

Czy to, co widzisz, jest tym, co jest?

Martyna KOBUS*

*Instytut Nauk Ekonomicznych PAN



Rozwiązanie zadania F 1037.

Początkowa energia kinetyczna E_k tramwaju o całkowitej masie m wynosi $E_k = mv^2/2$. Podczas hamowania działa siła tarcia $F = mg\mu_k$. Tramwaj zatrzyma się, gdy siła tarcia wykona na drodze s pracę $W = Fs$ równą początkowej energii kinetycznej E_k . Otrzymujemy:

$$s = \frac{v^2}{2g\mu_k}.$$

Po podstawieniu danych liczbowych dostajemy $s = 96,45 \text{ m} \approx 100 \text{ m}$ (tak duża długość drogi hamowania wyjaśnia, dlaczego tramwaje mają szczególne przywileje w ruchu drogowym). Podczas hamowania wydzielili się ciepło równe pracy W . Do obliczenia wartości W potrzebna jest wartość całkowitej masy tramwaju. Przyjmijmy, że średnio masa pasażera wynosi $m_p \approx 70 \text{ kg}$. Otrzymujemy:

$$W = \frac{(m_0 + 50m_p)v^2}{2}.$$

Podstawienie danych liczbowych prowadzi do wniosku, że $W = 1,929 \text{ MJ}$, czyli tyle, ile czajnik o mocy 1 kW „wyprodukuje” w nieco ponad 32 minuty.



Rozwiązanie zadania F 1038.

Zwiększenie $1+z$ razy długości fali jest równoważne zwiększeniu $1+z$ razy okresu odpowiadających jej drgań pola elektromagnetycznego. Czas trwania procesów prowadzących do zmian jasności gwiazdy możemy „przeliczyć” na liczbę odpowiadających im okresów drgań emitowanej fali. Obserwowany na Ziemi proces zaniku jasności trwa tyle samo okresów drgań fal rejestrowanych na Ziemi, a więc

$$t_0 = \frac{t}{1+z},$$

co po podstawieniu danych liczbowych prowadzi do $t_0 = 30$ dni.

Warto podkreślić, że rozumowanie nie zależy od fizycznego źródła obserwowanego przesunięcia ku czerwieni, którym może być zjawisko Dopplera, przesunięcie grawitacyjne czy kosmologiczna zmiana skali.

Obszerniejszą dyskusję zagadnienia można znaleźć w: Silvia Simionato, *The Physics Teacher* 59, 333 (2021).

Czy nasza percepcja odzwierciedla strukturę świata, który istnieje niezależnie od niej? Innymi słowy, czy to, co widzimy, jest tym, co jest, czy jest tylko mentalną reprezentacją w naszym mózgu? Profesor kognitywistyki z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Irvine, Donald Hoffman, głosi tezę, że ludzka percepcja nie jest poprawna i nie ma na celu wiernego odzwierciedlenia otaczającej rzeczywistości. Jego książka *The case against reality: Why Evolution Hid the Truth from Our Eyes* była szeroko komentowana w mediach popularnonaukowych i popularnych (m.in. Quanta, The Atlantic, The Times). Formalny argument Hoffman wraz ze współautorami przedstawili w wydanym w zeszłym roku w czasopiśmie „Entropy” artykule pt. *Fact, Fiction, and Fitness*.

Autorzy artykułu przedstawili następujące rozumowanie. Dominujący pogląd w kognitywistyce jest taki, że istnieje „obiektywny” (niezależny od ludzkiego postrzegania) świat fizyczny i że ludzkie doświadczenia percepcyjne uchwytują cechy tego świata. Jest tak dlatego, że organizmy, które postrzegały świat prawidłowo, to znaczy miały tzw. poprawną percepcję (*veridical perception*), zdobyły ewolucyjną przewagę nad organizmami, które takiej percepcji nie miały. Hoffman i współautorzy podważają tę właśnie część tradycyjnego poglądu – jego uzasadnienie poprzez naturalną selekcję. Pokazują, że naturalna selekcja raczej kształtuje ludzką percepcję tak, że nie jest ona poprawna. Wspierają za to tzw. teorię interfejsu. Percepcja jest jak interfejs w komputerze. Niebieska ikonka w komputerze nie oznacza, że plik w komputerze jest niebieski. W istocie, pulpit nie mówi za wiele o komputerze, a jednak pulpit jest przydatny. Niebieska ikonka pozwala używać komputera. Kieruje zachowaniem użytkownika w taki sposób, że „radzi” on sobie z tym urządzeniem – a jednocześnie ukrywa złożoną rzeczywistość, której użytkownik nie musi znać.

Taka jest główna idea. Percepcja kieruje zachowaniami adaptacyjnymi. Po części wiąże się to z ukrywaniem przed nami rzeczy, których nie musimy wiedzieć. I – zdaniem Hoffmana – jest to prawie cała rzeczywistość. Nie potrzebujesz wiedzieć, w jaki sposób neurony tworzą obraz węża; potrzebujesz uciec, gdy widzisz „ikonę” węża. Węże, podobnie jak cząstki kwantowe, nie mają obiektywnych cech niezależnych od obserwatora. Wedle tej teorii wąż, którego widzę, to opis stworzony przez mój system sensoryczny w celu poinformowania mnie o konsekwencjach moich działań dla przetrwania. Percepcja nie jest poprawna; nie wyewoluowała po to, by dobrze opisywać rzeczywistość, ale by pozwolić Ci w niej przetrwać, a te procesy niekoniecznie są zbieżne, argumentują autorzy. Ewolucja kształtuje rozwiązania akceptowalne, a nie optymalne. Wąż to takie akceptowalne rozwiązanie problemu: „jak mam się zachować w danej sytuacji”. Ewolucyjnie opłaca się raczej „widzieć” węża, widząc poruszające się liście trawy, i uciec.

Rozważmy podany przez autorów przykład, by lepiej zrozumieć szczegóły przedstawionej tezy. Gracze w grach ewolucyjnych rywalizują o wypłaty za lepsze dostosowanie, wybierając różne strategie. Załóżmy, że mamy w takiej grze dwa zwierzęta, które postrzegają tylko dwa kolory. Pierwsze zwierzę widzi jasnoszary, gdy ilość jedzenia w otoczeniu jest poniżej pewnej wartości, i ciemnoszary, gdy jest powyżej. Drugie widzi ciemnoszary, gdy ilość pożywienia znajduje się w pewnym średnim zakresie, i jasnoszary wszędzie indziej. Załóżmy teraz, że funkcja wypłaty jest monotoniczna: im więcej jedzenia, tym wyższa wypłata. Zatem percepcja pierwszego zwierzęcia jest spójna z otoczeniem – zachowuje uporządkowanie ilości pożywienia. Pierwsze zwierzę jest lepiej przystosowane. Ma prostą strategię osiągania wyższych wypłat – jedz na tych obszarach, w których widzisz ciemnoszary.

Teraz załóżmy, że funkcja wypłat jest inna. Największe wypłaty są dla średniej ilości pożywienia, a niższe dla dużej i małej ilości pożywienia. Taka funkcja

wypłat, w odróżnieniu od poprzedniej, nie jest homeomorfizmem struktury rzeczywistości – nie zachowuje porządku co do ilości pożywienia. Czy takie funkcje w ogóle występują w rzeczywistości? Jak najbardziej. Weźmy na przykład ilość tlenu w atmosferze. Tylko wąski zakres ciśnień parcyjnych tlenu, między 19,5% a 23,5%, podtrzymuje ludzkie życie. Za dużo jest dla człowieka śmiertelne i za mało też. To samo dotyczy promieniowania ultrafioletowego, poziomu glukozy we krwi i innych. Niehomeomorficzne funkcje wypłat są więc jak najbardziej realne.

Tym razem pierwsze zwierzę jest gorzej dostosowane. Nie ma ono prostej strategii na uzyskanie większych korzyści. Gdy żywi się tam, gdzie widzi jasnoszary, czasem osiąga wysokie korzyści, a czasem niskie. Z kolei drugie zwierzę jest teraz dobrze przystosowane. Pamiętajmy jednak, że jego percepcja wcale nie odzwierciedla dobrze struktury otoczenia, jaką jest porządek.

Co różni te dwie opisane sytuacje? Kluczowe jest to, czy funkcja wypłaty jest homeomorfizmem struktury świata. Jeśli jest, wówczas percepcja, która też zachowuje strukturę świata, jest lepiej przystosowana i faworyzowana w procesie naturalnej selekcji. Jeśli z kolei funkcja wypłaty nie jest homeomorfizmem struktury świata, to wówczas percepcja, która też nie jest, a jest homeomorfizmem wypłat, ma ewolucyjną przewagę. Zatem to, czy funkcja wypłaty jest, czy nie jest homeomorfizmem struktury świata, decyduje o tym, czy nasza percepcja ewoluowała tak, by być poprawną. Na ile prawdopodobne jest więc to, że funkcja wypłaty jest homeomorfizmem? Autorzy obliczają prawdopodobieństwa dla czterech rodzajów struktur: porządków, grup cyklicznych, grup permutacji i przestrzeni mierzalnych, zliczając liczbę homeomorfizmów i dzieląc przez liczbę wszystkich możliwych funkcji wypłat. Analizowane struktury są kluczowe dla postrzegania elementów świata fizycznego, takich jak wielkość (głośność, ciepło i inne), rotacje

i translacje obiektów oraz rozkłady prawdopodobieństwa. W granicy, gdy liczba stanów świata i możliwych wartości wypłat dąży do nieskończoności, dla każdej struktury rozważanej prawdopodobieństwo, że funkcja wypłat jest homeomorfizmem, dąży do zera. Naturalna selekcja, jak wskazuje wynik, raczej nie wspiera poprawnej percepcji.

Teza ta rzuca inne spojrzenie na tzw. prawo Stevensa, które na pierwszy rzut oka zdaje się dowodzić tradycyjnego poglądu. To prawo to empirycznie zaobserwowana regularność, zgodnie z którą intensywność odczuwanego wrażenia zmysłowego jest proporcjonalna do siły bodźca go wywołującego. Ścisłe, prawo Stevensa to $\phi(I) = kI^{\alpha(f)}$, gdzie I to wielkość bodźca wywołującego wrażenie, α to wykładnik potęgowy różny dla różnych zmysłów, zaś k to współczynnik proporcjonalności, zależny od rodzaju bodźców i stosowanych jednostek miar. Przykładowo, dla I ciśnienia akustycznego i $\phi(I)$ głośności α wynosi 0,67 dla tonu o częstotliwości 3 kHz. To prawo potęgowe (z różnymi parametrami) zachodzi dla wielu wrażeń, np.: wibracji, jasności, lekkości, pola widzenia, ciepła, bólu, twardości, ciężkości i porażenia prądem. Istnienie takich praw uważa się za dowód, że istnieje monotoniczna zależność (tu konkretna) ze świata fizycznego (I) do świata wrażeń percepcyjnych ($\phi(I)$). Nasi autorzy twierdzą, że ta interpretacja jest niepoprawna. To, co nazywamy zmiennymi fizycznymi (I), może być po prostu innym sposobem pomiaru, jakiego dokonuje obserwator przy użyciu swego systemu percepcyjnego i koncepcyjnego. Wówczas prawo Stevensa jest tylko odwzorowaniem między dwoma systemami pomiarów – bezpośrednimi „fizycznymi” (często przy użyciu urządzeń pomiarowych) i mniej bezpośrednimi pomiarami sensorycznymi. Przypomina to trochę spór o to, czy świat jest matematyczny w swej strukturze, czy matematyzowalny (daje się opisać pojęciami znanymi ludzkiemu mózgowi).

Tak rewolucyjne tezy spotykają się oczywiście z głosami krytycznymi; oto niektóre z nich. Po pierwsze, argument wydaje się trochę zapętlony. Zdaniem Hoffmana fizyczne obiekty, które widzimy, są co najwyżej satysfakcjonującymi rozwiązaniami problemu kompresji i prezentacji informacji koniecznej do przetrwania, istnieją w świadomości, która po prostu jest. Tym samym autor pomija to, że świadomość jest również tym, co wymaga wyjaśnienia w oparciu o zjawiska, które są u swych podstaw fizyczne. Po drugie, w tej argumentacji powstają problemy typu: dlaczego niektóre nietrujące węże ewoluowały, by naśladować jadowite gatunki? Ponieważ drapieżniki unikają prawdziwych jadowitych węży. Imitacja działa tylko wtedy, gdy *istnieje* obiektywna rzeczywistość do naśladowania. Po trzecie, należałoby wyjaśnić, jaka jest ewolucyjna korzyść z dużej różnorodności ikon drapieżników, skoro ich celem jest spowodowanie tej samej reakcji po stronie człowieka?

Ostatecznie, to, czy percepcja jest poprawna, czy jest tylko pożytecznym interfejsem, wymaga danych i ustalenia, czy większość biologicznych systemów sensorycznych tworzy ikony zniekształcające, czy odwzorowujące rzeczywistość. Wyniki formalne, choć wskazują na ciekawe i nieintuicyjne aspekty, bazują na szeregu uproszczeń. Niewątpliwie jednak wnioski autorów inspirują do intelektualnej dyskusji i pozwalają zachować być może potrzebny dystans wobec tego, na ile nasze dociekania dają wgląd w naturę rzeczywistości.



Rozwiązanie zadania M 1695.

Niech p będzie liczbą pierwszą postaci $3k + 1$. Pokażemy, że p^2 posiada żądaną własność. Istotnie, jej dzielniki to 1, p i p^2 , skąd średnia arytmetyczna dzielników jest równa $\frac{1+p+p^2}{3}$. Jednakże $1 + p + p^2 \equiv 1 + 1 + 1 \equiv 0 \pmod{3}$, stąd średnia arytmetyczna jest całkowita. Natomiast średnia geometryczna tych liczb jest równa $\sqrt[3]{1 \cdot p \cdot p^2} = p$, więc również liczba całkowita. Jako p wystarczy przyjąć 1033. Tak naprawdę istnieje nieskończenie wiele liczb pierwszych postaci $3k + 1$, co jest konsekwencją twierdzenia Dirichleta.