informacji biologicznej jest zatem wszelki czynnik materialny, lub atrybut materii służący do przenoszenia informacji od źródła do odbiorcy.

CAŁOŚCIOWA KONCEPCJA INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

(A. Latawiec, 1983)

Informacja wewnętrzna dzieli się na:

- **Genetyczną** (zapisaną w kwasach nukleinowych)
- **Immunologiczną** (niesioną za pomocą antygenów i przeciwciał w reakcjach serologicznych)
- **Strukturalną** (związaną z budową i odbudową uszkodzonych fragmentów tkanek)

Informacja zewnętrzna to:

- **Komunikacja** (związana z porozumiewaniem się osobników między sobą za pomocą sygnałów chemicznych, optycznych i akustycznych)
- **Informacja ekologiczna** (związana z warunkami klimatycznymi, bytowymi, geograficznymi wywołującymi reakcje wśród organizmów zamieszkujących daną biocenozę)

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Radosław Siedliński



POLSKO-JAPONSKA
AKADEMIA TECHNIK
KOMPUTEROWYCH