

O ROZUMIENIU POJĘCIA "INFORMACJA" W BIOLOGII WSPÓŁCZESNEJ

Radosław Siedliński

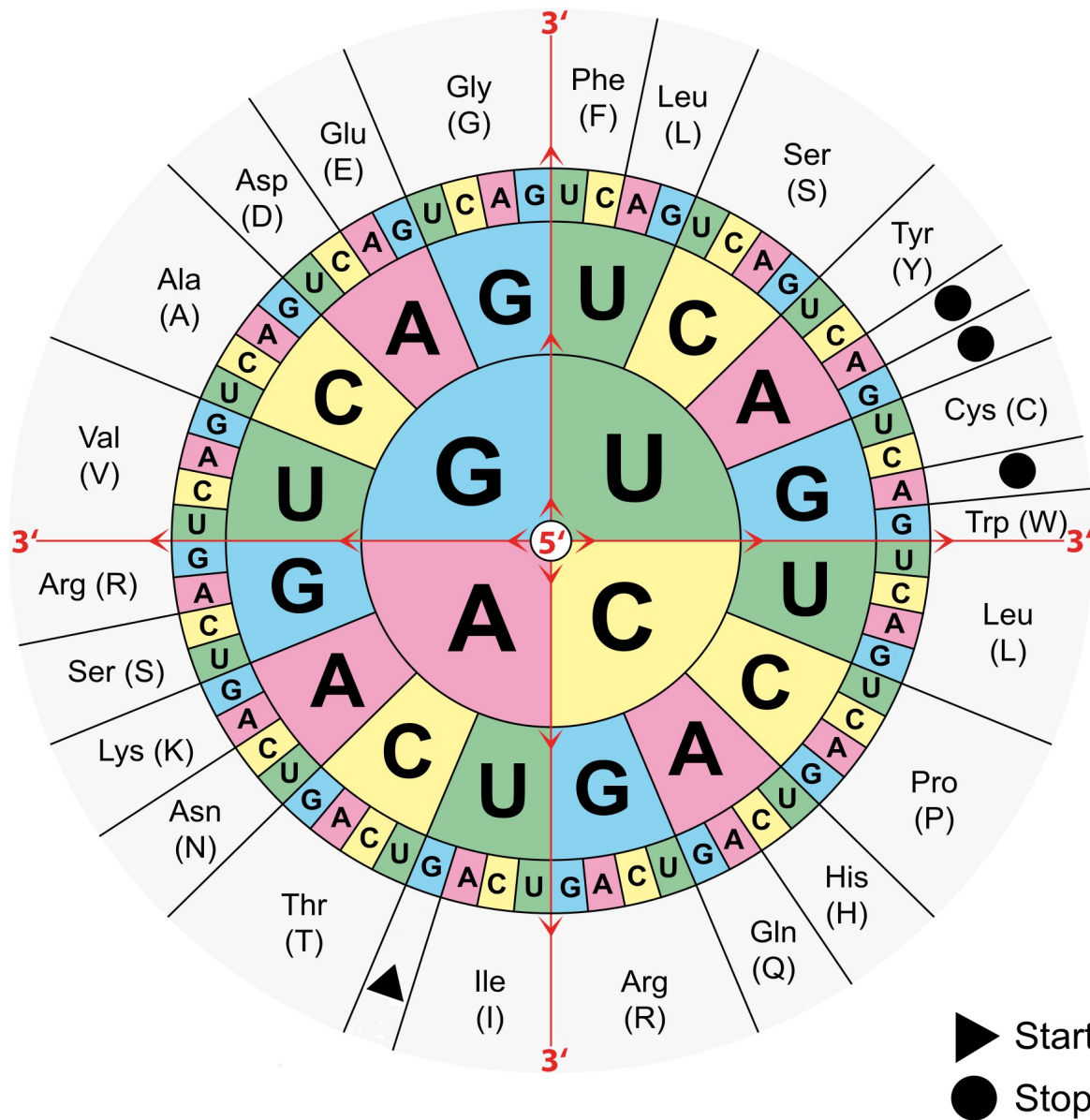
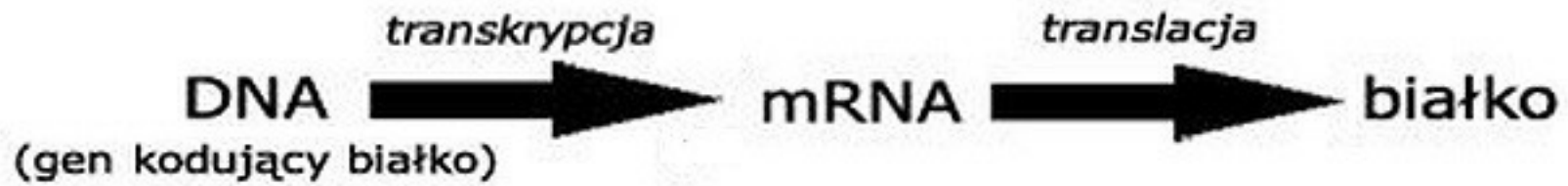


POLSKO-JAPOŃSKA
AKADEMIA TECHNIK
KOMPUTEROWYCH

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

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

Wydaje się to całkowicie zrozumiałe. Geny, jak powszechnie wiadomo, **kodują informacje o białkach**. Dokładniej: kolejne trójki nukleotydów (tzw. *tryplety*) w łańcuchu DNA kodują informacje o aminokwasach będących cegiełkami, z których zbudowane są białka.



Zasięg stosowania *information talk* w biologii współczesnej

jest jednak o wiele szerszy:

1. Opis kompletnego fenotypu/organizmu (wraz z jego behawiorem) jako determinowanego przez informację zapisaną w genach.
2. Rozumienie rozmaitych fizyko-chemicznych łańcuchów przyczynowych zachodzących wewnątrz komórki (jak i poza nią – np. w obrębie całego organizmu wielokomórkowego) jako wykonywania "programów" przechowywanych w genach.
3. Traktowanie samych genów jako obiektów abstrakcyjnych – zbudowanych/złożonych z czystej informacji. Informacja staje się tu fundamentalnym składnikiem świata ożywionego.

Reakcje badaczy na obecność *information talk* w biologii:

- 1. Pełna akceptacja i entuzjazm** (G. Williams, J. Maynard Smith, R. Dawkins, D. Dennett)
- 2. Akceptacja częściowa i pod pewnymi warunkami** (P. Godfrey-Smith, P. Griffiths, S. Sarkar)
- 3. Brak akceptacji i krytyka** (K. Waters, R. Francis)
- 4. Obojętność** ("Storm in a teacup" – P. Kitcher)

Problematyczność stosowania *information talk* a poziom organizacji badanego układu

W niektórych "wysokopoziomowych" dziedzinach nauk biologicznych powszechne posługiwanie się pojęciem informacji uznawane jest za oczywiste i nie budzi zastrzeżeń (neurobiologia, badania nad percepcją, przetwarzaniem języka itp.).

W dziedzinach "niskopoziomowych" częste stosowanie *information talk* jest jednak znacznie bardziej problematyczne i zdaje się wymagać głębszego uzasadnienia (biologia molekularna, mikrobiologia, proteomika itp.).

Dwa sposoby rozumienia pojęcia informacji w biologii współczesnej

1. SŁABE (Shannonowskie, przyczynowe)

Informacja jako **korelacja** między stanami dwóch układów fizycznych. Odbiornik uznajemy za nośnik informacji o źródle jeżeli jego stany są skorelowane ze stanami źródła.

Odbiornik dostarcza więcej informacji o źródle, jeżeli pozwala na bardziej dokładny opis jego stanu, mniej – jeżeli pozwala na opis mniej dokładny.

W tym sensie geny niosą informację o białkach lub cechach fenotypowych, słoje drzewa niosą informację o jego wieku, dym niesie informację o ogniu itp.

Dwa sposoby rozumienia pojęcia informacji w biologii współczesnej

Biolodzy posługujący się tego rodzaju rozumieniem informacji **nie wprowadzają** żadnego nowego rodzaju relacji lub własności. Po prostu posługują się skądinąd znanym i niekontrowersyjnym narzędziem opisu obserwowanych korelacji.

Zakłada się przy tym, że zależności owe oparte są na faktycznych **relacjach przyczynowych** ufundowanych na znanych prawach przyrody.

Pytanie:

Czy do opisu korelacji obserwowanych w świecie ożywionym potrzebujemy jakiegokolwiek "bogatszego" rozumienia pojęcia informacji..?

Dwa sposoby rozumienia pojęcia informacji w biologii współczesnej

TAK, ponieważ:

1. Przyjawszy słabe rozumienie informacji trudno jest traktować geny jako wyłączne nośniki informacji relewantnej biologicznie. Model ten nie rozróżnia między warunkami środowiskowymi a genami traktując oba jako równoważne nośniki informacji biologicznej.

Informacja relewantna biologicznie jest tu rozproszona między czynniki genetyczne i pozagenetyczne (tzw. ***Parity Thesis***).

2. W słabym rozumieniu informacja "przeptywa" w obu kierunkach (korelacja jest symetryczna). Skoro możemy dowiedzieć się czegoś o cechach fenotypowych z wiedzy o genach, to równie dobrze działa to w drugą stronę.

Dwa sposoby rozumienia pojęcia informacji w biologii współczesnej

2. SILNE (semantyczne, celowe)

Gen niesie informację nie ze względu na istnienie zależności przyczynowej (korelacji) z fenotypem, lecz ponieważ jego **funkcją** jest wytworzenie stosownego fenotypu.

W tym sensie genom przypisać można **zawartość preskryptywną** a nie deskryptywną. Geny zawierają **instrukcje**, nie opisy.

Gen niesie informację o fenotypie niezależnie od tego, czy dokona się ekspresja tej informacji.

Jeżeli gen i cecha fenotypowa nie odpowiadają sobie, to mamy do czynienia z **błędą interpretacją** a nie tylko z niedokładnym opisem.

Dwa sposoby rozumienia pojęcia informacji w biologii współczesnej

Pytanie:

Jakie jest źródło owej funkcji posiadanej przez geny..?

Odpowiedź:

Jest nim historia ewolucyjna. Informacja biologiczna to taka, która powstała w efekcie działania **doboru naturalnego**.

"Gen niesie informacje o cesze, która okazała się korzystna z punktu widzenia przeżycia organizmu, który ją posiada." (K. Sterelny, P. Griffiths)

"DNA zawiera informacje, które zostały wyselekcjonowane przez dobór naturalny." (J. Maynard Smith)

Dwa sposoby rozumienia pojęcia informacji w biologii współczesnej

Teza:

Wyłącznie geny, a nie jakiegokolwiek inne czynniki pozagenetyczne (środowiskowe), zawierają informację w rozumieniu silnym (tzn. wyselekcjonowaną przez dobór naturalny i dziedziczną). Jako takie geny pełnią wyjątkową rolę w ontogenezie organizmów.

Problem:

Można wskazać pozagenetyczne elementy mające wpływ na rozwój organizmu. Są one dziedziczne oraz można im przypisać funkcję wytwarzania konkretnych efektów fenotypowych.

Wobec tego geny **nie są** wyłącznymi nośnikami informacji biologicznej. Również silne rozumienie informacji podpada pod *Parity Thesis*.

Epigenetyczne szlaki przekazywania informacji biologicznej

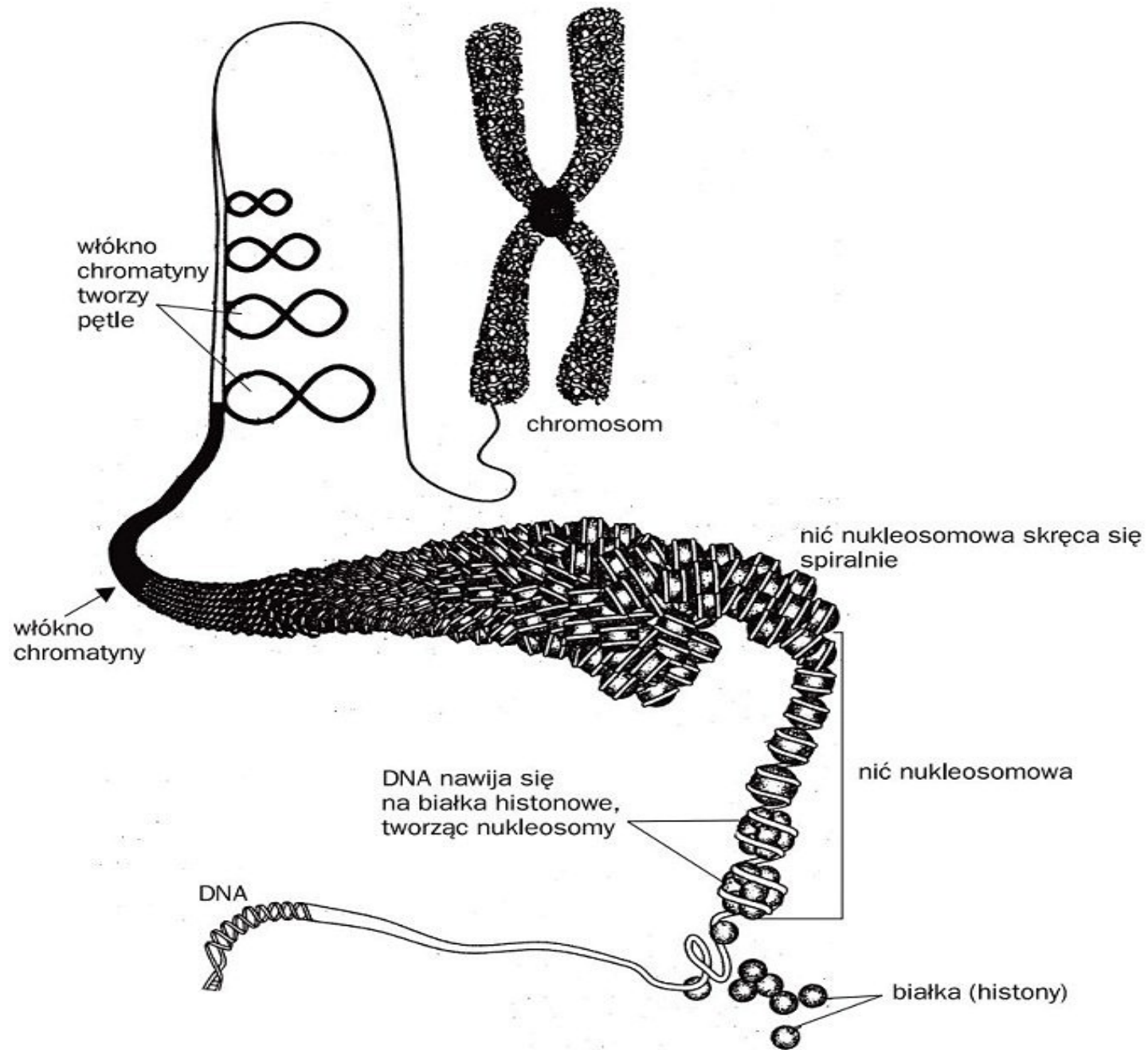
1. Metylacja DNA

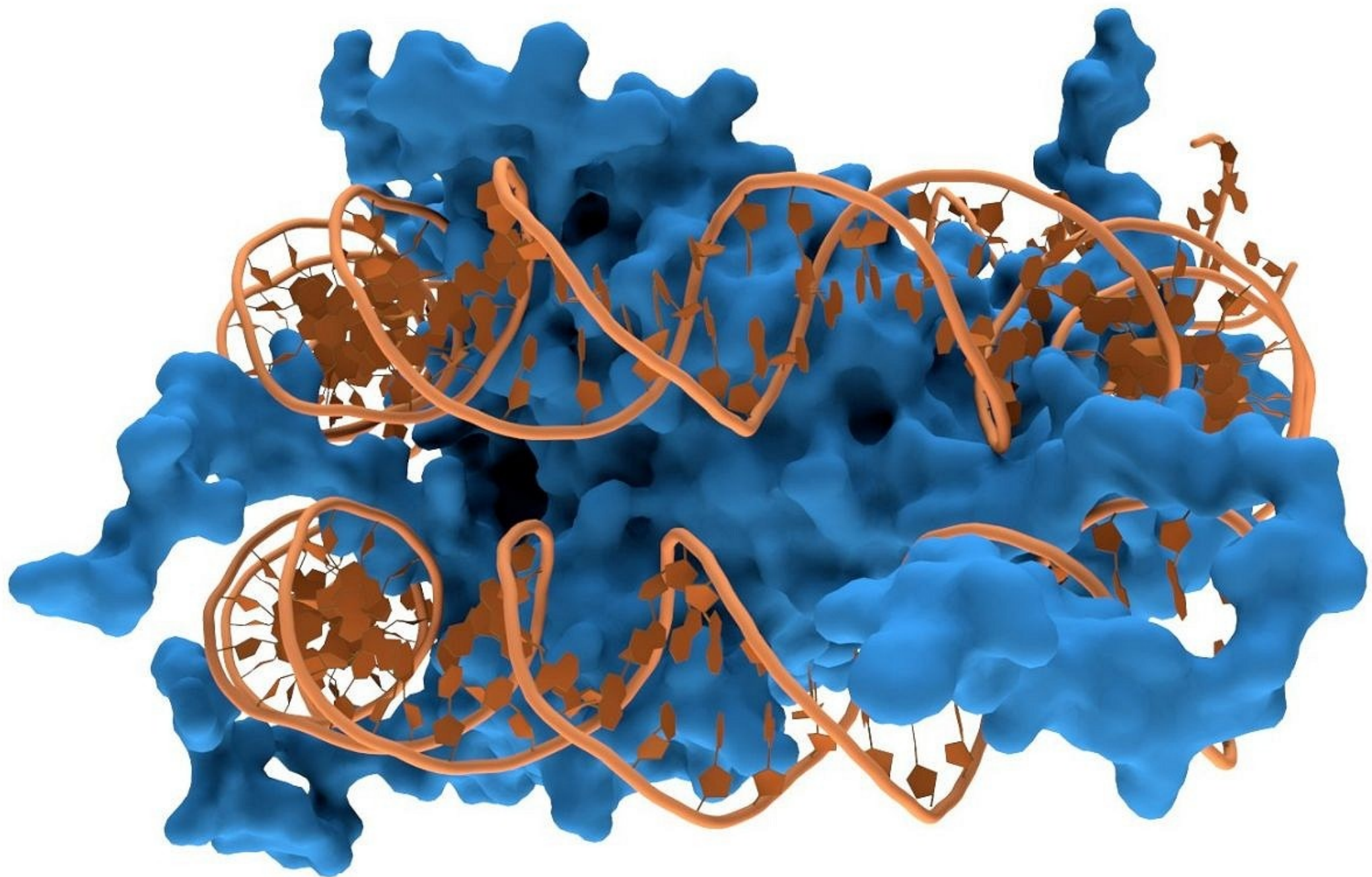
(wyciszanie genów poprzez blokowanie ich promotorów)

2. Metylacja białek histonowych

(zmiana ekspresji genów poprzez modyfikację struktury chromatyny)

Przestrzenna organizacja materiału genetycznego wewnątrz chromosomu





Epigenetyczne szlaki przekazywania informacji biologicznej

Hipoteza tzw. "kodu histonowego"

Zestaw reguł łączących konkretne modyfikacji białek histonowych ze strukturą chromatyny i w efekcie – ekspresją genów.

Dotychczas nie znaleziono uniwersalnego zespołu zasad, który można by nazwać kodem histonowym. Wydaje się, że kod histonowy jest różny dla różnych grup organizmów (nie jest uniwersalny).

Gdzie jest informacja biologiczna..?

1. **Wyłącznie** w kwasach nukleinowych (DNA oraz RNA). Inne struktury komórkowe nie zawierają informacji. (G. Williams, J. Maynard Smith, D. Dennett)

2. W kwasach nukleinowych **oraz w innych strukturach** – zarówno komórkowych (białka cytoplazmatyczne lub błonowe) jak i pozakomórkowych (białka pozakomórkowe, środowisko chemiczne organizmu, warunki panujące w niszy ekologicznej, cechy fizyczne środowiska naturalnego). (K. Sterelny, P. Griffiths, S. Sarkar)

3. Ani kwasy nukleinowe, ani inne struktury **w ogóle nie zawierają** informacji biologicznej. (K. Waters)

Właściwe użycie *information talk* w biologii

(F. Crick, P. Godfrey-Smith, P. Griffiths)

Jedyne w pełni uzasadnione użycie pojęcia informacji biologicznej w silnym sensie ogranicza się do opisu **relacji między genami a ich produktami w postaci białek**.

Tylko tutaj mamy do czynienia z **kodem we właściwym tego słowa rozumieniu** – precyzyjną regułą łączącą dwa odmienne (w sensie budowy, własności chemicznych oraz funkcji) obszary: zasady azotowe tworzące DNA oraz aminokwasy tworzące białka.

Właściwym obszarem stosowania tak rozumianego pojęcia informacji jest więc **wyłącznie biologia molekularna** (genetyka).

Struktura białka na przykładzie ubikwityny (Ub)

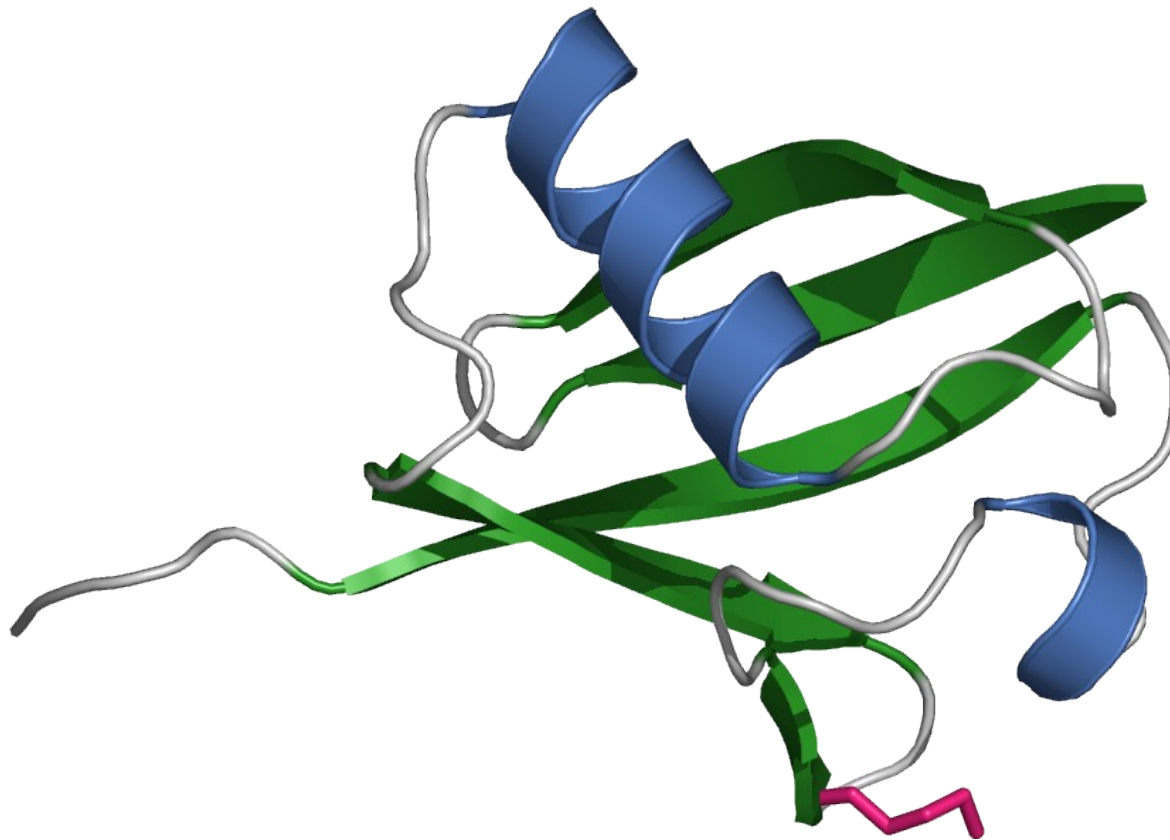
I-RZĘDOWA:

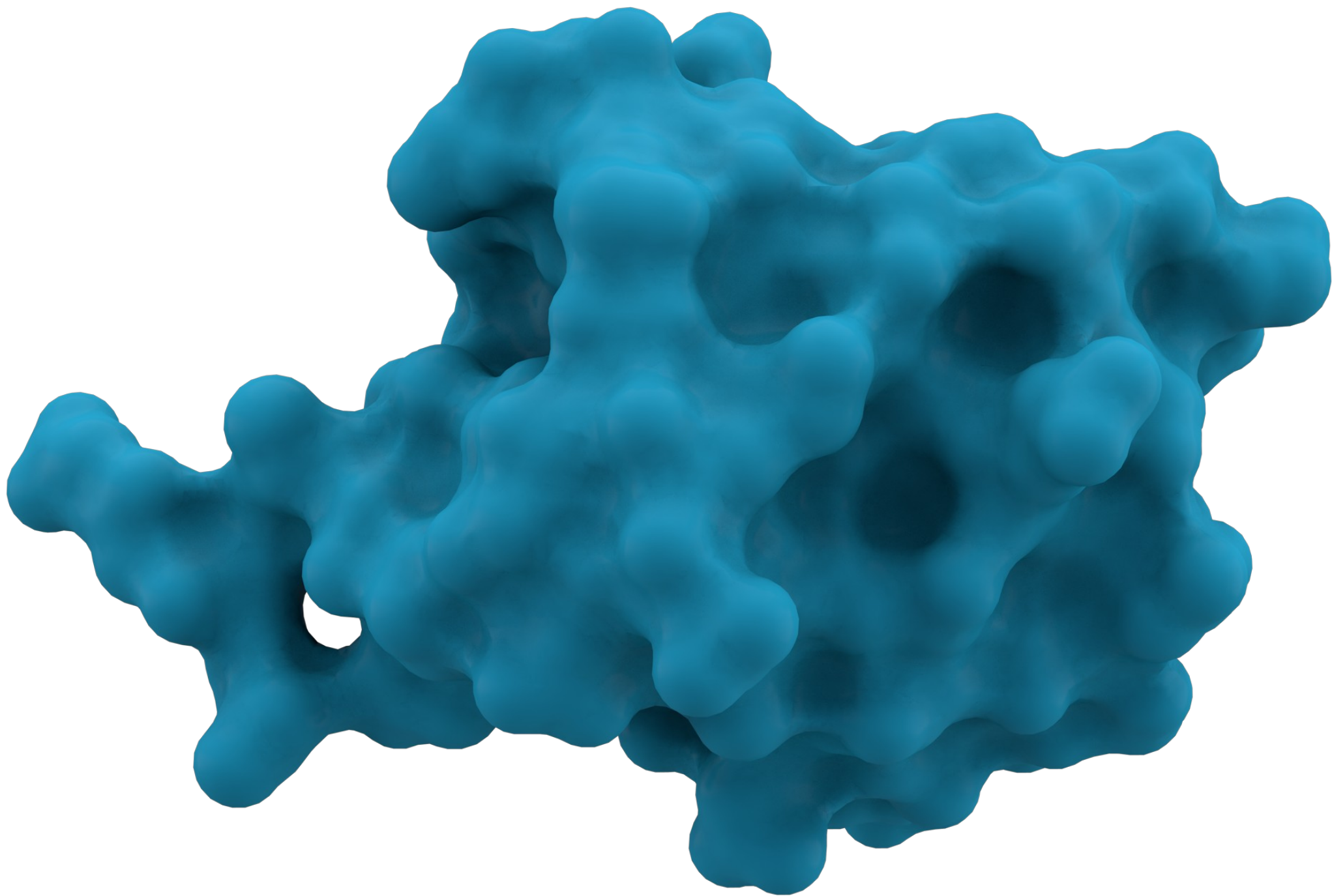
Liniowa sekwencja 76 aminokwasów:

MQIFVKTLTGKTITLEVEPSDTIENVKAKIQDKEGIPPDQQRLIFAGKQLEDG
RTLSDYNIQKESTLHLVLRIRGG

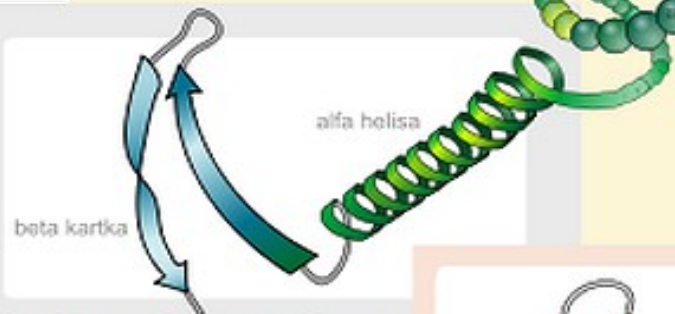
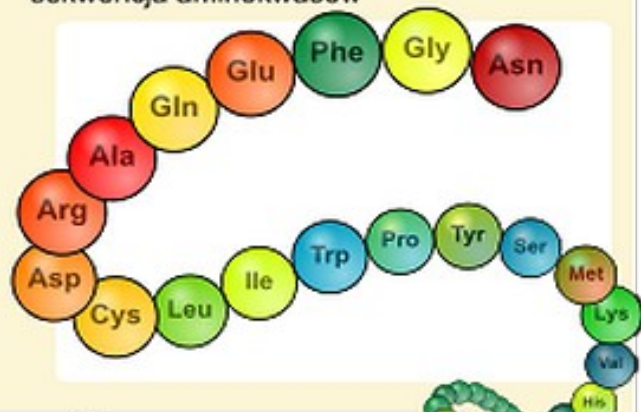
która kodowana jest przez liniowo ustawione 228 par zasad DNA.

II-RZĘDOWA:





Struktura pierwszorzędowa
sekwencja aminokwasów



Struktura drugorzędowa
regulane podstruktury

hemoglobina



Struktura czwartorzędowa
kompleksy podjednostek



białko P13

Struktura trzeciorzędowa
trójwymiarowa struktura

Obserwacje

1. Informacja genetyczna wyznacza wyłącznie **I-rzędową strukturę białka** (liniową kolejność aminokwasów)
2. Informacja genetyczna (dyskretna, liniowa) **nie determinuje struktury II-rzędowej** (i struktur wyższych) białka (ciągłej, trójwymiarowej)
3. Co zatem determinuje struktury wyższe?
4. Prawa **fizyki i chemii** (wiązania wodorowe, powinowactwo hydrofobowe, oddziaływania elektrostatyczne, siły van der Waalsa)
5. Geny zawierają zatem (częściowe) informacje o budowie białek, ale **nie determinują ich własności** biochemicznych.

Uwaga o tendencji do reifikacji informacji w biologii

Ponieważ konkretna sekwencja aminokwasów w łańcuchu DNA może być zachowywana i przekazywana międzypokoleniowo, część znanych i wpływowych badaczy (R. Dawkins, G. Williams) ujmuje informację genetyczną jako 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 oczywiście problemy dotyczące **szczegółów relacji przyczynowej** łączącej domenę abstrakcyjnie rozumianej, "urzeczowionej" informacji z domeną fizycznego konkretnego, na który informacja owa miałaby mieć realny wpływ.

Uwaga o tendencji do reifikacji informacji w biologii

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 ulokowane na dwóch różnych egzemplarzach chromosomu Y, znajdującego się w dwóch różnych komórkach **współdzielą** tę samą kolejność ułożenia zasad azotowych. Z kolei kodowane przez nie białko **współdzieli** z nimi liniową kolejność elementów (mimo że same elementy mają różny charakter fizyczny).

Podójście takie pozwala uniknąć wprowadzenia informacji jako osobnego rodzaju bytu, którego relacja wobec rzeczywistości fizykalnej musiałaby być wysoce problematyczna.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!

Radosław Siedliński



**POLSKO-JAPONSKA
AKADEMIA TECHNIK
KOMPUTEROWYCH**