Inteligencja w chemii

Chemia stoi u podstaw nauki. Z jednej strony zajmuje się biologią i dostarcza wyjaśnień dla procesów życiowych. Z drugiej strony przenika się z fizyką i znajduje wyjaśnienia dla zjawisk chemicznych w fundamentalnych procesach i cząsteczkach wszechświata. — Peter W. Atkins

Porządek powstaje z chaosu. — Ilya Prigogine

Historia inteligencji toczy się dalej wraz ze wzrostem poziomu abstrakcji. Wraz z pojawieniem się bogatej struktury informacyjnej w atomach, takich jak atomy węgla, powstawały coraz bardziej złożone cząsteczki. W rezultacie fizyka dała początek chemii, a proces stabilizacji wszechświata osiągnął nowy poziom. W zakresie swojej dziedziny chemia zajmuje pozycję pośrednią między fizyką a biologią. Chemia zajmuje się takimi zagadnieniami, jak to, jak atomy i cząsteczki oddziałują poprzez wiązania chemiczne, tworząc nowe związki chemiczne, w tym ich skład, strukturę, właściwości, zachowanie oraz zmiany, którym ulegają podczas reakcji z innymi substancjami. Świat składa się z materii, a zmiany te występują głównie w dwóch formach: chemicznej i fizycznej (oraz reakcjach jądrowych). W przeciwieństwie do fizyki cząstek elementarnych i fizyki jądrowej, które badają mniejsze skale, chemia bada interakcje atomów, cząsteczek i jonów (grup) materii, struktury, wiązań chemicznych i oddziaływań międzycząsteczkowych. Skala chemii jest najbliższa skali makro w mikroświecie, więc jej prawa naturalne są również najściślej powiązane z fizycznymi i chemicznymi właściwościami substancji i materiałów w makroświecie, w którym żyją ludzie. Jako ważny pomost między mikroskopijnym a makroskopowym światem materialnym, chemia jest jedną z głównych metod i środków, dzięki którym ludzie mogą zrozumieć i przekształcić świat materialny. Życie ludzkie można stale ulepszać i udoskonalać, a wkład chemii odegrał w tym ważną rolę. Polegamy na chemii, aby piec chleb, uprawiać warzywa i wytwarzać materiały codziennego użytku. Chemia jest podstawą powstawania płatków śniegu, nauki o szampanie, koloru kwiatów i innych cudów natury i technologii. W tym rozdziale pokrótce omówimy rozwój chemii, a następnie przedstawimy kilka wspaniałych zjawisk, które sprawiają, że wszechświat jest bardziej stabilny na poziomie chemicznym. Możemy zobaczyć, że inteligencja pojawia się w procesie ukierunkowywania wszechświata w stronę stabilności na poziomie chemicznym.

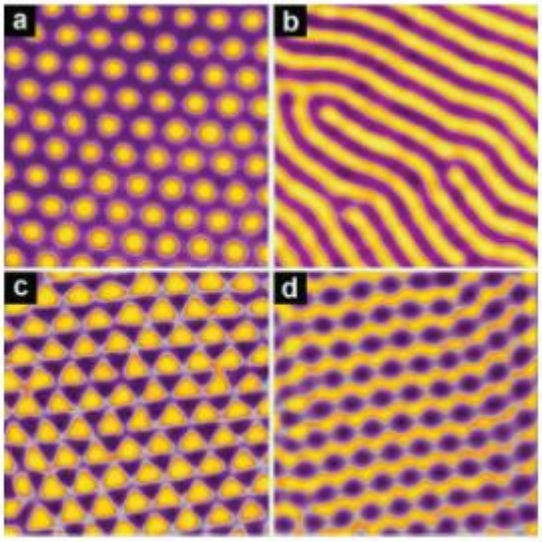
Historia rozwoju chemii

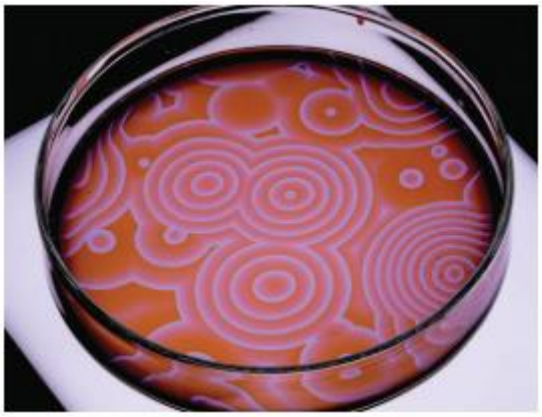
Od społeczeństw pierwotnych, które zaczęły używać ognia, po współczesne społeczeństwa wykorzystujące różne substancje wytworzone przez człowieka, wszyscy korzystamy z owoców chemii. Nasi przodkowie wiercili drewno, aby rozpalić ogień, używali ognia do pieczenia potraw, odpędzania zwierząt, ogrzewania się w chłodne noce i w pełni wykorzystywali zjawisko żaru i ciepła podczas spalania. Można powiedzieć, że była to najwcześniejsza praktyka chemiczna. Spalanie jest zjawiskiem chemicznym. Po opanowaniu ognia ludzie odkryli kolejne zmiany w materiale. Na przykład, palenie rudy miedzi, takiej jak szmaragdowozielony malachit, prowadzi do powstania czerwonej miedzi. Kumulacja tych doświadczeń i kształtowanie się wiedzy chemicznej doprowadziły do zmian społecznych, rozwoju sił wytwórczych, postępu historii i rozwoju chemii. W procesie stopniowego rozumienia i wykorzystywania zmian zachodzących w tych substancjach, ludzie wytwarzali produkty o dużej wartości użytkowej. Stopniowo nauczyli się wytapiać i wytwarzać ceramikę; później nauczyli się barwić, warzyć i tak dalej. Produkty te, przetworzone i przekształcone z substancji naturalnych, stały się symbolami starożytnych cywilizacji. Na bazie tych wyczerpujących i produktywnych praktyk wyłoniła się starożytna wiedza chemiczna. Od około 1500 r. p.n.e. do 1650 r. n.e. chemia towarzyszyła rozwojowi alchemii. Aby zdobyć złoto symbolizujące bogactwo lub eliksir nieśmiertelności, alchemicy i alchemicy przeprowadzali wiele eksperymentów chemicznych, a następnie kolejno pojawiały się księgi, które zapisywały i podsumowywały alchemię. Chociaż alchemicy i alchemicy ponieśli porażkę,

badali sztuczną transformację dużej liczby substancji w procesie „przemiany kamienia w złoto” i rafinacji eliksiru. Jednocześnie zgromadzili wiele zjawisk i warunków przemian chemicznych w substancjach oraz bogate doświadczenie praktyczne dla rozwoju chemii. W tym czasie pojawiło się słowo „chemia”, oznaczające „alchemia”. Począwszy od XVI wieku, wraz z gwałtownym wzrostem produkcji przemysłowej w Europie, przyczyniło się to do powstania i rozwoju chemii metalurgicznej i chemii medycznej, a alchemia i alchemia ożyły i znalazły praktyczne zastosowania. Ludzie zaczęli zwracać większą uwagę na badanie przemian chemicznych w samych substancjach. Po ugruntowaniu naukowej koncepcji pierwiastków, naukowa teoria utleniania i prawo zachowania masy zostały opracowane poprzez precyzyjne badania eksperymentalne nad zjawiskami spalania. Następnie opracowano prawo stosunku określonego, prawo mnożenia i prawo ilości złożonej, które położyły podwaliny pod dalszy naukowy rozwój chemii. Układ okresowy pierwiastków chemicznych zaproponowany przez rosyjskiego naukowca Dmitrij Iwanowicz Mendelejew w 1869 roku wniósł znaczący wkład w rozwój chemii . Mendelejew uporządkował 63 znane wówczas pierwiastki w formie tabeli według ich mas atomowych i umieścił pierwiastki o podobnych właściwościach chemicznych w tym samym rzędzie, co stanowi prototyp układu okresowego. Korzystając z układu okresowego, Mendelejewowi udało się przewidzieć właściwości pierwiastków, które wówczas nie zostały jeszcze odkryte (gal, skand, german). W 1913 roku brytyjski naukowiec Moseler użył promieni katodowych do oddziaływania na metale w celu wygenerowania promieni rentgenowskich i odkrył, że im wyższa liczba atomowa, tym wyższa częstotliwość promieni rentgenowskich. Dlatego Moseler uważał, że dodatni ładunek jądra atomowego determinuje właściwości chemiczne pierwiastka. Uporządkował pierwiastki według dodatniego ładunku w jądrze (czyli liczby protonów lub liczb atomowych) i po latach rewizji stał się on współczesnym układem okresowym. Układ okresowy pierwiastków stał się sercem chemii. Ponieważ W XX wieku chemia rozwinęła się od jakościowej do ilościowej, od makro do mikro, od stabilnej do metastabilnej, a także od doświadczenia do teorii, która następnie służy do kierowania projektowaniem oraz pionierskimi i innowacyjnymi badaniami. Z jednej strony dostarcza ona jak najwięcej nowych materiałów i substancji dla sektora produkcji i technologii; z drugiej strony, nowe dyscypliny są stale generowane w procesie przenikania się z innymi naukami przyrodniczymi i rozwijają się w kierunku zgłębiania pochodzenia wszechświata i nauk o życiu.

Struktury dyssypatywne: Porządek powstaje z chaosu

Spójrz na piękne wzory pokazane na rysunkach 1 i 2.





Możesz się zastanawiać, którzy inteligentni artyści zaprojektowali te piękne wzory? Nie, nie zostały one zaprojektowane przez ludzi. Powstały one raczej w wyniku chemicznej interakcji niektórych substancji nieożywionych. Zatem, jeśli chodzi o projektowanie wzorów, nieożywione substancje chemiczne mogą być bardziej inteligentne niż ludzie! W 1900 roku Henri Bénard badał pierwszy i jeden z najbardziej znanych przykładów tego zjawiska formowania wzorów, w którym niezwykły, regularny układ komórek konwekcyjnych, które spontanicznie rozwijają się, gdy cienka pozioma warstwa płynu jest równomiernie ogrzewana od dołu, gdy tylko strumień ciepła przez warstwę przekroczy ściśle określony próg. Wzory heksagonalne są najbardziej znaną ilustracją, ale możliwe są również proste rolki lub kwadraty. W każdej takiej komórce gorący płyn unosi się, a po schłodzeniu u góry opada z powrotem, aby się ponownie nagrzać. W 1952 roku brytyjski matematyk i pionier informatyki Alan Turing zdał sobie sprawę, że jeśli zmiesza się pewne reagujące chemicznie związki, to gdy jakiś parametr przekroczy wartość progową (np. stężenie jakiegoś związku chemicznego), prowadzi to do stacjonarnych, przestrzenno-periodycznych wzorców stężenia reagentów, jak pokazano na rysunku 1. W latach 50. i 60. XX wieku dwaj rosyjscy naukowcy, Borys Biełousow i Anatol Żabotyński, odkryli najsłynniejszą ze wszystkich oscylacyjnych reakcji chemicznych (obecnie znaną jako reakcja Biełousowa-Żabotyńskiego lub po prostu reakcja BZ). Stwierdzili, że w mieszaninie bromianu potasu, siarczanu ceru(IV), kwasu malonowego i kwasu cytrynowego w rozcieńczonym kwasie siarkowym, stosunek stężeń jonów ceru(IV) i ceru(III) oscyluje, powodując wahania barwy roztworu między roztworem żółtym a bezbarwnym. W szczególności okresowa zmiana stężenia pośredników reakcji i katalizatorów odpowiada progresywnej zmianie ich geometrii, formy i koloru . Rysunek 2 przedstawia jedynie pojedynczy obraz tego dynamicznego procesu. Zainteresowanych odsyłamy do wyszukiwarki YouTube, gdzie można wyszukać hasło „Belousov-Zhabotinsky reaction", a natkną się na to piękne zjawisko. Odkrycie to wywołało ożywioną debatę w dziedzinie chemii fizycznej stosowanej. Tworzenie struktur czasoprzestrzennych jest niezwykle interesujące, ponieważ porządek samoorganizacji powstaje z początkowego stanu jednolitości i chaosu, a samoorganizacja jest bezpośrednio związana z inteligencją. Samoorganizacja występuje w wielu systemach fizycznych, chemicznych, biologicznych, robotycznych i poznawczych. Szczególnie interesujące systemy w otaczającym nas świecie – życie, myśl, spalanie, ekosystemy, ruch uliczny, epidemie, giełda, środowisko planetarne, pogoda, miasta – również posiadają te charakterystyczne cechy, które powstają spontanicznie w obecności przepływu materii, energii i informacji. Ilya Prigogine opublikował raport badawczy „Struktura, dyssypacja i życie" na Międzynarodowej Konferencji Fizyki Teoretycznej i Biologii w 1969 roku i formalnie zaproponował teorię struktur dyssypatywnych . Prigogine był belgijskim chemikiem fizycznym i fizykiem teoretycznym. Urodził się w Moskwie 25 stycznia 1917 roku. W 1921 roku przeniósł się z rodziną do Niemiec. Osiedlił się w Belgii w 1929 roku i przyjął obywatelstwo belgijskie w 1949 roku. Teoria struktur dyssypatywnych jest głównym osiągnięciem brukselskiej szkoły termodynamiki nierównowagowej i nierównowagowej fizyki statystycznej przez ponad 20 lat. Ustanawiając teorię struktur

dyssypatywnych, Prigogine i jego współpracownicy badali naturę spontanicznie uporządkowanych struktur, takich jak fale chemiczne B-Z, konwekcja Bennetta i chemiczne reakcje oscylacyjne, a także inne biologiczne cykle ewolucyjne. Używają koncepcji „samoorganizacji" do opisu procesów, które tworzą uporządkowane struktury, budując w ten sposób naukowy pomost między „istnieniem" a „ewolucją". Prigogine otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii w 1977 roku za ten ważny wkład. Prigogine uważał, że w stanie nierównowagi bez porządku, fluktuacje energii i materii mogą generować porządek z chaosu. Generowanie konfiguracji przestrzennych i rytmów czasowych w strukturach dyssypatywnych to zjawisko znane jako „porządek fluktuacji". Uważa on, że współczesna nauka reprezentowana przez klasyczną fizykę Newtona opisuje świat naturalny jak zegar, świat statyczny, który nigdy się nie rozwija, świat, w którym istnienie jest absolutne i względnie statyczne. W klasycznej fizyce Newtona zmiana parametru czasu t na -t daje ten sam rezultat, czas jest odwracalny, a przeszłość i przyszłość wydają się nieodróżnialne. Jednakże, zgodnie z najnowszymi wynikami termodynamiki, jak wskazuje druga zasada termodynamiki, układ zamknięty będzie jedynie spontanicznie zwiększał swoją entropię i zmierzał w kierunku losowego nieporządku (co zostanie przedstawione poniżej). Ujawnia to świat, w którym czas ma kierunek i stale ewoluuje. Na przykład teoria ewolucji biologicznej również mówi nam, że świat jest w ciągłym rozwoju, a strzałka czasu wskazuje nieodwracalnie przyszłość. Fizyczne konotacje teorii struktur dyssypatywnych można rozumieć jako: Nieliniowy system otwarty (taki jak systemy fizyczne, chemiczne, biologiczne, a nawet społeczne lub ekonomiczne) daleki od stanów równowagi poprzez ciągłą wymianę materii i energii ze światem zewnętrznym, przy czym zmiana pewnego parametru w systemie osiąga pewien próg. Jednocześnie, poprzez fluktuacje, system może ulegać nagłym zmianom, czyli nierównowagowym przejściom fazowym. Od pierwotnego, chaotycznego, nieuporządkowanego stanu do stanu uporządkowanego w czasie, przestrzeni lub funkcji. Ta nowa, stabilna, makroskopowa, uporządkowana struktura utworzona w nieliniowym obszarze dalekim od równowagi nazywana jest „strukturą dyssypatywną", ponieważ musi stale wymieniać materiał lub energię ze światem zewnętrznym, aby ją utrzymać. Jaka jest główna przyczyna struktur dyssypatywnych? Jedną z możliwych przyczyn jest to, że podobnie jak w przypadku ścieżek najmniejszego działania omówionych w rozdziale 3, struktura dyssypatywna umożliwia systemowi stabilizację z większą wydajnością niż w przypadku zastosowania innej struktury (lub jej braku, tj. chaosu). Ponownie, inteligencja wyłania się naturalnie z tego procesu stabilizacji. W istocie, wykazano, że entropia układu rośnie szybciej niż miałoby to miejsce, gdyby struktura dyssypatywna nie istniała [9]. Mówiąc ogólnie, bez wchodzenia w szczegóły techniczne, wzrost entropii w układzie oznacza, że układ przechodzi ze stanu niestabilnego do stanu bardziej stabilnego. Pojęcie entropii wprowadzimy w następnej części. W tym sensie „struktury dyssypatywne" należy nazywać „strukturami sprzyjającymi stabilności".

Wzrost entropii: Strzała czasu

Ponieważ inteligencja jest w oczywisty sposób związana z „porządkiem", jak pokazano w powyższych dyskusjach, interesujące jest zmierzenie (tj. określenie ilościowe) „porządku" lub „nieporządku" w systemie. Entropia jest abstrakcyjnym pojęciem, które to umożliwia. Im większa entropia, tym mniejszy „porządek". Entropia w rzeczywistości nie jest tajemnicą. Podobnie jak długość i ciężar, służy do pomiaru rzeczy. Entropia służy do pomiaru nieporządku, czyli stopnia chaotyczności czegoś. Pojęcie entropii zostało wprowadzone w 1865 roku przez niemieckiego fizyka Rudolpha Clausiusa, jednego z czołowych twórców termodynamiki. Początkowym zakresem termodynamiki były mechaniczne silniki cieplne, które następnie rozszerzono na badanie związków chemicznych i reakcji chemicznych. Entropia jest wykorzystywana w wielu dziedzinach, od klasycznej termodynamiki, gdzie została po raz pierwszy rozpoznana, po szeroko zakrojone zastosowania w chemii i fizyce, w systemach biologicznych i ich związku z życiem, w kosmologii, ekonomii, socjologii, meteorologii, zmianach klimatu i systemach informatycznych, w tym w transmisji informacji w naszych telefonach komórkowych i Internecie.

Prostym sposobem na zrozumienie koncepcji entropii jest rozważenie kuchni jako przykładu. Załóżmy, że sprzątasz kuchnię i doprowadzasz wszystko do porządku. Po kilku dniach, jeśli jej nie posprzątasz, kuchnia będzie w nieładzie, ponieważ niedbale zostawiasz rzeczy tu i tam, a ostatecznie nic nie będzie w porządku, jak pokazano na rysunku 3.

a b

Nie musisz się za to obwiniać. Winna jest natura.

Druga zasada termodynamiki mówi, że entropia każdego układu izolowanego zawsze rośnie. Układy izolowane spontanicznie ewoluują w kierunku równowagi – stanu maksymalnej entropii układu. Mówiąc prościej: entropia wszechświata (ostatecznego izolowanego systemu) tylko wzrasta (lub przynajmniej pozostaje taka sama) i nigdy nie maleje. Stephen Hawking powiedział: „Wzrost nieuporządkowania lub entropii odróżnia przeszłość od przyszłości, nadając kierunek czasowi" . Kiedy czytasz to, entropia jest wszędzie wokół ciebie. Ciepło z twojej skrzyni rozprzestrzenia się, komórki w twoim ciele obumierają i degradują, podłoga pokrywa się kurzem, współpracownik popełnia błąd, dochodzi do przestępstw, wiadomości napływają z różnych źródeł itd. Entropia jest zasadniczo koncepcją probabilistyczną. Ponieważ system zazwyczaj składa się z wielu komponentów (np. komórek w twoim ciele, przedmiotów w twoim pokoju i cząsteczek w twojej kawie), na każdy możliwy „użytecznie uporządkowany" stan systemu istnieje wiele, wiele innych możliwych „nieuporządkowanych" stanów. Możemy to opisać prostym obliczeniem matematycznym. Załóżmy, że w kuchni na rysunku 3 znajduje się 20 przedmiotów i istnieje 50 miejsc, w których można je umieścić. Znając matematycznie te permutacje, możemy obliczyć całkowite prawdopodobieństwo ich umieszczenia:

$$C_{50}^{20} = \frac{50!}{20! \times 30!} \approx 4.71 \times 10^{13}. \qquad (4.1)$$

Jeśli „porządek" zdefiniujemy jako stan, w którym każdy przedmiot znajduje się w określonym miejscu, a „nieporządek" jako stan wszystkich pozostałych, prawdopodobieństwo wystąpienia „porządku" jest bardzo niskie, wręcz niemożliwe. Natomiast „nieporządek" na pewno wystąpi. Dlatego stan „porządku" bardzo łatwo zmienia się w stan „nieporządku".

$$\text{The probability of "order"} = \frac{1}{4.71 \times 10^{1}3} \approx 0. \qquad (4.2)$$

Im wyższa entropia, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia. Cały wszechświat spontanicznie rozwija się w kierunku większego prawdopodobieństwa, czyli w kierunku większej entropii. Zatem prawo rosnącej entropii można sformułować w następujący sposób: stan może ewoluować w stan bardziej prawdopodobny, czyli stan bardziej stabilny. Sformułowane w ten sposób drugie prawo staje się niemal trywialnym stwierdzeniem. Zakłada się tutaj, że względne

prawdopodobieństwo stanu jest określone przez liczbę sposobów jego skonstruowania z jego elementarnych składników. Na przykład, istnieje tylko jeden sposób na umieszczenie cząsteczek gazu w jednym miejscu w rogu pomieszczenia, ale istnieje wiele sposobów na ich równomierne rozmieszczenie, więc wszystkie są rozproszone. Oznacza to, że skupione cząsteczki prawdopodobnie wyewoluują w cząsteczki równomiernie rozproszone, gdy upłynie czas, stąd entropia rośnie. W ostatnich latach, aby ułatwić zrozumienie pojęcia entropii w chemii i fizyce, nastąpiło odejście od słów „porządek" i „nieporządek" na rzecz takich jak „rozproszenie" i „dyspersja". W tych układach entropia mierzy ilość energii rozproszonej w procesie lub jej szerokość. Z perspektywy prawdopodobieństwa istnieje więcej sposobów na rozproszenie energii niż na jej koncentrację. Zatem energia jest rozproszona. Ostatecznie układ osiąga stan zwany „równowagą termodynamiczną" z maksymalną entropią, w którym energia jest równomiernie rozłożona, a układ jest stabilny. Z perspektywy „gradientu" w układach nierównowagowych występuje różnica na odległość (np. w energii, temperaturze, masie, informacji itp.). Z powodu gradientu układ nie jest stabilny. Na przykład istnieje różnica temperatur między filiżanką gorącej kawy a otaczającym go środowiskiem. Filiżanka gorącej kawy ostatecznie osiągnie temperaturę równą temperaturze pomieszczenia, w którym się znajduje. Co więcej, dopóki system pozostanie w spokoju, proces ten jest nieodwracalny. Kawa nigdy się już nie nagrzeje.

Maksymalna produkcja entropii

Tendencja entropii do osiągnięcia maksimum w układzie izolowanym (druga zasada termodynamiki) jest znana od połowy XIX wieku. W odniesieniu do produkcji entropii oznacza to, że jest ona większa lub równa 0. Ostatnio niezależne badania teoretyczne i stosowane wykazały maksymalizację produkcji entropii. Zasada ta nazywana jest zasadą maksymalnej produkcji entropii (MEPP). MEPP stanowi oczywiście nowe, dodatkowe stwierdzenie, oznaczające, że produkcja entropii nie jest po prostu dodatnia, ale dąży do maksimum. Zatem, oprócz kierunku ewolucji, który wynika ze sformułowania drugiej zasady, mamy informacje o tempie ruchu układu. Podobnie jak zasada najmniejszego działania opisana w poprzednim rozdziale, ta MEPP pokazuje kolejny przykład natury obierającej najłatwiejsze i najbardziej dostępne ścieżki, a zatem procesy zachodzą bardzo szybko w minimalnym czasie. Wszechświat rozwija się tak, aby osiągnąć stan końcowy tak szybko, jak to możliwe, a pojawienie się uporządkowanego układu jest bardziej efektywne dla realizacji tego procesu. Ponownie, inteligencja pojawia się w tym procesie naturalnie. MEPP potwierdza się w badaniach różnych układów pochodzenia fizycznego, chemicznego lub biologicznego w różnych skalach obserwacyjnych (zarówno mikroskopowych, jak i makroskopowych), w tym atmosfery, oceanów, wzrostu kryształów, transferu ładunku elektrycznego, promieniowania, ewolucji biologicznej. Na przykład zasady podobne do MEPP pojawiły się już dawno temu w biologii teoretycznej. W 1922 roku Alfred J. Lotka zaproponował, że ewolucja postępuje w takim kierunku, aby całkowity przepływ energii przez układ był maksymalny, zgodny z ograniczeniami. Innymi słowy, gatunki, które wykorzystują części przepływu dostępnej energii najefektywniej (przy założeniu, że wszystkie inne czynniki są równe) do swojego wzrostu i istnienia, zwiększą swoją populację, a zatem przepływ energii przez układ wzrośnie.