

**TYGODNIK
POWSZECHNY**

Nr 20/2022

**KATALOG
FESTIWALOWY**

17-22.05

WWW.COPERNICUSFESTIVAL.COM



**Jak przekazywano kiedyś informacje?
Podziwiaj z nami zabytki techniki
Dostępne online, także w animacji 3D!**

www.zbiory.mim.krakow.pl



Odbiornik radiowy Ramona 62118

Zakłady Radiowe Diora, 1961, projekt Jan Kowalczyk
Za opracowanie wyglądu obudowy korpusu odbiornika radiowego Ramona, pieszczotliwie nazywanego „świnką”, odpowiadał metaloplastyk Jan Kowalczyk. Jego dwuwypukły, soczewkowaty kształt nadał ton rodzimemu wzornictwu przemysłowemu lat 60. W uznaniu oryginalności, odbiornik uhonorowano złotym medalem za najbardziej efektowny model polskiej kolekcji podczas XXX Międzynarodowych Targów Poznańskich w 1961 roku.



Komputer Apple Lisa 2

Apple Computer Inc., 1984
Apple Lisa to pierwszy dostępny komercyjnie komputer osobisty z graficznym interfejsem użytkownika (ang. graphical user interface, GUI), z pulpitem widocznym na ekranie monitora. Na wygodną obsługę tak pomyślanego interfejsu pozwalało zastosowanie myszy. Przed wprowadzeniem GUI komunikacja z komputerem odbywała się tylko za pomocą komend tekstowych.



Telewizor Wisła

Warszawskie Zakłady Telewizyjne, 1956
Wisła, to pierwszy produkowany w Polsce odbiornik telewizyjny. Jego konstrukcję oparto na zakupionej licencji radzieckiego telewizora Awangard TL-1 z 1953 roku. Telewizor był przeznaczony do odbioru programów telewizji czarno-białej. Włączano go przez podniesienie górnej pokrywy, pod którą znajdowały się dwa wbudowane głośniki i pokręta regulacyjne. Wisła była wyposażona w okrągły kineskop, odgradzony szybą ochronną.



Aparat telegraficzny systemu Morse'a

Państwowa Wytwórnia Aparatów Telegraficznych i Te-lefonicznych, przed 1939
Wynaleziony w XIX wieku aparat telegraficzny rewolucjonizował obieg informacji. Nie tylko przyspieszył jej przekazywanie na niespotykaną wcześniej skalę, ale też diametralnie zwiększył jej zasięg. Aparat telegraficzny został wyposażony w aparat drukujący znaki złożone z kropek i kresek na papierowej taśmie.



COPERNICUS FESTIVAL 2022 / INFORMACJA

Mamy dla Państwa dwie ważne wiadomości – obie dobre.

Po trzech edycjach przeniesionych w całości do internetu wydarzenia Copernicus Festival znowu odbywać się będą z udziałem publiczności. W nowym dla nas miejscu – w Muzeum Inżynierii i Techniki przy ul. św. Wawrzyńca 15 w Krakowie. Przed pandemią COVID-19 podczas aż sześciu edycji festiwalu korzystaliśmy z gościnności Muzeum Narodowego w Krakowie, któremu za te lata współpracy jesteśmy ogromnie wdzięczni.

W tym roku główne wykłady będą tłumaczone simultanicznie na język ukraiński.

Przypomnijmy jeszcze podstawowe informacje. Festiwal trwa od 17 do 22 maja i poświęcony jest fenomenowi informacji. Pierwszego dnia w Muzeum Inżynierii i Techniki zaplanowaliśmy tylko jedno wydarzenie (studio festiwalowe o godz. 20.45), ale w każdym kolejnym dniu spędzimy w tym miejscu popołudnie i wieczór – spotykać się będziemy od godz. 16.30 do 21.45. W tym czasie odbywać się będą wydarzenia w ramach czterech festiwalowych pasm.

W Perceptio posłuchamy o działaniu naszych zmysłów i tym, jak umożliwiają nam odnajdywanie się w złożonym świecie zjawisk fizycznych i społecznych. UNA Talks to seria wykładów o fascynujących interakcjach życia społecznego, nauki, sztuki i technologii cyfrowych, które wygłoszą naukowcy z uniwersytetów zrzeszonych w sieci UNA Europa. Wykłady główne w tym roku poprowadzą: psycholog Michał Kosiński, reportażystka

Krystyna Kurczab-Redlich, informatyk Michael Rovatsos, genetyczka Ewa Bartnik, fizyk Artur Ekert oraz pisarz-sawant Daniel Tammet. Posłuchamy w nich o rozwoju sztucznej inteligencji i tym, jak wiele intymnych informacji algorytmy mogą wyczytać z naszej twarzy, spróbujemy wgrzyźć się w rosyjski imperializm, podejrzmy nasze geny w działaniu, rozszyfrujemy kwantową kryptografię i zastanowimy się, w jaki sposób słowa nabierają znaczeń.

Wieczór zakończymy studium festiwalowym, w którym przypomnimy najważniejsze wydarzenia danego dnia i porozmawiamy z zaproszonymi gośćmi. Wszystkich, którzy nie będą mogli dotrzeć do Muzeum Inżynierii i Techniki, zapraszamy do śledzenia transmisji internetowych (na kanale Youtube.com/CopernicusCenter) z pasma Perceptio, wykładów głównych i studia festiwalowego.

Poza tym do sieci trafi mnóstwo materiałów przygotowanych przed festiwalem – będzie je można obejrzeć i wysłuchać na naszej stronie internetowej (copernicusfestival.com) i Facebooku (fb.com/copernicusfestival).

Pełna lista wydarzeń i przygotowanych materiałów znajduje się w programie, który publikujemy w środku tego katalogu. Znajdą w nim Państwo również artykuły wprowadzające w różne wymiary fenomenu informacji, mówiące o tym, jak się od niej uzależniliśmy i jak próbujemy się z nią zmierzyć.

Życzymy przyjemnej lektury. Do zobaczenia podczas festiwalowych wydarzeń!

© ZESPÓŁ COPERNICUS FESTIVAL



COPERNICUS
FESTIVAL

4. Paradoxy informacji

ŁUKASZ ŁAMŻA

9. Zanieczyszczone umysły

JĘDRZEJ GRODNIEWICZ

12. Kuksańce w neuronach

KATARZYNA DZIADOWICZ

16. Jesteśmy skomplikowani

ROZMOWA Z MICHAŁEM KOSIŃSKIM

21. Program festiwalu

24. Gdy sieć się rwie

WOJCIECH BRZEZIŃSKI

28. Nadchodzi era kwantów

MICHAŁ ECKSTEIN,
PAWEŁ HORODECKI

32. Geny i dużo więcej

ŁUKASZ ŁAMŻA, LECH MAZURCZYK

34. Jeszcze za mało wiemy

ROZMOWA Z EWĄ BARTNIK

38. Retoryka

kolorowych zadków
WOJCIECH BONOWICZ

40. Czy warto wachać sztukę

ROZMOWA
Z MAJĄ STARAKIEWICZ
I JAKUBEM WOYNAROWSKIM

WSPÓŁWYDAWCY



REDAKCJA: ŁUKASZ KWIATEK | WSPÓŁPRACA: KATARZYNA DZIADOWICZ, TOMASZ FIAŁKOWSKI, MATEUSZ HOHOL, ŁUKASZ ŁAMŻA

OPIEKA WYDAWNICZA: ANNA DZIURDZIKOWSKA | WSPÓŁPRACA: MICHAŁ FURMAN, SABINA JANECZKO, DIANA SAŁACKA

PROJEKT GRAF. MAREK ZALEJSKI | FOTOEDYCJA: GRAŻYNA MAKARA, EDWARD AUGUSTYN, JACEK TARAN | TYPOGRAFIA: ANDRZEJ LEŚNIAK

KOREKTA: KATARZYNA DOMIN, SYLWIA FROŁÓW, MACIEJ SZKLARCZYK | GRAFIKA NA OKŁADCE: KAROLINA KŁOS

KRAKÓW 2022, ISBN 978-83-65811-10-3



Paradoksy informacji

LUKASZ LAMŻA

Pojęcie informacji przebojem wdarło się do wielu dziedzin nauki: od psychologii, przez biologię, aż po fizykę i kosmologię. I wszędzie są z nim problemy.

Stoję w oknie pokoju hotelowego i z wysokości pięciu pięter przyglądam się ruchliwemu skrzyżowaniu. Zielone... czerwone... zielone... czerwone... Setki lśniących chrabąszczy, posłusznie zatrzymujących się w miejscu i ruszających po chwili. Mżawka rozmywa światła, czas łagodnie przyspiesza, a dwie kolumny samochodów zamieniają się w wątek i osnowę jakiegoś gigantycznego, świetlistego, mechano-elektronicznego krosna. Lewo... prawo... lewo... prawo...

Zginęło sto tysięcy Japończyków – a energii nie wystarczyłoby na uśmiercenie pszczoły.

Z czysto fizycznego punktu widzenia to, co dzieje się na skrzyżowaniu, to absurd. Ilość energii potrzebna do zatrzymania i przyspieszenia setek pojazdów jest gigantyczna, a przyczyną tego całego ruchu jest parę tuzinów lampek. Nie da się strumieniem światła zatrzymać tony stali – a jednak właśnie to się dzieje. Ba, nie ma żadnego związku fizycznego między czerwienią i zatrzymaniem się oraz zielenią i przyspieszeniem – mogłoby być dokładnie na odwrót. Brak tego związku oraz dysproporcja pomiędzy przyczyną i skutkiem to znaki rozpoznawcze świata rządzonego przez informację. Enola Gay zrzuciła swój ładunek na Hiroszimę, ponieważ 25 lipca 1945 r. generał Thomas Handy umieścił na pewnej kartce papieru nieco ciemnego tuszu – poświęcił prawdopodobnie na ten ruch porcję energii, której nie wystarczyłoby na uśmiercenie pszczoły. A jednak właśnie ten podpis był jednym z członów łańcucha przyczyn prowadzących do śmierci 100 tysięcy Japończyków.

Żeby uświadomić sobie, jak nieprawdopodobne są te wszystkie zjawiska, spojrzmy na nie okiem przyrodnika. Na skiniecie ręki generała kolumna żołnierzy pada na ziemię. A czy zdarzyło się kiedyś, że na skinienie brzoźowego listka wszystkie drzewa w lesie padły jak długie? Nazwisko generała na kartce papieru wywołało eksplozję bomby jądrowej, ale czy wulkany wybuchają, gdy chmury na niebie ułożą się w „L”? Tajemnica ewidentnie tkwi w naszych mózgach, które potrafią zareagować w sposób skrajnie różny na bodźce różniące się tylko o włos, opierając się na rozwijanych od tysiącleci umowach społecznych.

Z drugiej strony, w głębinach komórek żywych, od mojego neuronu po najskromniejszą bakterię, dochodzi do zjawisk niepokojąco przypominających przepływ informacji w społeczeństwie. Procesy komórkowe komunikują się ze sobą nawzajem przy użyciu precyzyjnych komunikatów, wyrażonych przy pomocy alfabetu aminokwasów i nukleotydów – zobaczcie, ile tu słów związanych z rzeczywistością językową! Czy oznacza to, że powinniśmy się doszukiwać mózgów i umów społecznych w cząsteczkach białka?

Co więcej, pojęcie informacji jest dziś używane do opisu zjawisk zachodzących na fundamentalnym poziomie wszechświata.

Teoria Einsteina nakłada, mówią fizycy, ograniczenia na możliwość przesyłu informacji w czasoprzestrzeni, a czarne dziury usuwają ze świata informację zawartą w cząstkach. Procesy chemiczne, dodając chemicy, przebiegają w kierunku wyznaczanym przez przepływ informacji. To jak to jest – kto puścił w ruch karuzelę informacji? Ludzie? Życie? Świat?

Barszcz serwowany jest tylko jeden jedyny raz, w Wigilię.

W latach 40. i 50. XX w., w bezpośrednim związku z rozwojem elektroniki, telekomunikacji i maszyn obliczeniowych, narodziły się ilościowe badania nad informacją i komunikacją. Wykształcił się też wówczas uczony do dzisiaj idealny model sytuacji komunikacyjnej: nadawca koduje swój komunikat przy pomocy pewnego standardowego kodu, po czym przesyła go określonym kanałem (który może wprowadzać szum „kasujący” informację), a odbiorca dokonuje jego odkodowania. Claude Shannon i Warren Weaver, twórcy tego modelu, pracowali wówczas dla Bell Laboratories, gdzie pytania o informację miały znaczenie praktyczne. W Bell Labs lamano kody i opracowywano technologie bezpiecznej komunikacji; to tam pod koniec lat 40. powstał pierwszy tranzystor i jedne z pierwszych komputerów. W 1948 r. zaś w wydawanym tam czasopiśmie „Bell System Technical Journal” Claude Shannon po raz pierwszy użył słowa *bit*.

Pomówmy chwilę o tej pięknej fikcji, jaką jest bit. Bit – od *binary digit*, czyli „cyfra dwójkowa” – to jednostka informacji, odpowiadająca wyborowi spośród dwóch możliwości, które są równie prawdopodobne. W świecie komputerów te dwie możliwości to zwyczajowo zero i jeden. Gdy więc ktoś mnie zapyta: „Zero czy jeden?”, a ja odpowiem „Zero”, to właśnie przekazałem swojemu rozmówcy jeden bit informacji. Jeśli możliwości są cztery, to odpowiedź na pytanie przekazuje dwa bity; jeśli możliwości jest osiem, to moja odpowiedź ma „ładunek informacyjny” wynoszący trzy bity – i tak dalej. Matematyka uczy, że gdyby generał Handy musiał wybrać do zbombardowania jedno →

→ spośród 256 japońskich miast, to do zakomunikowania swojego wyboru potrzebowałby dokładnie ośmiu bitów – a więc ośmiu elementarnych sygnałów typu „zero/jeden”. Mogłoby to być cokolwiek, co ma dwa stany: podniesienie/opuszczenie ręki, mrugnięcie lewym/prawym okiem, ugryzienie kanapki od przodu/od boku – byleby odbiorca znał kod.

To piękna teoria, jednak praktycy kodowania, jak Shannon, szybko zdali sobie sprawę z tego, że realne sytuacje komunikacyjne są znacznie bardziej skomplikowane. Pierwszy problem tkwi w założeniu o równym prawdopodobieństwie ewentualności.

Przypuśćmy, że w pewnej kantynie zakładowej serwowane są tylko dwie zupy – pomidorowa i barszcz. Gdyby podawano je równie często, to informacja o tym, która z nich będzie dziś, oczywiście dostarczałaby mi dokładnie jeden bit. Przypuśćmy jednak, że barszcz serwowany jest tylko w Wigilię – pewnie aby wynagrodzić pracownikom fakt siedzenia w pracy, gdy Bóg się rodzi, a moc truchleje – przez pozostałe zaś 364 dni w roku ów nieludzki zakład karni swych pracowników pomidorową. W takim przypadku informacja, że „dziś serwujemy barszcz”, ma sporą wartość informacyjną: zawęży bowiem naszą wiedzę o tym, jaki jest dziś dzień, do tylko jednego spośród 365 dni! Formalnie rzecz biorąc, odpowiedź „barszcz” ma więc wartość informacyjną aż 9 bitów, a odpowiedź „pomidorowa” ułamek bitu.

Claude Shannon na bazie podobnych doświadczeń myślowych zaproponował swą własną definicję informacji: miała być ona „miarą zaskoczenia”. Można by też powiedzieć: „miarą zawężenia” – komunikat zawiera tym więcej informacji, im silniej zawęży pewien zbiór możliwości. Co istotne, w myśl takiej definicji tę samą ilość informacji można zawrzeć w komunikatach o różnej długości.

Wyobraźmy sobie, że organizujemy wesele i wysyłamy gościom maila o treści: „Czy zyczysz sobie menu: 1) mięsne; 2) bezmięsne?”. Czysto formalnie każda użyteczna odpowiedź zawsze będzie zawierała dokładnie bit informacji. Jedni goście odpowiedzą jednak „1”, inni: „Dla mnie menu wegetariańskie”, a jeszcze inni rozpoczną od powitania, potem przejdą do długiej opowieści o roli wołowiny w systemie ich wrażliwości duchowej, a dopiero w ostatnich słowach łaskawie

zaakceptują menu mięsne. Bliski współpracownik Shannona, Warren Weaver, zaproponował jeszcze nieco inną definicję: „informacja to miara wolności wyboru przy tworzeniu komunikatu”. Intuicja jest podobna: gość weselny, bez względu na swoją gadatliwość, może wskazać w mailu wyłącznie na jedną z dwóch możliwości, a więc jego komunikat zawsze będzie zawierał dokładnie bit informacji – oczywiście z wyjątkiem przypadków, gdy mail będzie „bezużyteczny” i nie pozwoli nam zawęzić menu: wtedy będzie zawierał zero bitów informacji, nawet gdyby weń wklejono całą Britannikę. Ilość informacji w komunikacie zależy więc też od tego, czego w nim szuka odbiorca.

Ta ostatnia uwaga może wydawać się przesadzona, ale lektura dzieł teoretyków informacji uczy, że niekoniecznie: wspólny kod to wszystko. Prosty przypadek ku refleksji: w 1912 r. antykwaryusz Michał Wojnicz nabył tajemniczą książkę zwaną dziś manuskryptem Wojnicza. Większość 240-stronicowego dzieła pokryta jest znakami nieznanego alfabetu, łącznie składającymi się na ok. 35 tysięcy „słów”, i tajemniczymi ilustracjami. Datowanie radiowęglowe mówi, że manuskrypt powstał w I połowie XV w. Pytanie za 100 punktów: czy manuskrypt Wojnicza zawiera informacje? Jedni uważają, że to rzeczywiście tekst, inni – że wyrefinowana zabawa jakiegoś renesansowego dowcipnisa, za którą nie kryje się żadna treść. Jak widać, uzgodnienie kodu to rzecz o fundamentalnym znaczeniu.

Są też przypadki pośrednie, kto wie, czy nie jeszcze bardziej fascynujące. Przypuśćmy, że któryś gość weselny odpowiada: „Moja żona zje nawet turducken, ja jednak tylko sun-dubu”. Czysto „teoretycznie”, komunikat ten zawiera dwa bity informacji: turducken to danie ultramięsne (pieczony indyk nadziewany kaczką nadzianą kurczakiem [*sic!*]), a sun-dubu to odmiana tofu. Mail przekazuje więc, choć w postaci zawoalowanej i silnie pretensjonalnej, preferencje dietetyczne dwójki gości. Jeśli jednak czytająca go osoba nie zna tych słów, komunikat nagle traci bity. Pomyślmy też o biednym Watsonie, który na miejscu zbrodni może tylko bezradnie wpatrywać się w rozrzucone na podłodze przedmioty, podczas gdy Holmes pływa w morzu informacji, skutecznie zawężającej zbiór podejrzanych.

Klikam na chybił trafił w okienka, próbując jak najsilniej skompresować podręcznik Floridiego.

Wróćmy do sfery życia, w której powinniśmy się spodziewać pomiaru informacji o absolutnej precyzji. Przecież, na litość, plik komputerowy zajmuje konkretną liczbę komórek pamięci, z których każda reprezentuje jeden bit – powinniśmy więc choć tutaj zaznać metafizycznego spokoju. Ot, plik z niniejszym artykułem zajmuje w chwili obecnej 17 794 bajty, czyli 142 352 bity. I kropka. Prawda? Niestety, nawet na pytanie, ile informacji zawiera dany plik, nie da się odpowiedzieć automatycznie. Piękną demonstracją tego faktu jest proces kompresji, potocznie zwanej „pakowaniem”, który sprowadza się do sprawienia, aby „ten sam” plik zajął mniej miejsca na dysku.

W przypadku kompresji „stratnej” dzieje się to kosztem detali: obraz robi się ziarnisty, a dźwięk zaszumiony i metaliczny. Znacznie bardziej interesująca filozoficznie jest jednak kompresja bezstratna, ponieważ oznacza zmieszczenie dokładnie tej samej porcji informacji z użyciem mniejszej liczby bitów. Przykładowo, obraz o wymiarach 1000 na 1000 pikseli składający się wyłącznie z białych pikseli można by po prostu zapisać jako długi ciąg: „biały piksel, biały piksel, biały piksel...”, jednak nieco mądrzej jest wyrazić go poprzez znacznie krótszą komendę „napisz milion razy »biały piksel«”. Idea kompresji bezstratnej wydaje się kompletnie sprzeczna z definicją informacji i bitów. Jeżeli bity mają służyć do mierzenia ilości informacji, to mamy niejaki problem, mówiąc o tej samej ilości informacji zakłętej w innej liczbie bitów. To trochę tak, jak gdybyśmy powiedzieli, że potrafimy upchnąć większą masę w tej samej liczbie gramów albo 20 złotych w dwóch pięćdziesiątkach.

W 1965 r. radziecki matematyk Andriej Kołmogorow wyraził te intuicje w postaci tzw. algorytmicznej teorii informacji, a niedługo później, być może niezależnie, podobną teorię przedstawił argentyńsko-amerykański matematyk Gregory Chaitin. Algorytm to ustalony sposób postępowania, przepis. Prototypem algorytmu jest program komputerowy: lista jednoznacznych komend, które wykonuje komputer. Miarą ilości informacji w danym komunikacie mia-

łaby się zaś stać długość najkrótszego programu komputerowego generującego ten komunikat. To jeszcze bardziej wyrafinowana teoria informacji. Zauważmy, że algorytm „pakujący” wyszukuje w zadanej mu sekwencji wszelkie formy porządku, a następnie wyraża je w bardziej zwężonej formie. Zawartość informacyjna danego ciągu znaków miałaby być ilością obecnego w nim „prawdziwego porządku”.

Budzi to oczywiście kolejne wątpliwości: w jakim właściwie języku miałyby zostać wyrażony ów algorytm? Jak staranne ma być „upakowanie”? Mój podręczny program kompresujący zna 5 głównych algorytmów o nic niemówiących mi nazwach i całą paletę dodatkowych opcji, z których rozumiem jeszcze mniej. Klikam na chybił trafił w okienka, próbując jak najsilniej skompresować podręcznik filozofii informacji Luciano Floridiego. Ile bitów informacji chce mi przekazać Floridi „tak naprawdę”? Każda próba daje inny wynik. Ostatecznie znów, mimo na pozór precyzyjnej definicji, informacja wymyka się próbom jednoznacznego zmierzenia.

**„Sztuczne oko żaby”,
„podświadomość”,
„efektywność
działań bojowych”...
To naprawdę miała być
nauka od wszystkiego!**

Praca Kołmogorowa nie poszła jednak na próżno, a definicja algorytmiczna wprowadziła do teorii informacji powiew świeżości. Przede wszystkim, „porządek” to pojęcie znacznie ogólniejsze od „zaskoczenia”, co daje nadzieję na szukanie informacji w świecie fizycznym. Zauważmy, że definicje Shannona i Weavera lokowały informację w świecie nadawców i odbiorców, kodu i języka, a nawet zjawisk tak subtelnych, jak intencja komunikacyjna. Jesteśmy więc w samym środku rzeczywistości ludzkiej. Tymczasem już wtedy wielu badaczom marzyło się uczynienie z informacji nadpojęcia, które mogłoby dostarczyć fundamentu wszystkim dziedzinom nauki. Metodą Kołmogorowa można równie łatwo opisywać sekwencję znaków w książce, co sekwencję „literek” ludzkiego genomu, a nawet układ atomów w kryształach. To świetna wiadomość dla poszukiwaczy kosmicznego porządku: gdyby udało się poprzez pojęcie porządku ukorzenić teorię informacji w fizyce,



Stan kosmosu w jego najwcześniejszych chwilach można opisać jako wielki szum – niemal doskonale jednolita temperatura i prosty skład cząsteczkowy, gdzie okiem sięgnąć.

otrzymalibyśmy naprawdę piękną konstrukcję intelektualną!

Norbert Wiener, jeden z wizjonerów komputera, ukuł w 1948 r. słowo „cybernetyka” dla „teorii komunikacji i kontroli, czy to zachodzącej w maszynie, czy w zwierzęciu”, a niedługo później w każdym wyobraźnym kontekście. Informacja miałaby być pojęciem podstawowym cybernetyki, jak punkt w geometrii albo zbiór w teorii mnogości, i nie domagać się istnienia dwóch komunikujących się ze sobą umysłów. W 1946 r. Wiener pisał, że „informacja to miara porządku”, sugerując, że po takim zdefiniowaniu będzie ją można stosować do opisu dowolnego zjawiska naturalnego. Mam na półce „Mały słownik cybernetyczny” z 1973 r., kiedy to cybernetyka przeżywała szczyt popularności. Pośród haseł w tym słowniku są pozycje tak intrygujące jak „sztuczne oko żaby”, „podświadomość” czy „efektywność działań bojowych” – to naprawdę miała być nauka od wszystkiego!

John von Neumann, kolejny geniusz i wizjoner z ery powstawania komputera, zaproponował Shannonowi, aby informację połączyć z pojęciem entropii. Oto rekomendacja, jakiej udzielił: „Powinieneś nazwać ją [tj. „informację Shannona”] entropią z dwóch powodów: po pierwsze, funk-

cja ta jest już używana w termodynamice pod tą samą nazwą; po drugie i najważniejsze, większość ludzi nie wie, czym tak naprawdę jest entropia, więc jeżeli użyjesz w dyskusji słowa entropia, to wygrasz za każdym razem”. Była to naprawdę celna uwaga: definiowanie informacji przez entropię to gaszenie pożaru benzyną. Pojęcie to ma szereg precyzyjnych definicji, z których żadna nie zadowala wszystkich zainteresowanych stron, a ponadto wiąże się z nią wiele mętnych intuicji (np. „entropia jako miara nieporządku”) i gigantyczne nadzieje. Czyli zupełnie jak informacja. Co więcej, istnieją dwa kompletnie ze sobą sprzeczne sposoby, w jakie można te dwa pojęcia połączyć.

Spróbujmy może zrekonstruować w najogólniejszym zarysie, jak miałyby wyglądać fizyczna wersja pojęcia informacji sformułowana tak, aby odpowiadała naszym codziennym intuicjom. Te zaś, jak się okazuje, niezłe wyraża termodynamika – niegdyś skromna nauka o silnikach, kotłach i tłokach, dziś jeden z korzeni fizyki. Słynna druga zasada termodynamiki w swojej podstawowej wersji, sformułowanej przez Rudolfa Clausiusa w 1854 r., głosi, że ciepło nie może spontanicznie przepłynąć z ciała zimniejszego do cieplejszego. Chłodny stół zawsze rozgrzeje się od gorącej kawy, ale kawa nigdy nie rozgrzeje się dodatkowo od stołu.

Z każdą kolejną dekadą konsekwencje tego niezaprzeczalnego prawa przyrody zaczęły się stawać coraz poważniejsze – okazuje się bowiem, że istnieje w przyrodzie więcej procesów, które, choć czysto na papierze mogłyby zachodzić w dowolnym kierunku, „lubią” zachodzić w tylko jedną stronę. Entropia została początkowo zdefiniowana jako właściwość układu pozwalająca przewidzieć, w którą stronę będą przebiegały zmiany w tym układzie: z definicji każdy układ przyrodniczy miałby przechodzić do stanu o wyższej entropii. W tym ujęciu druga zasada głosi, że entropia izolowanego układu – czyli takiego, który ewoluuje spontanicznie i którego nikt sztucznie nie pobudza z zewnątrz – nigdy nie będzie malała, a w praktyce zawsze rośnie.

To już nieco lepiej, jednak termodynamika nabrała prawdziwych rumieńców, gdy pojęcie entropii powiązano z porządkiem i prawdopodobieństwem. Drugą zasadę można by wówczas, z lekkim przybliżeniem oka, rozumieć jako zasadniczą skłonność świata do przechodzenia →

→ od układów bardziej uporządkowanych do mniej uporządkowanych. Kolejne pokolenia filozofów i popularyzatorów nauki zabawiają nas kolejnymi anegdotami ilustrującymi codzienne znaczenie tej zasady. Kubki z czasem obtłukują się w toku zwykłego użytkowania, ale odłamki nie skleją się już same. Spontanicznie używane mieszkanie brudzi się i bałagani, a nie czyści i porządkuje. Książki odkładane byle jak nie ułożą się same w porządku alfabetycznym. Na poziomie czystej fizyki klarownym przykładem jest gaz wypełniający pojemnik, np. powietrze w pokoju. Przypuśćmy, że zaczynamy od rozkładu niejednorodnego: z jednej strony pokoju jest cieplej. Druga zasada nakazuje, aby z czasem temperatura samoistnie się wyrównała, a skrajnie mało prawdopodobna jest historia odwrotna: w pokoju spontanicznie powstaje strefa gorąca i strefa zimna.

Spróbujmy teraz wpuścić do tego opisu pojęcie informacji. Zacznijmy od dokończenia cytatu Wienera. „Informacja to miara porządku” to bowiem tylko połowa jego powiedzonka. Reszta brzmi: „entropia to miara nieporządku”.

Nie jest łatwo to skonkretyzować, ale korzystnych intuicji dostarcza teoria Kołmogorowa. Wyobraźmy sobie, że dzielimy w myślach pomieszczenie na tysiąc regionów o identycznej objętości i wypisujemy dla każdego z nich z osobną panującą w nim temperaturę – ciąg tysięcy liczb. Jeżeli chcemy wiedzieć, ile informacji kryje się w rozkładzie temperatury naszego pokoju, szukamy najkrótszego programu komputerowego, który potrafi wygenerować tysiąc opisujących go parametrów. Algorytm dla pokoju o jednorodnej temperaturze jest bardzo prosty: „Dla każdego regionu temperatura to 21°C ”. Każdy dodatkowy poziom komplikacji wydłuża algorytm, co oznacza, że w układzie tym zakłęta jest większa ilość informacji. Przy odrobinie pomysłowości da się powiązać tego typu „informację fizyczną” ze zwykłą „informacją komunikacyjną” – niejednorodność rozkładu temperatury w pokoju mogłaby przecież zostać wykorzystana do zostawienia komuś wiadomości. Ciepłej przy wejściu – będzie pomidorowa. Ciepłej przy oknie – barszcz. I oto jeden bit przekazany przy pomocy jednej „dwójkowej” formy porządku fizycznego. Kolejna taka forma porządku (np. cieplejsza lewa lub prawa strona pokoju) to kolejny bit.

Lodówka zawsze ogrzewa pomieszczenie, w którym się znajduje.

Wszystko to brzmi, mam nadzieję, w miarę sensownie. Aż zbyt sensownie – czyżby rzeczywiście udało się stworzyć „ogólną teorię informacji”, a sama informacja może stanowić bezpieczny naukowy „powszechnik” obok pojęć takich jak „energia” czy „proces”? Niestety, wciąż pozostają poważne paradoksy, które uniemożliwiają nawet wyrobienie sobie elementarnych intuicji na temat tego, jakiego typu układy zawierają minimalną, a jakie maksymalną ilość informacji. Nie zapominajmy też o dziwnej uwadze von Neumanna, że informacja i entropia to jedno i to samo. Moment – a czy nie miało być na odwrót?

Istotę problemu najłatwiej zrozumieć po odwołaniu się do pojęcia szumu. W termodynamice klasycznej nie ma układu o wyższej entropii, a więc – zdawałoby się – zawierającego mniej informacji niż pojemnik wypełniony całkowicie jednorodnym gazem. To szum idealny, a więc – wróćmy myślą do Shannona – wróg informacji. Całkowicie zaszumiony kanał komunikacyjny nie jest w stanie przekazać choćby jednego bitu.

Pomyślmy teraz o prostym matematycznym odpowiedniku szumu: miliony doskonale losowych liczb z przedziału 1-100. Problem polega na tym, że zgodnie z definicją algorytmiczną jest to sekwencja o maksymalnej możliwej ilości informacji. Nie da się „spakować” listy liczb losowych, ponieważ nie ma w niej żadnego porządku. Mówiąc jeszcze inaczej, nie istnieje krótszy sposób zapisania miliona losowych liczb niż same te liczby: nawet najdoskonalszy program do kompresji nigdy nie skróci miliona losowych bitów o ani jeden bit. Porównajmy to choćby z sekwencją kolejnych cyfr po przecinku w liczbie pi – tę da się wygenerować na podstawie przepisu matematycznego, znacznie krótszego od miliona znaków. Dochodzimy więc do kłopotliwego wniosku, że książka całkowicie wypełniona losowymi znakami zawiera więcej informacji od tomu Britanniki: tę drugą bardzo łatwo przecież skrócić bez utraty informacji, choćby wprowadzając ustalone na wstępie skrótowce.

Pokrewny problem pojawia się w skali kosmologicznej. Oglądany oczami termodynamika wszechświat może budzić po-

ważne wątpliwości. Stan kosmosu w jego najwcześniejszych chwilach można opisać jako wielki szum – niemal doskonale jednolita temperatura i prosty skład cząsteczkowy, gdzie okiem sięgnąć. Każdy kolejny miliard lat wiązał się zaś ze spontanicznym wylaniem się najrozmaitszych form porządku: od atomowego i chemicznego po artystyczny i technologiczny. Wszechświat wydaje się być całkowicie pochłonięty generowaniem informacji. Stoi to w niejkiej sprzeczności z drugą zasadą, która wydaje się nakazywać, aby entropia świata stale rosła. Owszem, może maleć, jednak zawsze kosztem wypompowania chaosu do środowiska zewnętrznego. Nie ma chyba lepszej wizualizacji tej zasady niż talerz z pięknym daniem na tle kuchennego chaosu, którego ogarnięcie zajmie wiele godzin. Każda dawka porządku, jaki wpompujemy w świat, zostaje okupiona jeszcze większą dawką nieporządku. Lodówka zawsze ogrzewa pomieszczenie, w którym się znajduje, a śmieci zamiecione z ulic trafiają na ukryte za miastem wysypiska.

Jeżeli więc chcemy upierać się, że druga zasada działa również w skali kosmicznej, to musimy znaleźć „zaplecze Boga”, gdzie walają się wszystkie odrzucone skrawki galaktyk i opiłki po szlifowaniu płyt tektonicznych. Albo radykalnie przemysleć ideę entropii. Starzy termodynamicy uznaliby jednorodną porcję gorącego gazu za układ o maksymalnej entropii, czysty nieporządek; chaos, z którego dopiero wyłonił się kosmos. A może jednak położenie każdej cząstki w młodym wszechświecie należy potraktować poważnie, a kosmos obecny – uporządkowany, a więc dający się pięknie „skrócić algorytmicznie” – zawiera w sobie znacznie mniej informacji niż niegdyś?

■■■

Nie liczcie na to, że z paradoksów informacji uda się jakimś prostym sposobem wykrecić. Ale to dobrze – ilekroć jakieś pojęcie sprawia tyle problemów, to znak, że jest naprawdę ważne. Tymczasem za oknem mija setny cykl światła, a ludzki rój wciąż się przemieszcza: a bo przyszedł ważny SMS, a bo duża wskazówka jest już na dziewięć, a bo w Chinach kontenerów zabrakło... To ruch harmonijny, bo sterowany przez informację – której jesteśmy posłuszni, ale której nikt z nas tak naprawdę nie rozumie.



NATALIA POLASIK / MOONWATER.PL

Natalia Polasik „Let's Walk to the Moon”, 2018-2022 r.

Zanieczyszczone umysły

JĘDRZEJ GRODNIEWICZ

**Każdy z nas ma dziś dostęp do nieprzebranych zasobów informacji.
Niestety, nie zawsze sprawia to, że wiemy i rozumiemy więcej.**



→ **C**odziennie po drodze do pracy mijam ekran informujący o stanie powietrza w Krakowie. Zwykle w zimie, w lepsze dni widnieje na nim napis „umiarkowany”. Pod spodem żółty emotikon o zupełnie prostych ustach ani się cieszy, ani smuci. W gorsze dni buźka na ekranie jest czerwona i wyraźnie niezadowolona: „Normy stężeń pyłu zawieszzonego przekroczone. Stan powietrza zły”.

Zanieczyszczenie powietrza jest problemem dobrze znanym. Znanie są też jego konsekwencje: astma, niewydolność układu krążenia, niewydolność oddechowa, a to tylko początek długiej listy. Znacznie mniej wiemy o innym rodzaju zanieczyszczenia, które również utrudnia nasze codzienne funkcjonowanie i niesie ze sobą daleko idące konsekwencje. Chodzi o poznawcze zanieczyszczenie środowiska społecznego, w którym odbywa się wymiana wiedzy i informacji. Zanieczyszczenie to trudniej jest mierzyć i monitorować. A szkoda. Może dobrze byłoby czasem zobaczyć na ekranie swojego smartfona zatrzwożony, czerwony emotikon podpisany „Zanieczyszczenie poznawcze wysokie. W miarę możliwości pozostań offline”.

Wyprawa po oliwę

Dziedzina filozofii, która zajmuje się naturą, źródłami i ograniczeniami ludzkiej wiedzy, jest epistemologia. Sama jej nazwa pochodzi od greckiego słowa *episteme* oznaczającego wiedzę pewną i sprawdzoną, odmienną tym samym od potocznej opinii zwanej po grecku *doкса*. Ale czym konkretnie wiedza różni się od opinii? Od czasów Platona, który poruszał ten temat najobszerniej w dialogach „Menon” i „Teajtet”, aż do drugiej połowy XX w. najbardziej rozpowszechnioną i wpływową była tak zwana „trzyczęściowa definicja wiedzy”. Według niej wiedza jest (i) prawdziwym i (ii) uzasadnionym (iii) przekonaniem. Co to znaczy w praktyce?

Wyobraźmy sobie, że w trakcie przygotowywania sobotniej kolacji orientuję się, że skończyła się oliwa. Czy o tej porze uda mi się ją jeszcze gdzieś kupić? Przypuszczam, że sklep, w którym zawsze zaopatruję się w oliwę, jest już zamknięty, ale nie wiem tego na pewno – nigdy nie byłem tam późnym popołudniem w sobotę. Cóż, niestraszny mi krótki spacer. Kiedy docieram do sklepu, zastaję na drzwiach

kartkę z napisem „zamknięte” i widzę, że światło w środku jest zgaszone. Moje przekonanie, że sklep jest zamknięty, może być teraz uznane za wiedzę – jest prawdziwe (sklep naprawdę jest zamknięty) i uzasadnione (przekonałem się o tym sam, stojąc pod drzwiami). Oczywiście bezpośrednia percepcja nie jest jedynym – ani najlepszym – źródłem uzasadnienia naszych przekonań. Np. uzasadnieniem prawdziwości przekonań dotyczących obiektów matematycznych jest posiadanie przez nas popierających je dowodów, czyli ciągów rozumowań, które pokazują, że konkluzje wynikają z przyjętych przesłanek.

Trzyczęściowa definicja wiedzy święciła triumfy do drugiej połowy XX w. To, co doprowadziło do załamania jej dominacji, znakomicie ilustruje specyfikę rozwoju myśli filozoficznej. W 1963 r. nikomu nieznanemu amerykańskiemu filozofowi Edmundowi Gettierowi, pracującemu na niewielkim uniwersytecie w stanie Michigan, opublikował na ten temat króciutki, trzystronicowy artykuł. Poza wprowadzeniem, w artykule zmieściły się dwa kontrprzykłady do trzyczęściowej definicji wiedzy, których echo niesie się po współczesnej epistemologii do dziś. W obu przypadkach podmiot posiada prawdziwe i uzasadnione przekonanie niejako przez przypadek.

Zamiast przywoływać dosłownie przykłady Gettier’a, możemy sami skonstruować taki argument na podstawie historii mojego poszukiwania oliwy w sobotnie popołudnie. Jak pamiętamy, uznałem, że sklep jest zamknięty, ponieważ zobaczyłem, że światło jest zgaszone, a na drzwiach wisi kartka z napisem „zamknięte”. Założmy, że kiedy tam dotarłem, sklep faktycznie był zamknięty – moje przekonanie było zatem prawdziwe i uzasadnione. Jednak moja konkluzja mogła równie dobrze być fałszywa, ponieważ właściciele często zapominają zdjąć z drzwi kartkę z napisem „zamknięte”, a oszczędzając na prądzie, niemal ciągle siedzą przy zgaszonych światłach. Większość współczesnych epistemologów – uznając siłę argumentów Gettier’a – nie byłaby skora w tej sytuacji przypisać mi wiedzy, mimo że, czysto formalnie, spełniłem warunki trójczęściowej definicji. Posiadając te same informacje, które posiadam teraz, zbyt łatwo mógłbym z nich wyciągnąć fałszywy wniosek.

Argumenty Gettier’a dobitnie pokazują, że wiedza nie jest wcale łatwa do uzyskania – sam fakt, że wypowiadam lub myślę zdanie prawdziwe, nie gwarantuje jeszcze, że jestem w posiadaniu wiedzy. To raczej dopiero pierwszy z wielu warunków. Jeszcze bardziej wymagające jest osiągnięcie – pokrewnego wiedzy – zrozumienia. Żeby zrozumieć jakieś zagadnienie, musimy nie tylko posiadać wiedzę na temat opisujących je faktów, ale też w odpowiedni sposób uchwycić relacje, jakie między nimi zachodzą. Żeby zrozumieć przyczyny wybuchu I wojny światowej, nie wystarczy wiedzieć, że dane zdarzenia miały miejsce w konkretnym czasie. Trzeba również być świadomym zależności i wzajemnych powiązań między nimi. To znaczy, trzeba umieć odpowiedzieć nie tylko na pytanie „co się działo?”, ale także „dlaczego?”, „w jaki sposób?” i „co z tego wynikało?”.

Wiedza z drugiej ręki

Być może najważniejszą cechą przedsięwzięcia, jakim jest zdobywanie wiedzy i zrozumienia, jest fakt, że bardzo rzadko robimy to w pojedynkę. Gdybyśmy mogli polegać wyłącznie na informacjach, które zdobyliśmy samodzielnie, wiedzielibyśmy tylko ułamek tego, co wiemy teraz. To dzięki świadectwu innych osób wiem, że Huascarán znajduje się w Andach oraz że mitochondria zawierają DNA. Gdyby ktoś mi nie powiedział, nie wiedziałbym, czy wyniki moich badań krwi są w normie ani co dzieje się na wschodniej granicy Polski. Od ciekawostek, po informacje o zupełnie zasadniczym znaczeniu jesteśmy zależni od siebie nawzajem. Dlatego też zagadnienia związane z tzw. epistemologią indywidualistyczną, skoncentrowaną na prawdziwości przekonań i sile uzasadnienia posiadanego przez konkretną jednostkę, ustępują w ostatnich latach miejsca problemom „epistemologii społecznej”.

W idealnej sytuacji byłoby tak. Założmy, że chcę dowiedzieć się czegoś na temat rynku kryptowalut. W tym celu udaję się do osoby, o której wiem, że jest ekspertką w tej dziedzinie. Ekspertka ta nie tylko posiada zrozumienie i wiedzę na temat interesującego mnie zagadnienia, ale też jest skora, żeby mi je przekazać, ponieważ nie ma żadnego interesu w tym, żeby pozyskane przeze mnie informacje były fałszywe lub niepełne. Co więcej, ma ona niezrównane umiejętno-

ści komunikacyjne. Dzięki jej objaśnieniu nie tylko poznaję wszystkie istotne fakty na temat zagadnienia, które zgłębiał, ale także jestem w stanie uchwycić relacje zachodzące między nimi. Po krótkiej wymianie kurtuazji opuszczam moją informatorkę z nowo nabytą wiedzą i zrozumieniem oraz szerokim uśmiechem na ustach.

Jeśli powyższy opis wydaje nam się naiwny – niemal ironiczny – to dlatego, że jesteśmy świadomi, iż tego rodzaju idealne scenariusze należą do rzadkości. W większości sytuacji nieprawdziwy jest przynajmniej jeden element powyższego opisu. Po pierwsze, często trudno jest ustalić, kto faktycznie w danej sprawie zasługuje na status eksperta. Posiadanie takiego statusu wiąże się z wieloma korzyściami, jak choćby możliwością szerokiego propagowania swoich poglądów i interesów, dlatego zabiega o to wiele podmiotów o potencjalnie złych intencjach. Po drugie, nawet eksperci w danych dziedzinach rzadko posiadają na ich temat pełną wiedzę i zrozumienie. Ci z nich, którzy są najbardziej uczciwi, jasno to komunikują. Niestety, oczekiwania społeczne niejednokrotnie wypychają ekspertów na niebezpieczną ścieżkę uzupełniania braków swojej wiedzy siłą perswazji.

Jak zauważa Philip Tetlock w swojej książce „Expert Political Judgment”, zwykle eksperci, którzy lepiej wypadają w ocenie kompetencji według standardów naukowych, są mniej medialni, a tym samym mniej popularni wśród potencjalnych konsumentów ich wiedzy. Po trzecie, przekazywanie wiedzy jest zadaniem wymagającym ogromnych umiejętności. W szczególności musi być dostosowane do konkretnego odbiorcy i jego wiedzy bazowej. Przekazywanie zrozumienia danego tematu jest jeszcze trudniejsze. Nie wystarczy bowiem, żeby odbiorca dowiedział się, że dane informacje są prawdziwe. Musi też uchwycić zachodzące między nimi zależności, a to stanowi dodatkowe wyzwanie. Wie o tym każdy, kto próbował kiedyś odpisywać odpowiedź na pytanie otwarte w trakcie sprawdzianu z historii.

Nie daj się oszukać

W związku z wymienionymi problemami środowisko społeczne, w którym funkcjonujemy, jest – by użyć frazy zaproponowanej przez filozofa Neila Levya’ego – poznawczo zanieczyszczone. Je-



Przekazywanie wiedzy jest zadaniem wymagającym ogromnych umiejętności. W szczególności musi być dostosowane do konkretnego odbiorcy i jego wiedzy bazowej.

śli dziś brakuje nam wiedzy i zrozumienia, to zwykle nie dlatego, że nie mamy dostępu do informacji. Wręcz przeciwnie, na wyciągnięcie ręki mamy ich niemal nieprzebrane zasoby. Niestety, wiele z tych informacji jest wzajemnie sprzecznych, a wszystkie poparte autorytetem kogoś zabiegającego o status eksperta. Bardzo trudno jest zatem ocenić, w co wierzyć, czyje świadectwo przyjąć i czyimi wypowiedziami kierować się podczas podejmowania własnych decyzji.

Skoro trudno jest odróżnić ekspertów od osób, które tylko się za nich podają, może powinniśmy zaufać własnej intuicji i zdolności odróżniania prawdy od kłamstwa? Badania Charlesa Bonda i Belli DePaulo pokazują, że byłaby to bardzo zła strategia. Gdy chodzi o umiejętność rozpoznawania, czy jesteśmy oszukiwani, nasza skuteczność plasuje się w okolicach 54 proc. To znaczy, że niemal równie dobrze szłoby nam, gdybyśmy zamiast zastanawiać się, czy nasz rozmówca kłamie, podejmowali decyzję przy pomocy rzutu monetą (według jednego z popularnych wyjaśnień, dodatkowe 4 proc. wynika stąd, że niektóre kłamstwa bardzo łatwo przejrzeć).

Warto zauważyć, że eksperymenty, z których płynie ta pesymistyczna konkluzja, badały zdolność wyłapywania kłamców w trakcie konfrontacji z nimi twarzą w twarz. Dziś jednak większość informacji, na podstawie których staramy się wyrobić sobie zrozumienie danego tematu, pozyskujemy online. Jeśli trudno jest rozpoznać kłamstwo stojącej przed nami osoby, której mimikę czy intonację możemy na bieżąco obserwować, nasze szanse spadają niemal do zera, gdy informacja ta pochodzi na przykład od – nieznanego nam skądinąd – użytkownika @sprawdzonawiedzamedyczna na Twitterze.

Poznawcza niewydolność

Jak w takim razie funkcjonować w środowisku zanieczyszczonej poznawczo? Przede wszystkim musimy pogodzić się z faktem, że tak jak zbyt duża ilość pyłów zawieszonych prowadzi często do niewydolności oddechowej, tak samo natłok niesprawdzonych informacji prowadzi do niewydolności poznawczej. Wiedza i zrozumienie są dobrami tyleż wartościowymi, co trudnymi do osiągnięcia. I nie zmienia tego fakt, że dziś na każdym rogu, od Instagrama po aktualizowane co minutę serwisy informacyjne, ktoś próbuje nam sprzedać całe ich narzęcza. Fakt, że odpowiedź na niemal każde pytanie można sobie dzisiaj wygooglować, powoduje, że odczuwamy presję, by posiadać silne zdanie na każdy z bieżących tematów. Na początku marca tego roku doskonale ilustrował to mem przedstawiający mężczyznę zacierającego ręce nad swoim laptopem, podpisany „Byłem już ekspertem od epidemiologii, teraz mogę być od wojskowości”.

Jeśli chcielibyśmy na poważnie rozważyć problem poznawczego zanieczyszczenia naszego środowiska, powinniśmy zastanowić się, co tak naprawdę wiemy, a jakie informacje powielamy tylko dlatego, żeby sprostać oczekiwaniom społecznym. Zwłaszcza że oczekiwania te wygenerowane są w dużej mierze przez wielkie korporacje, które – nawet jeśli umożliwiają wymianę informacji – zyski czerpią z ruchu mierzonego w ilości kliknięć i czasu spędzonego w odpowiednich aplikacjach, a nie przyrostu wiedzy czy świadomości swoich użytkowników. Być może sama ignorancja nie jest cnotą, natomiast świadomość swojej ignorancji – już tak.

© JĘDRZEJ GRODNIEWICZ



Kuksańce w neuronach

KATARZYNA DZIADOWICZ

**Pozorna prostota impulsów nerwowych
może być myląca,
ale to one są podłożem wszystkiego, czego doświadczamy.**

Gdy ktoś próbuje przygotowanego przez nas obiadu, a my kątem oka dostrzegamy jego zmarszczony nos, atmosfera natychmiast się ochładza. Być może potrafimy zrozumieć, że nie ma w tym grymasie celowej złośliwości, może nawet nie czujemy się nim urażeni, ale na pewno wolelibyśmy go nie widzieć. Przede wszystkim dlatego, że stanowi dla nas konkretną informację: następnym razem (jeśli będzie następny raz) musimy skorzystać z innego przepisu.

Dzięki pracy naszego mózgu w ciągu kilku sekund rozeznajemy się w sytuacji i na nią adekwatnie reagujemy – tzn. nasze zachowanie jest pewną odpowiedzią na to, co się dzieje. Ten proces zachodzi tak płynnie, że traktujemy go jako przyrodzoną oczywistość. Jednak zaobserwowany grymas przy kolacji, który możemy potraktować jak dostępną natychmiast informację, z perspektywy naszego mózgu jest gigantycznym zbiorem serii impulsów wędrujących wieloma nerwami jednocześnie, rozprzestrzeniających się między odległymi obszarami mózgu. Oczywiście nie są oknami, przez które nasz mózg może zobaczyć wyraz twarzy albo słonia, ale narządami reagującymi na pewne właściwości fizyczne świata zewnętrznego i przekształcają je na „zrozumiałą” dla mózgu sygnał. „Zrozumiały” przynajmniej na tyle, na ile czyni nasze doświadczenia subiektywnie sensownymi.

Podaj dalej

W latach 20. XX w. Edgar Adrian i Yngve Zotterman próbowali uchwycić istotne cechy impulsów przemierzających nasze włókna nerwowe. Żywili nadzieję, że skoro impulsy te pobudzają do działania mózgu, to w dłuższej perspektywie takie obserwacje mogą pozwolić lepiej zrozumieć złożoność funkcji poznawczych człowieka.

Było już jasne, że „substancją” płynącą przez nerwy była elektryczność. Najprostszym sposobem demonstracji tego efektu było rażenie prądem zwierząt – w ten sposób łatwo było pokazać, że dostarczana z zewnątrz energia wprawia w ruch mięśnie, podobnie jak my robimy to „siłą woli”. Niedługo później poznano także strukturę sieci odpowiadających za rozprowadzanie tej energii po organizmie. Dziedzina optyki wciąż nakładała ograniczenia na obserwację najdrobniejszych struktur, ale zaprezentowana w 1873 r. przez Camilla Golgiego metoda barwienia tkanek solami srebra znacznie ułatwiła to zadanie. Kilkanaście lat później Santiago Ramón y Cajal tak przystosował ją do barwienia neuronów, że po raz pierwszy możliwe stało się wyraźne dostrzeżenie ich granic. Tym samym unoczniał się fakt, że układ nerwowy (w tym mózgu), jak cała reszta organizmu, składa się z oddzielnych komórek. A to inspirowało do tworzenia szczegółowych teorii zachodzącej pomiędzy nimi współpracy.

Charles Sherrington umieścił psy na specjalnej uprzęży, po czym kłui je w łapy i skrupulatnie analizował czas ich reakcji. Z jego obliczeń wynikało, że odruch odsunięcia łapy następuje wolniej, niż by mógł, biorąc pod uwagę znaną wówczas prędkość przewodzenia impulsu przez włókna nerwowe (po raz pierwszy oszacował ją Hermann von Helmholtz – z jego eksperymentów wynikało, że wynosi ona ok. 50 metrów na sekundę).

Dla układu nerwowego prędkość jest istotna, ale nie kluczowa. Występowanie dużych opóźnień pomiędzy działaniem bodźca a jego dotarciem do mózgu byłoby problematyczne, zwłaszcza dla takich zwierząt jak żyrafy. Jeszcze większym problemem byłoby jednak wytracanie energii gdzieś po drodze – tak mogłoby się stać, gdyby konstruować organizm, w którym siła impulsu słabłaby wraz z pokonywaną odległością (ponie-

waż nerwy nie byłyby dobrym przewodnikiem). Uszczypnięcie w stopę, jeśli w ogóle byśmy je poczuli, zawsze wydawałoby się łagodniejsze, niż takie samo uszczypnięcie w ramię. W ewolucyjnej historii wygrało rozwiązanie pośrednie – aksony, czyli włókna nerwowe, nie działają jak drut, po którym po prostu wędruje impuls, ale jak pasmo ogniw, po których ten impuls przeskakuje. Za pojedyncze ogniwa można uznać fragmenty aksonu pomiędzy przerwami w osłonce mielinowej – tłustym materiale izolacyjnym, który zwiększa przewodnictwo.

Aby w ogóle doszło do pobudzenia, coś musi sprawić, że neuron zostanie wytrącony z dotychczasowej równowagi. Zwykle jest to łączny wpływ sąsiadujących neuronów lub receptorów – jeśli one dostaną cynk, że czas zareagować, to mogą podnieść (a niektóre z nich obniżą) stężenie odpowiednich związków chemicznych w synapsach – „łączkach” występujących między neuronami czy neuronem i receptorem. Jeśli podniosą je wystarczająco, by przekroczyć próg pobudzenia kolejnego neuronu, to na początku jego aksonu dojdzie do wytworzenia tzw. potencjału czynnościowego. Ten z kolei uruchomi reakcje łańcuchową – różnice w stężeniu pewnych molekuł pomiędzy kolejnymi fragmentami aksonu będą przewodzić pobudzenie, odnawiając je z każdym „ogniwem”. Jeśli wszystko pójdzie zgodnie z planem, sygnał dotrze w niezmiennionej formie aż do kolejnej synapsy, gdzie będzie mógł spełnić swoją rolę informacyjną.

Na początku XX w. Sherrington stwierdził, że do zwolnienia przesyłu musi dochodzić właśnie na połączeniach między neuronami. Nie pomylił się – synteza substancji chemicznych w aksonie, ich oddziaływanie na dendryty (czyli część neuronu odbierającą sygnał) czy ich przetworzenie na odpowiednią reakcję zajmują czas. Dokładnie: mniej niż jedną →

→ pięćsetną sekundy. Sherrington nie wiedział jednak jeszcze, że komunikacja w synapsach (to on wprowadził to pojęcie) odbywa się na ogół na drodze chemicznej, dzięki takim substancjom jak serotonina czy dopamina. Dziś liczba rozpoznanych tych tzw. neuroprzekazników przekroczyła już sto, a tylko niewielka część neuronów, znajdujących się bardzo blisko siebie, odpuszcza sobie to chemiczne pośredniczenie i komunikuje się bezpośrednio za pomocą impulsów elektrycznych. Sherrington rozpoznał za to kilka fundamentalnych zasad: zaobserwował, że kilka słabych pobudzeń może dać reakcję odpowiednią dla jednego silniejszego, oraz że bodźce z różnych lokalizacji mogą docierać do tego samego neuronu i łącznie wpływać na jego pobudzenie.

Kropka w kropkę

Sposób, w jaki neurony realizują wszystkie te zasady, był jednak dla badaczy z początku XX w. niezbyt przejrzysty. Dotychczas udawało się przechwycić impulsy biegnące w nerwach, czyli wiązках aksonów, ale przez ich bliskość reakcje pojedynczych włókien łączyły się w jeden sygnał. A przez to nie dało się wyróżnić tej informacji, która docierała do kolejnego neuronu. Jednocześnie taka kumulacja uniemożliwiała określenie, jak dokładnie zmienia się odpowiedź aksonu w zależności od działającego na receptory bodźca. Edgar Adrian i Yngve Zotterman nie byli usatysfakcjonowani takimi danymi.

Pojedyncze włókna nerwowe ze względu na swoją wielkość były jednak trudne do wyekstrahowania bez uszkodzeń, a nie pomagało i to, że ich aktywności elektrycznej daleko do spektakularnej – występują w nich potencjały rzędu kilku mikrowoltów, trwające tysięczne ułamki sekund. Wydawało się, że ówczesna aparatura nie jest wystarczająco czuła, by umożliwić ich obserwację. Badacze musieli znaleźć na to sposób.

Obiektami eksperymentalnymi zostały żaby. Nie był to zresztą pierwszy raz, kiedy te płazy przysłużyły się rozwojowi tej dziedziny – jeszcze w XVIII w. rażenie ich nerwów prądem przez Luigiego Galvaniego zapoczątkowało przełom w rozumieniu działania nerwów. Niestety, tym razem nie obchodzono się ze zwierzętami mniej brutalnie. Adrian i Zotterman zostawili nad brzuchem żaby tylko niewielki kawałek skóry, do którego przypięli jedwabną nić. Napinała ona jeden

z mięśni skórnych w kończynie żaby – taki, który zawierał niewielką ilość włókien nerwowych, dzięki czemu łatwiej było go tak spreparować, by zostawić tylko jedno z nich. Następnie do włókna podpięto elektrodę, po czym wzmacniano sygnał i przy użyciu kilku przyrządów obserwowano, jak zmienia się napięcie w odseparowanym aksonie.

Zarejestrowane potencjały okazały się o tyle interesujące, że... w zasadzie wszystkie impulsy były takie same. Miały zarówno stałą wielkość, jak i czas trwania, niezależnie od siły działającej na mięsień. Neurony nie mają wielkiego wyboru – mogą przekazać pobudzenie dalej lub uznać je za zbyt słabe i nie przekazać go wcale. Jak to się zatem dzieje, że mogą przekazywać całe spektrum wrażeń o różnej intensywności?

Właściwość, która okazała się kluczowa, nie dotyczyła jednak impulsów, ale ich serii. Chodziło o częstotliwość – Adrian i Zotterman zaobserwowali, że wraz ze wzrostem intensywności bodźca (w ich eksperymencie – wzrostem siły naciągania mięśnia), wzrastała częstość występowania potencjałów czynnościowych.

Zidentyfikowana wtedy zasada „wszystko albo nic” do tej pory jest jedną z tych, którymi określa się sposób funkcjonowania układu nerwowego. Jednocześnie wskazuje się, że kodowanie oparte jedynie na częstotliwości nie dla wszystkich bodźców byłoby rozwiązaniem optymalnym, choćby ze względu na prędkość transmisji. Stąd zaczęto proponować modele, które uzupełniałyby te braki – np. poprzez przypisanie roli nie tylko częstotliwości występowania potencjałów czynnościowych, ale także konkretnemu momentowi ich pojawiania się. Zgodnie z tą hipotezą analizowanie tylko uśrednionego czasu przerwy pomiędzy wzbudzonymi potencjałami czynnościowymi sprawia, że tracimy jakąś część istotnych dla mózgu informacji dotyczących bodźca.

Posłuchaj obrazu

W naszym subiektywnym odczuciu aktywacji grup neuronów w pewnych obszarach mózgu przybierają formę obrazów, w innych z kolei dźwięków czy dotyku. Częstotliwość może odpowiadać za intensywność ich odczuwania, ale pomiędzy gorzkim smakiem potrawy ze zbyt dużą ilością czosnku a gorzkością czyje-

goś wyrazu dezaprobaty wobec naszego dania jest przecież różnica.

Nasz mózg uczy się rozpoznawać informacje zakodowane w potencjałach czynnościowych jako komunikaty dotyczące pewnej modalności zmysłowej – „widzi” to, o czym informacji dostarczają nerwy wzrokowe, i „słyszy” to, o czym informacji dostarczają nerwy słuchowe. Chociaż impulsy docierające do mózgu mają ten sam charakter, to pochodzą z różnych miejsc – każdy receptor, od którego najczęściej zaczyna się interakcja układu nerwowego ze środowiskiem, specjalizuje się w odbieraniu jednego rodzaju energii. Określone ośrodki w mózgu specjalizują się z kolei w odbiorze informacji powstałych w wyniku specyficznych pobudzeń – na przykład światła padającego na siatkówkę. Starając się nadać sens tej zagadkowej zdolności naszego umysłu, Johannes Müller w 1838 r. sformułował „prawo specyficznych energii nerwowych”, według którego różnorodność jakości zmysłowych miałaby mieć źródło w specyfice nerwów i być w jakimś stopniu niezależna od działającego na nie bodźca. Wahał się natomiast, czy ta specyfika wynika z cech samych nerwów, czy raczej ich lokalizacji.

Kiedy nie występują żadne komplikacje i rozwój organizmu pod żadnym rozpoznaniem względem nie odbiega od normy, te dwie cechy może być trudno w ogóle oddzielić – określone neurony wytworzą kluczowe połączenia w konkretnych obszarach mózgu, dendryty odbierają sygnały od odpowiednich receptorów i aksonów, a w konsekwencji określone obszary mózgu specjalizują się w interpretacji danych w określonej modalności zmysłowej. Zarówno kształt dendrytów, jak i utworzone przez nie połączenia synaptyczne są ściśle powiązane z funkcją, którą mają pełnić.

Czasem jednak czynniki zewnętrzne sprawiają, że mózg musi zmienić swoje pierwotne założenia.

W 2000 r. Jitendra Sharma wraz z zespołem chcieli się przekonać, czy można sprawić, by fretki przetwarzały sygnały świetlne częścią mózgu odpowiedzialną normalnie za słyszenie. U młodych fretek układ nerwowy jest jeszcze niedojrzały, więc zachowuje znaczną plastyczność. Badacze spowodowali, że u fretek w lewej półkuli mózgu nerw, którym biegną informacje od oka, stworzył połączenia z tą częścią mózgu, która normalnie

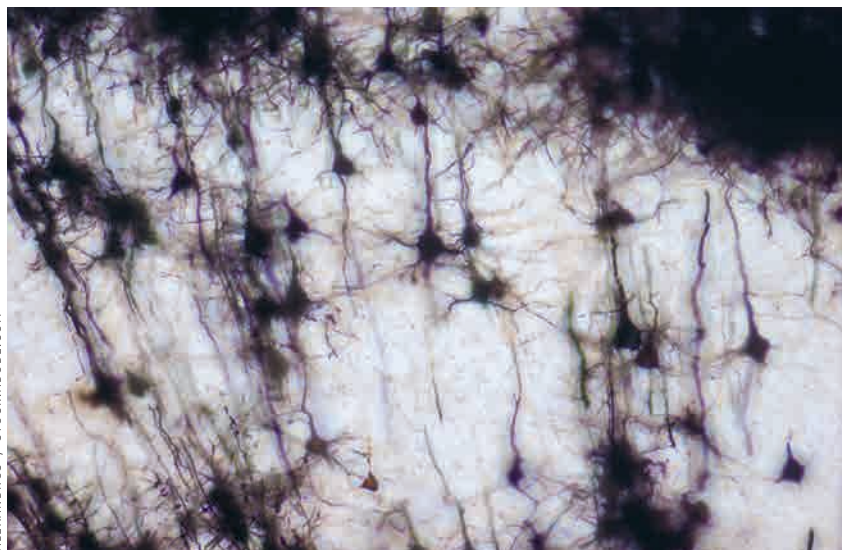
przetwarza sygnały dźwiękowe – a nie z korą wzrokową. Następnie nauczono zwierzęta, by za każdym razem, gdy zobaczą czerwoną lampkę, obróciły głowę w określony sposób. Przy czym uczone je tej zasady, wyświetlając obraz docierający do prawej półkuli, czyli tej, w której nie doszło do żadnego „przekablowania”.

Kiedy badacze upewnili się, że fretki opanowały tę umiejętność, zaprezentowali lampkę tak, by jej obraz mógł dotrzeć wyłącznie do lewej półkuli. Zastanawiali się, czy fretka zareaguje – w końcu informacje docierały do fragmentu mózgu, który normalnie interpretuje odbierane pobudzenia jako bodźce słuchowe. A jednak fretka obróciła się zgodnie z wyuczoną zasadą, czyli rozpoznała światło jako bodziec wzrokowy. Jej obszary kory słuchowej przyjęły niektóre cechy charakterystyczne dla kory wzrokowej, a nie występujące w korze słuchowej.

Aby obszary kory mózgowej przyjęły inne funkcje, niż te standardowo przypisane im przez naturę, nie zawsze potrzeba zresztą interwencji z zewnątrz. Zdarza się, że informacje nie docierają do kory wzrokowej np. w wyniku uszkodzenia któregoś z nerwów biegnących z oczu. Badania pokazują, że ten obszar przekwalifikowuje się wtedy na przetwarzanie informacji innego typu, jak choćby czytanie w języku Braille’a, ale jednocześnie zachowuje część funkcji wspólnych z osobami widzącymi – aktywuje się w reakcji na pewne dźwięki. Takie obserwacje tylko potwierdzają, że w mózgu cały czas mogą kształtować się nowe połączenia, ale część z nich jest silnie uwarunkowana genetycznie.

Razem raźniej

Swój wykład noblowski Edgar Adrian (otrzymał Nagrodę w 1932 r. wspólnie z Sherringtonem) rozpoczął od stwierdzenia, że narządy zmysłów „reagują na pewne zmiany w swoim otoczeniu, wysyłając wiadomości lub sygnały do ośrodkowego układu nerwowego”. Wyróżnienie pojedynczych jednostek pozwoliło uchwycić coś na kształt najmniejszego elementu znaczeniowego w „języku neuronów”. W połowie XX w. Claude Shannon rozpoczął intensywne poszukiwania tego, co zarówno w przyrodzie i nauce umożliwia dokonywanie przekształceń, np. głosu na impuls elektryczny. Doszedł do wniosku, że za każdym takim proce-



ALEXANDROS / STOCK.ADOBE.COM

Mysie neurony wybarwione metodą Golgiego. Impulsy odbierane są zazwyczaj przez mające kształt drzewa dendryty, a następnie długim aksonem przekazywane do kolejnych komórek.

sem stoją informacje – ich najmniejsze jednostki, nazwane bitami, mają być tym, co odróżnia jeden stan od drugiego. W takim rozumieniu praca pojedynczego neuronu stale dostarcza nowych danych, ale w praktyce nie jest szczególnie informatywna – nabiera jakiegokolwiek znaczenia dopiero w grupie. Dendryty zwykle nie odbierają takich informacji pojedynczo. To, czy próg pobudzenia neuronu zostanie przekroczony, jest wynikiem łącznego wpływu wielu receptorów lub aksonów, z którymi łączą się liczne odgałęzienia dendrytyczne. To, co zmierza aksonami do mózgu, to już pewna wypadkowa ich wzajemnej współpracy i dopiero ona, poprzez połączenia z kolejnymi komórkami, daje źródło wszystkim naszym doświadczeniom.

Kiedy dotkniemy gorącego garnka, silnie stymulowane receptory od razu przekażą pobudzenie dalej, by jak najszybciej dotarło do rdzenia kręgowego, skąd zostanie przekierowane bezpośrednio do neuronów ruchowych, które wprawiają nasze mięśnie w ruch. Dzięki temu cofniemy rękę, zanim w ogóle zdamy sobie sprawę z niebezpieczeństwa. Odruchy, które nie dają nam wyboru, są przetwarzane utartymi szlakami, z zaangażowaniem policzalnej na palcach jednej ręki liczby neuronów, ale to niewielka część naszych interakcji ze środowiskiem.

Częściej jednak nasze reakcje są wynikiem współpracy całych grup złożonych z milionów komórek nerwowych, z których każda niesie jakąś składową naszego

doświadczenia. W naszych czaszkach – puszkach o pojemności niewiele przekraczającej jeden litr – znajduje się przeszło 80 miliardów neuronów. Komórki nerwowe łącząc się, tworzą sieć około bilarda połączeń (10 do potęgi 15). Szacuje się, że do naszych zmysłów w każdej sekundzie dociera 11 milionów bitów informacji (niewiele więcej, niż może pomieścić staromodna dyskietka), niekwestionowana większość pochodzi ze zmysłu wzroku.

Zamykając oczy, możemy ograniczyć dopływ części bodźców, ale nie wszystkie zmysły na to pozwalają. A nawet gdybyśmy mogli, to wciąż nie wszystko – mamy jeszcze informacje zakodowane w naszym mózgu, które „na wrywki” są stale uwzględniane w ocenianiu sytuacji, formułowaniu poglądów i postrzeganiu otoczenia. Mózg pozbawiony pamięci jakiegokolwiek doświadczenia nie byłby w stanie pomóc nam w interpretacji takich wskazówek społecznych jak czyjś grymas. Gdybyśmy nie przyjmowali pewnej konwencji, która zakłada, że przygotowanie komuś posiłku jest aktem dobrej woli, który powinien zostać doceniony, nie moglibyśmy nawet się gniewać.

Skoro już mózg niefortunnie podsunął nam tę emocję, możemy przynajmniej spróbować przywołać z pamięci kilka wspomnień, kiedy nasz gość budził w nas inne uczucia – być może one pozwolą nam podjąć słuszną decyzję w kwestii kolejnego obiadu.

© KATARZYNA DZIADOWICZ

PROFESOR MICHAŁ KOSIŃSKI pracuje na Uniwersytecie Stanforda. Bada zachowanie ludzi z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi – algorytmów uczenia maszynowego i big data. Wykazał m.in., że ślady cyfrowe zostawiane przez użytkowników Facebooka pozwalają dokładnie przewidzieć wiele ich prywatnych cech, takich jak wiek, płeć, orientację seksualną, pochodzenie etniczne, poglądy polityczne i religijne, poziom inteligencji czy zadowolenia z życia. Jako jeden z pierwszych ostrzegął przed możliwością wykorzystania tak zdobytych informacji do manipulowania odbiorcami reklam politycznych.

ŁUKASZ KWIATEK: Zaskoczyło mnie, że udostępnia Pan publicznie swój kalendarz. Nie wierzy Pan w moc algorytmów, które nas śledzą w internecie, czy już się Pan poddał?

MICHAŁ KOSIŃSKI: Algorytmy, które śledzą nasze zachowanie, najczęściej ułatwiają nam życie. I nie ma od nich odwrotu. Trudno wyobrazić sobie, żebyśmy przestali korzystać z map Google'a czy wyszukiwarek i systemów rekomendacyjnych w internecie. A wszystkie te technologie opierają się na naszych danych i bez nich nie mogą funkcjonować.

Ale kalendarz? Dostaje Pan reklamy restauracji w porze obiadowej albo maile z pobliskiej kawiarni po zakończeniu wykładu?

Oczywiście. Dostają też reklamy, które świetnie odpowiadają temu, czym jestem aktualnie zainteresowany. Nie ma co się dziwić – to są komercyjne technologie i są wykorzystywane po to, żeby na nas zarobić. Zajmuję się badaniem tych technologii po to, by zrozumieć i opisać wynikające z nich zagrożenia. Ale nie mam wątpliwości, że w 99 proc. przypadków one ułatwiają i przedłużają nam życie. Ten sam algorytm, który może wyczuć, czym jesteśmy w danej chwili zainteresowani, i zaserwować nam reklamę, która nam najskuteczniej opróżni portfel, może być wykorzystany do tego, by pomóc nam zdiagnozować chorobę czy znaleźć optymalną dla nas pracę.

Wyglądam według Pana bardziej na liberała czy konserwatystę?



Jesteśmy skomplikowani

MICHAŁ KOSIŃSKI, PSYCHOLOG:

Możemy już mówić o zjawiskach psychicznych u sztucznej inteligencji. Algorytmy mają uprzedzenia i stereotypy albo zachowania, które w przypadku człowieka nazwalibyśmy emocjami. Bywają też gadatliwe.

Człowiekowi to nie tak łatwo ocenić, jednak algorytmy do rozpoznawania twarzy radzą sobie z takim zadaniem. Potrafią nas nie tylko zidentyfikować w wielu różnych zdjęciach, zrobionych na przestrzeni lat, przy różnej pogodzie i z różnych kątów. Są też w stanie, niestety, określić nasze bardzo intymne cechy –

takie jak poglądy polityczne czy orientację seksualną.

Jakim cudem?

Często nie będziemy rozumieli, jak algorytmy osiągają swoje cele – bo robią to zwykle w sposób, który dla nas nie jest intuicyjny albo jest na tyle zaawansowany,



ADAM STĘPIEW / AGENCIA WYBORCZA.PL

Michał Kosiński, Warszawa, 2019 r.

że może być niezrozumiały. Dobry przykład to algorytm szachowy. Nie tylko nie jesteśmy w stanie z nim wygrać, ale nawet nie jesteśmy w stanie wszystkich strategii tego algorytmu zrozumieć. Podobnie nie jesteśmy w stanie zrozumieć, jak działają nowoczesne algorytmy generujące język czy właśnie rozpoznające twarze.

Tylko że w szachach to problem czysto obliczeniowy. Mamy skomplikowaną pozycję, którą algorytm potrafi ocenić głębiej, umie przeprowadzić bardziej kompleksowe analizy najlepszych posunięć. Z czytaniem poglądów politycznych czy orientacji seksualnej z cech twarzy sytuacja jest przecież inna.

Absolutnie nie – to też skomplikowana sytuacja obliczeniowa. Zachowanie człowieka nie bierze się z magii czy jakiegoś małego homunkulusa, który siedzi w tyle

głowy i pociąga za sznurki. Nasze zachowanie, nasze poglądy czy preferencje, nasza osobowość, nasze wartości oparte są na chemii, „elektryce” i fizyce zwojów neuronowych, które mamy w głowach. Ludzie to bardzo skomplikowane, ale jednak maszyny, więc nasze zachowanie jest w dużej mierze przewidywalne. Jeśli ktoś się to wydaje *science fiction*, to proszę pamiętać, że praca psychologa polega na tym, by zanalizować przeszłe zachowanie człowieka i postarać się przewidzieć przyszłe – tak jak w przypadku systemu rekomendacji Netfliksa czy Amazona. Czy dana osoba będzie miała problemy z depresją? Czy sprawdzi się na danym stanowisku? Jaki film będzie chciała obejrzeć? To wszystko są zadania predykcyjne. Okazuje się, że dzisiaj algorytmy komputerowe, tak samo jak w szachach, potrafią przeskoczyć poziom osiągalny dla psychologa.

Nie znamy szczegółów działania tego algorytmu oceniającego twarze, ale wiemy, że to działanie opiera się na intuicyjnej zasadzie. Jeżeli weźmiemy twarz jakiegoś człowieka i porównamy ją z twarzami liberałów i konserwatystów, to okazuje się, że liberałowie są troszkę bardziej podobni do innych liberałów, a konserwatysty – do innych konserwatystów. To bardzo małe różnice – ale nowoczesne algorytmy są wspaniałe w wykrywaniu małych różnic. I są w stanie dzięki temu z dokładnością do 70-80 proc. zakwalifikować poglądy polityczne człowieka tylko na podstawie zdjęcia jego twarzy.

Opisał Pan ten wynik dwa lata temu w „Scientific Reports”. Dalej nie mieści mi się to w głowie. W przeprowadzonym przez Pana badaniu algorytm korzystał wyłącznie ze zdjęć twarzy? Nie zerkał przypadkiem na to, że ktoś pozuje z amerykańską flagą, z bronią albo z partnerem tej samej płci?

Zdarzało się, że ktoś źle wytrenował algorytm i pomylił się w ocenie tego, co faktycznie robi – ponieważ dane treningowe były błędnie dobrane. Jeśli damy algorytmowi np. zdjęcia smutnych, poważnych ludzi z policyjnych archiwów oraz uśmiechnięte selfie z mediów społecznościowych, a potem każemy mu zakwalifikować osoby na zdjęciach jako przestępców lub porządnych obywateli, to algorytm nauczy się odróżniać pomiędzy tymi rodzajami zdjęć i nieuśmiecha-

jących się ludzi uzna za przestępców. Ale nie znaczy to, że jeśli dobrze sformułujemy zadanie, to ten algorytm by sobie z nim nie poradził. Jeśli na zdjęciu jest informacja o tendencjach, preferencjach czy wartościach danej osoby – że nawet człowiek mógłby z niewielką dokładnością to zadanie wykonać – algorytm też sobie z nim poradzi, bo po prostu ma nad nami dużą przewagę.

Ludzie są w stanie ocenić, czy ktoś jest konserwatystą, czy liberałem, choć robimy to z dokładnością niewiele większą niż 50 proc., czyli taką, którą byśmy mieli przy ocenie losowej. Ale ten wynik pojawia się konsekwentnie w wielu badaniach. Nawet jeśli dokładność w ocenach ludzi jest niska, to potwierdza, że na zdjęciu jakiś sygnał musi być zawarty.

Mnie się to nie wydaje kontrowersyjne. Wiadomo, że konserwatyści mają inne podejście do mody. Inaczej spędzają wolny czas – słońce czy mróz będą inaczej wpływały na ich skórę. Liberałowie i konserwatyści mają też trochę inną kulturę, inne podejście do tego, czy na zdjęciu warto się uśmiechać, jak trzymać głowę, czy się ogolić, jak dużo makijażu nałożyć na twarz... Wszystkie te czynniki będą, choć w małym stopniu, różnicować liberałów i konserwatystów. Dla człowieka takie niewielkie sygnały mogą być niewidoczne – ale nie dla algorytmu.

Jak Pańskie badania postrzegają klasyczni psychologowie? Czy nie patrzą podejrzliwie na każdego, kto twierdzi, że jest psychologiem, ale nie stosuje kwestionariuszy i nie mierzy czasów reakcji na różne bodźce?

Ale ja jestem bardzo klasycznym psychologiem. Mam z psychologii doktorat, magisterium z psychometrii, drugie z psychologii osobowości. Spędziłem dużą część mojej kariery z kwestionariuszami i zegarkiem w rękę. Są to wspaniałe narzędzia, z których warto korzystać – i do dzisiaj to robię. Jednak to, że są inne źródła sygnału, które można wykorzystać, aby dowiedzieć się czegoś o człowieku, nie jest wcale wielką kontrowersją. Psychologowie zaczęli w ten sposób, że obserwowali zachowanie ludzi w naturalnym środowisku, często chodząc za obiektami badawczymi z małym notatnikiem i długopisem. Ale proszę sobie wyobrazić spędzenie dnia czy dwóch z gościem w białym kitlu, który za

→ panem siedzi i zapisuje wszystko, co pan robi. Nasze zachowanie nie będzie wtedy w pełni naturalne. Poza tym takie metody są drogie.

Dzisiejsza technologia spowodowała, że jesteśmy otoczeni czujnikami, które zapisują nasz każdy krok, naszą komunikację z innymi, o której idziemy do łóżka i z kim do tego łóżka idziemy, nasze zachowania w pracy... To jasne, że taki zbiór danych może być wykorzystany do lepszego zrozumienia danej osoby.

Czyli nie ma konfliktu między naukowcami od algorytmów i big data a klasycznymi badaczami?

Różnice w nauce oczywiście są – i dobrze. To wtedy, gdy w nauce nie ma konfliktów czy różnic zdań, należy się zastanawiać, czy nie osiedliśmy na laurach, dlaczego nie kwestionujemy poglądów wypracowanych w poprzednich pokoleniach. Z wykorzystaniem śladów cyfrowych do przewidywania zachowania było podobnie jak z wieloma nowymi koncepcjami w dziejach nauki. Zaczyna się od odrzucania i pukania się w czoło, a wkrótce dochodzimy do powszech-

nego przekonania, że to było zupełnie oczywiste i każdy to wie. Kilka lat temu wykorzystanie w psychologii takich algorytmów jak te, o których rozmawialiśmy, było kontrowersyjne. Dzisiaj już nie jest.

Trzeba pamiętać, że różne metody badawcze mają zastosowanie w różnych kontekstach. Metody, które ja stosuję, też mają swoje ograniczenia i są problematyczne – w swoich pracach także o tym piszę. Ale tak właśnie działa nauka – w oparciu o wiele niedoskonałych metod, które wdrażane są przez wielu niedoskonałych naukowców, jesteśmy w stanie przyjmować wiele różnych perspektyw i jakoś tę wiedzę powoli rozwijać.

Ciekawi mnie, czy rozkwit metod związanych z algorytmami jest spowodowany kryzysem, który dotknął psychologię – zwłaszcza psychologię społeczną. Upadają całe teorie, wyników wielu badań opisywanych w podręcznikach nie udaje się potwierdzić w kolejnych eksperymentach.

Nie mówiłbym o kryzysie – to naturalny proces samooczyszczania się psychologii. To raczej na te dyscypliny naukowe, w których do podobnych zjawisk nie dochodzi, należy patrzeć podejrzliwie. Jest wielu wspaniałych naukowców – takich jak Daniel Kahneman – którzy, gdy okazało się, że są w błędzie, potrafili się do tego przyznać i nie robili dramatu ze zmiany poglądów. Są oczywiście i tacy uczeni, nie tylko w psychologii, którzy będą bronili słabych teorii. To problem całej nauki, która działa tak, że naukowcy nagradzani są za tworzenie nowych teorii. W efekcie mamy tych teorii zbyt wiele.

Myslałem więc, że będzie Pan bardziej złośliwy w stosunku do kolegów, którzy nie korzystają z algorytmów. Wykazał Pan niedawno dzięki sztucznej inteligencji, że osoby żyjące w długich związkach nie upodabniają się z twarzy do partnerów, w co wcześniej wierzyło wielu badaczy. Gdy czyta się o sukcesach metod używanych przez Pana, to tradycyjna

Zostań Patronem Podkastu Powszechnego



Miesiąc
w nauce

Na przegląd najciekawszych wydarzeń naukowych miesiąca w Podkaście Powszechnym zaprasza kosmolog i filozof **Łukasz Lamża**, laureat Nagrody im. Tischnera.

Wejdź na [Patronite.pl/PodkastTygodnikaPowszechnego](https://patronite.pl/PodkastTygodnikaPowszechnego) i wesprzyj niezależne dziennikarstwo

*Po co człowiekowi sen?
Co pozostawiła po sobie woda
na Marsie? Czy da się naukowo
badać miłość od pierwszego
wejrzenia?*

OGŁOSZENIE WŁASNE WYDAWCY
FOT. GRAZYNA MAKARA

TYGODNIK
POWSZECHNY

FUNDACJA
TYGODNIKA
POWSZECHNEGO



PATRONITE

psychologia może się wydawać trochę zacofana.

Nie zgadzam się. Jeśli chodzi nam o badanie zachowania milionów ludzi korzystających z mediów społecznościowych, trudno byłoby to robić tradycyjną metodą kwestionariuszową czy zapraszając ich do laboratoriów. Ale jest oczywiście wiele rzeczy, których na Facebooku nie zaobserwujemy. Nie zapominajmy też o tym, że mamy za sobą przeszło sto lat rozwoju klasycznej psychologii. Wiele z tych najbardziej oczywistych badań laboratoryjnych zostało już wykonanych. A środowisko cyfrowe, badania wykorzystujące media społecznościowe czy telefony komórkowe to nowe rzeczy. W którą stronę się nie spojrzysz, jest coś nowego, ciekawego, czego ktoś nigdy wcześniej nie robił ze śladami cyfrowymi. Może się wydawać, że nowe metody rozwiązują problemy, których metody tradycyjne nie mogą rozwiązać. Wynika to jednak tylko z historycznej kolejności. Badania laboratoryjne rozwiązały już sto lat temu wiele problemów, których badania w mediach społecznościowych do dzisiaj by nie mogły rozwiązać.

W przeszłości skupialiśmy się na teoriach.

Były eleganckie, ale nie pozwalały nic przewidywać. Dzisiaj większy nacisk kładzie się na modele przewidujące zachowanie, które są mniej teoretyczne.

Tylko gdy porównujemy nowe metody oparte na algorytmach i te tradycyjne badania kwestionariuszowe czy laboratoryjne, to różnica nie dotyczy jedynie kosztów i ilości gromadzonych danych. Ważniejsze, że gdy ktoś rozmawia z psychologiem o sobie albo wypełnia kwestionariusz, to niekoniecznie powie prawdę. Ślady cyfrowe nie kłamią?

W jakimś stopniu też fałszują nasz obraz. Swoim wizerunkiem sterujemy zarówno podczas rozmowy z psychologiem, jak i spędzając czas w sieci. Zresztą w internecie możemy zachowywać się inaczej niż w kontakcie z żywym człowiekiem, więc jedno i drugie badania dotyczyć mogą innych zjawisk i zachowań.

Ale mnie w ostatnich latach nawet bardziej niż psychologia człowieka zainteresowała psychologia sztucznej inteligencji. Okazuje się, iż algorytmy uczenia maszynowego zrobiły się na tyle skomplikowane, że można dzisiaj mówić o czymś przypominającym zjawiska psychologiczne. Algorytmy mają uprzedzenia, stereotypy, zachowania, które w przypadku człowieka nazwalibyśmy emocjami. →

REKLAMA

WYDAJEMY DO MYŚLENIA



Nowa książka
Daniela Tammeta!

www.ccpres.pl

tel.: 12 448 14 12

zamowienia@ccpress.pl



www.facebook.com/CopernicusCenterPress

www.instagram.com/copernicuscenterpress

→ Algorytm może zmienić swoje działanie w interakcji ze środowiskiem. Można w ich przypadku mówić o teorii umysłu, może nawet osobowości. Sieci neuronowe odpowiedzialne za generowanie języka mają różne tendencje behawioralne – niektóre z nich są bardziej gadatliwe, inne mniej, część jest bardziej skłonna, by żartować, inna mniej. Te cechy na przestrzeni czasu i w wielu interakcjach są bardzo stabilne – co przypomina cechy osobowości człowieka.

Skąd te cechy psychologiczne biorą się u algorytmów?

Nie mamy jeszcze pełnej odpowiedzi. Z jednej strony algorytmy trenowane są na danych tworzonych przez człowieka. I jeśli w tych danych zawarte są nasze uprzedzenia, to algorytm może się ich nauczyć.

Z drugiej strony jest też tak, że nasze psychologiczne zachowania wynikają z samych właściwości sieci neuronowych, a niekoniecznie z naszej kultury czy edukacji. Przykładem jest zjawisko torowania semantycznego. Jeśli zapytam kogoś, co pije krowa, często odpowie, że mleko – a przecież tylko cielaki piją mleko. Obecność słów „krowa” i „pije” spowodowała aktywowanie sieci semantycznych w naszym mózgu, które obejmują słowo „mleko” – i stąd to słowo automatycznie się pojawia. Wiemy już dzisiaj trochę o neuronalnych aspektach tego zjawiska. Okazuje się, że to po prostu cecha sieci neuronowych, wynikająca z ich konstrukcji. I jeśli trenuje się sztuczne sieci neuronowe, by uczyły się języka, to one zachowują się w bardzo podobny sposób jak nasz mózg. Gdy sztuczna sieć usłyszy słowo „krowa”, neurony połączone ze słowem „mleko” też się zaczynają aktywować. Część mechanizmów psychologicznych u algorytmów może nie być więc kwestią uczenia się z danych.

Ale to nie jest tak, że algorytmy będą uprzedzone do psów – wolą kotki, bo te wydają im się bardziej miękkie i słodko wyglądają na zdjęciach?

Może dojść do takiej sytuacji. Procesy ewolucyjne, które stworzyły nasz mózg i nasze środowisko, opierają się na sprzężeniach zwrotnych. Może się więc okazać, że obecność różnych uprzedzeń jest cechą naturalną samych tych procesów, a nie tylko dla ludzkich umysłów. Wy-

Kiedys uważano, że jeśli ktoś jest smutny, ale zacznie się uśmiechać, to wkrótce poprawi się mu humor.

Dziś wiemy, że takie proste teorie nie są poprawne.

obrażmy sobie algorytm, który ma szukać ludziom pracy. I że w środowisku są dwie grupy osób tak samo zdolnych do wykonywania tej samej pracy. Ale któregoś dnia algorytm zupełnie losowo zatrudni 100 osób więcej z grupy A niż z grupy B. W przyszłości ten algorytm będzie patrzył na dane archiwalne i uzna, że jest więcej ludzi typu A wykonujących tę robotę – więc pewnie to oni bardziej się do niej nadają. W efekcie może się zmienić charakter tej pracy i charakter środowiska, w którym ona się odbywa. Może wręcz dojść do sytuacji, kiedy faktycznie grupa A będzie lepiej tę pracę wykonywała.

Badania z wykorzystaniem śladów cyfrowych mówią coś głębokiego o człowieku? Czy to nowa prawda, którą odkrywamy o sobie?

Nie jest to rewolucja, ale możemy mówić o postępie, pewnie coraz szybszym.

W przeszłości skupialiśmy się na teoriach. Były eleganckie, ale miały ograniczone możliwości przewidywania przyszłego zachowania. Dzisiaj większy nacisk kładzie się na modele przewidujące zachowanie, które są mniej teoretyczne. Moim zdaniem nie jest to duży problem – zamiast tworzyć teorie, które są eleganckie i mają coś wyjaśniać, ale niewiele przewidują, powinniśmy się skupić na modelach jak najskuteczniej przewidujących, by potem dopiero zastanawiać się, jak taki model przekuć w teorię. Mamy więc dzisiaj lepszą możliwość przewidywania przyszłego zachowania, ale nie idzie to często w parze ze wzrostem zrozumienia tego zachowania. Można powiedzieć, że to model czy komputer rozumie, a nie człowiek czy operator takiego modelu.

Trzeba też pamiętać, że model bardziej skomplikowany jest zwykle lepszy w przewidywaniu przyszłości niż model prosty. Zbliżamy się chyba do końca ery,

w której wskazywaliśmy dwa czy trzy czynniki połączone w prosty sposób. Uważano np., że jeśli ktoś jest smutny, ale zacznie się uśmiechać, to wkrótce faktycznie poprawi się mu humor. Dziś wiemy, że takie proste teorie nie są poprawne.

O takich teoriach myślałem pytając, czy Pańskie badania pokazują głęboką wiedzę o człowieku. Z badań prowadzonych w paradygmacie uciesnionego poznania, dzisiaj często krytykowanych, mogliśmy się dowiedzieć np., że gdy widzimy cudzy uśmiech, to aktywujemy te same mięśnie i struktury neuronalne jak w chwili, gdy sami się uśmiechamy. Te aktywacje na widok emocji innych są nieco słabsze, ale i tak miałyby świadczyć o tym, że jesteśmy powiązani ze sobą, a nasze relacje społeczne są głęboko wyryte w naszych mózгах. Pan z kolei pokazuje, że mamy wypisane na twarzy poglądy polityczne i że wystarczy kilkanaście lajków zostawionych na Facebooku, by nas na wiele sposobów sklasyfikować. Zastanawia mnie, co to znaczy – że jesteśmy bardzo złożonymi maszynami czy raczej prostymi?


Jesteśmy bardzo skomplikowani. Okazuje się, że różne nasze strony są bardziej powiązane, niż nam się to wydaje. Być może mówimy o subtelnych powiązaniach, ale rzeczywistość z takich subtelnych zjawisk się składa. Sądzę, że z zastosowaniem big data w psychologii jest trochę jak z mikroskopem w biologii. Słonia czy konia łatwo biologowi opisać bez dodatkowych narzędzi. Ale by stwierdzić, jak bakterie czy wirusy wpływają na zachowanie i zdrowie ludzi i ssaków, to już potrzebny jest mikroskop. By stwierdzić, że udział w działaniach wojennych powoduje stres i traumę, też nie potrzeba specjalnych narzędzi. Ale by ustalić, jak reklama w internecie czy gra komputerowa, w którą człowiek grał dwadzieścia lat temu, wpływa na jego zachowanie, potrzebne już są algorytmy i wielkie bazy danych.

Ciekaw jestem tylko, czy jesteśmy wystarczająco skomplikowani, byśmy to nasze skomplikowanie mogli zrozumieć. A może jednak musimy to zostawić algorytmom?



COPERNICUS FESTIVAL 2022

FESTIWAL ODBYWA SIĘ W KRAKOWIE. Wszystkie wydarzenia są bezpłatne i – poza zaznaczonymi wyjątkami – otwarte. W przypadku materiałów nagranych wcześniej podajemy czas publikacji i nazwę serwisu, w którym zostaną udostępnione.

Wydarzenia oznaczone  będą transmitowane na żywo na kanale [youtube.com/CopernicusCenter](https://www.youtube.com/CopernicusCenter) (pasma Perceptio, Wykład, Studio festiwalowe).

Wykłady wygłoszone w języku angielskim będą tłumaczone symultanicznie na język polski. Wykłady oznaczone  będą tłumaczone symultanicznie na język ukraiński. Więcej informacji na www.copernicusfestival.com

17 MAJA, WTOREK

17.00–18.00

Gala Mądrej Książki Roku 2021

Prowadzenie: Wojciech Wocław, Stanisław Kistryn
[Youtube.com/CopernicusCenter](https://www.youtube.com/CopernicusCenter)
(materiał nagrany)


18.00–19.00

Cricoteka (Nadwiślańska 2/4)
Oprowadzanie kuratorskie po wystawie „Z kurzu w kurz” oraz po Archiwum Tadeusza Kantora

19.30 – 20.30

Wykład: Michał Kosiński

Co można wyczytać z twarzy
[Youtube.com/CopernicusCenter](https://www.youtube.com/CopernicusCenter)
(materiał nagrany)

20.45–21.45 

Muzeum Inżynierii i Techniki (Świętego Wawrzyńca 15)
Studio festiwalowe

18 MAJA, ŚRODA

10.00–10.45

Śniadanie Mistrzów:

Jacek Gmoch
Prowadzenie:
Maja Strzelczyk
RMF Classic
[copernicusfestival.com](https://www.copernicusfestival.com)
(materiał nagrany)

11.00–11.30

Nauka czytania

Julian Tuwim, „Ptasie radio”
Prowadzenie: Diana Sałacka
[fb.com/CopernicusFestival](https://www.facebook.com/CopernicusFestival)
(materiał nagrany)

12.00–13.00

(Dla zgłoszonych liceów)
Lekcja czytania: Stanislas Dehaene, „Jak się uczymy”
Prowadzenie: Łukasz Kwiatek

14.00–15.00

Mądra Książka
Rozstrzygnięcie konkursu dla szkół średnich
Prowadzenie:
Wojciech Wocław
[fb.com/CopernicusFestival](https://www.facebook.com/CopernicusFestival)
(materiał nagrany)

15.00–16.00

Rozmowy o człowieku

Dominika Dudek,
Michał Rusinek
[fb.com/CopernicusFestival](https://www.facebook.com/CopernicusFestival)
(materiał nagrany)

16.30–17.45 


Muzeum Inżynierii i Techniki (Świętego Wawrzyńca 15)
Perceptio: De sensibus, a więc słów kilka o zmysłach
Rafał Piprek

18.00–19.00

Muzeum Inżynierii i Techniki (Świętego Wawrzyńca 15)
UNA Talk:
Digitalizing early childhood
(Dzieciństwo w świecie cyfrowym)
Andrew Manches

19.30–20.30  

Muzeum Inżynierii i Techniki (Świętego Wawrzyńca 15)
Wykład: Krystyna Kurczab-Redlich
Droga Putina do Ukrainy

20.45–21.45 

Muzeum Inżynierii i Techniki (Świętego Wawrzyńca 15)
Studio festiwalowe

19 MAJA, CZWARTEK

10.00–10.45

Śniadanie Mistrzów:
Wojciech Jagielski
Prowadzenie: Krzysztof Story

RMF Classic
[copernicusfestival.com](https://www.copernicusfestival.com)
(materiał nagrany)

11.00–11.30

Nauka czytania

Jan Brzechwa,
„Akademia Pana Kleksa”
Prowadzenie:
Bartosz Janik
[fb.com/CopernicusFestival](https://www.facebook.com/CopernicusFestival)
(materiał nagrany)

12.00–13.00

(Dla zgłoszonych liceów)

Lekcja czytania

Russell Poldrack,
„Nauka czytania w myślach”
Prowadzenie:
Mateusz Hohol

14.00–15.00


Mądra Książka

Spotkanie z laureatami konkursu
Prowadzenie:
Marta Trzeciak
[fb.com/CopernicusFestival](https://www.facebook.com/CopernicusFestival)
(materiał nagrany)

15.00–16.00

Rozmowy o człowieku

Dominika Dudek,
Piotr Chłosta
[fb.com/CopernicusFestival](https://www.facebook.com/CopernicusFestival)
(materiał nagrany)

16.30–17.45 

Muzeum Inżynierii i Techniki (Świętego Wawrzyńca 15)

→



Z kurzu w kurz

Wystawa będąca zbiorową opowieścią o archiwach. Mówi o wewnętrznym przymusie dokumentowania, katalogowania, zbierania i zabezpieczania informacji. Dotyczy pewnej obsesji, która daje poczucie bezpieczeństwa i tworzy

swego rodzaju symulację nieśmiertelności, ale też pozwala wziąć we władanie prawdę i rzeczywistość. Bo przecież każde archiwum jest jakąś kreacją, autorskim wyborem, a każda biblioteka ma skończoną liczbę książek i przez kogoś opracowany katalog.

Kuratorami wystawy są Kamil Kuitkowski i Kinga Nowak.

Cricoteka, ul. Nadwiślańska 2/4.
Wystawa jest już otwarta i potrwa do 22 maja. Zwiedzać ją można od czwartku do niedzieli, w godz. od 11 do 19.

→ **Perceptio:** Nie tylko światło.
Nowa era astronomii
Sebastian Szybka

18.00–19.00

Muzeum Inżynierii i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)

UNA Talk:

Growing up in a digital society
(Dorastanie w społeczeństwie
cyfrowym)


Laura Vandenbosch

19.30–20.30  

Muzeum Inżynierii
i Techniki (Świętego
Wawrzyńca 15)

Wykład: Michael Rovatsos
*Computation, intelligence,
and society*

(Obliczanie, inteligencja
i społeczeństwo)

20.45–21.45 

Muzeum Inżynierii
i Techniki (Świętego
Wawrzyńca 15)

Studio festiwalowe

20 MAJA, PIĄTEK

10.00–10.45

Śniadanie Mistrzów:

Jakub Zakrzewski
Prowadzenie: Tomasz Miller
RMF Classic
copernicusfestival.com
(materiał nagrany)

11.00–11.30

Nauka czytania

Stanisław Lem, „Opowieści
o pilotach Pirxie”

Prowadzenie: Łukasz Lamża
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

12.00–13.00

(Dla zgłoszonych liceów)

Lekcja czytania


Paul Davies,
„Milczenie gwiazd”

Prowadzenie:
Tomasz Miller

15.00–16.00

Rozmowy o człowieku

Dominika Dudek,
Wojciech Cegielski
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

16.30–17.45 

Muzeum Inżynierii i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)

Perceptio:

Czy na szachownicy
istnieje życie
Tomasz Miller

18.00–19.00

Muzeum Inżynierii i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)

Future Law Lab Talk:

Can a robot judge be fair?
(Czy sędzia-robot może
być sprawiedliwy?)


Michał Araszkiewicz

19.30–20.30  

Muzeum Inżynierii i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)

Wykład: Ewa Bartnik

Nasze geny – testy
i modyfikacje

20.45–21.45 

Muzeum Inżynierii i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)

Studio festiwalowe

21 MAJA, SOBOTA

10.00–10.45

Śniadanie Mistrzów:

Monika Soćko,
Bartosz Soćko
Prowadzenie: Filip Zieliński
RMF Classic
copernicusfestival.com
(materiał nagrany)

11.00–11.30

Nauka czytania

A.A. Milne, „Kubuś Puchatek”
Prowadzenie: Justyna Kierat
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

12.00–13.00

(Dla zgłoszonych liceów)

Lekcja czytania

Mai Thi Nguyen-Kim,
„Śmierć przy myciu zębów.
Chemia dla zabieganych”

Prowadzenie:
Małgorzata Krzeczowska

14.00–15.00


Mądra Książka

Spotkanie z laureatami
konkursu
Prowadzenie:
Marta Trzeciak
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

15.00–16.00

Rozmowy o człowieku

Dominika Dudek,
Marek Sanak
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

16.30–17.45 

Muzeum Inżynierii
i Techniki (Świętego
Wawrzyńca 15)

Perceptio:

Czy diabeł gra w kości?
Andrzej Dragan

18.00–19.00

Muzeum Inżynierii
i Techniki (Świętego
Wawrzyńca 15)

UNA Talk: *Historians
and artificial intelligence*

(Historycy i sztuczna
inteligencja)

Mikko Tolonen

19.30–20.30  

Muzeum Inżynierii
i Techniki (Świętego
Wawrzyńca 15)

Wykład: Artur Ekert

Inventio

Kiedy możemy uznać wystawę za dobrą? Interaktywna ekspozycja „Jak wam się podoba?” przygotowana w paśmie Inventio przez Maję Starakiewicz i Jakuba Woynarowskiego koncentruje się na prezentacji strategii gromadzenia i porządkowania informacji za pomocą narzędzi wizualnych.

Muzeum Inżynierii i Techniki,
ul. Świętego Wawrzyńca 15.
Wystawa otwarta w dniach
17-22 maja od 10 do 18. Wstęp wolny.

Elementami wystawy są nagrane
krótkie wykłady:

- Aleksandra Powierska, Czym karmimy algorytmy? O informacji w serwisach społecznościowych
- Joanna Zabawa, Obieg danych w cyfrowej przyrodzie, czyli gdzie

jest użytkownik w internetowym łańcuchu pokarmowym

- Kazimierz Krzysztofek, Świat w chmurze. Informacja jako piąty żywioł
- Tomasz Goban-Klas, Media-mediacyzacja-mediocen. Od tam-tamów do smartfonów
- Dorota Rak, „I cóż powie ta kruszyna?” – o czatbotowych blamażach dziesięciolecia



*Information is physical:
from bits to qubits*
(Informacja jest
fizyczna:
od bitów do kubitów)

20.45–21.45 
Muzeum Inżynierii
i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)
Studio festiwalowe

22 MAJA, NIEDZIELA


10.00–10.45
Śniadanie Mistrzów:
Jan Peszek
Prowadzenie: Paulina
Puślednik
RMF Classic
copernicusfestival.com
(materiał nagrany)

11.00–11.30
Nauka czytania
Mit o Dedalu i Ikarze
Prowadzenie:
Monika Tarasek
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

12.00–13.00
(Dla zgłoszonych liceów)
Lekcja czytania
Lyman Page,
„Mała księga kosmologii”
Prowadzenie:
Sebastian Szybka


14.00–15.00
Mądra Książka
Spotkanie z laureatami
konkursu
Prowadzenie:
Marta Trzeciak
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

15.00–16.00
Rozmowy o człowieku
Dominika Dudek,
Jowita Michalska
fb.com/CopernicusFestival
(materiał nagrany)

16.30–17.45 
Muzeum Inżynierii
i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)
Perceptio:
Co chcesz mi przez
to powiedzieć?
Magdalena Śmieja

18.00–19.00 
Muzeum Inżynierii
i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)
UNA Talk: Polifonia:
*a digital harmoniser for
musical heritage knowledge*
(Polifonia: ścieżka
dźwiękowa naszej historii)
Valentina Presutti

19.30–20.30  
Muzeum Inżynierii
i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)
Wykład: Daniel Tammet
*Every word is a bird
we teach to sing*
(Słowa są jak ptaki, które
uczymy śpiewać)

20.45–21.45 
Muzeum Inżynierii
i Techniki
(Świętego Wawrzyńca 15)
Studio festiwalowe

**WYDARZENIA
TOWARZYSZĄCE**
NIC, księgarnia-kawiarnia
(Sławkowska 28)

17–22 maja
Wystawa „Wojna
bliżej niż myślisz”
poświęcona Ukrainie

20 maja, godz. 20.30
Pokaz plenerowy filmu
„Propała gramota”
reż. Borys Ivchenko

21 maja, godz. 18.00
Ukraińsko-polski
koncert jazzowo-folkowy
artystów z Cho na pole!
oraz CreativeM

Festiwalowe Śniadanie Mistrzów

codziennie rano

W **RMF
CLASSIC**

Rozmowy
dostępne również na
rmfclassic.pl

Gdy sieć się rwie

WOJCIECH BRZEZIŃSKI

Na naszych oczach fundament naszej gospodarki i całego globalnego społeczeństwa rozpada się na drobne, odizolowane fragmenty. Nadchodzi koniec internetu, jaki znamy?

Splinternet – to słowo, które może definiować internetowe sieci przyszłości. Zamiast globalnego systemu wymiany informacji, opinii, towarów, pieniędzy i usług, ekosystem informacji może zmienić się w archipelag niezależnych wysp, tylko czasem wchodzących z sobą w kontakt.

Samo określenie, którego pierwszy członek pochodzi od angielskiego *split* (rozdzielić) lub *splinter* (drzazga), nie jest nowe. Zjawisko ma swoje źródła już u narodzin współczesnej sieci WWW. Ale w ostatnich latach procesy, które napędzają fragmentację internetu, wydają się przyspieszać. Nie tylko ze względu na działania autorytarnych reżimów, które tak jak Chiny dążą do spalenia większości internetowych mostów łączących je ze światem zewnętrznym i ściślego kontrolowania pozostałych. Przyczyniają się do tego również działania największych firm czy zachodnich państw i organizacji, nawet te podejmowane w najlepszej wierze.

Nie wszyscy są miłymi gośćmi

Sieć WWW miała u podstaw akademicką otwartość i przekonanie o tym, że dzielenie się sprawdzonymi danymi jest z korzyścią dla wszystkich. Nieprzypadkowo pierwszy serwer WWW został uruchomiony przez Tima Bernersa-Lee w międzynarodowym ośrodku badań fizycznych CERN pod Genewą, jednym z największych laboratoriów naukowych na świecie.

Architektura sieci ukształtowała się na początku lat 60., kiedy amerykańskie siły powietrzne poprosiły Paula Barana, urodzonego w Grodnie informatyka z RAND Corporation, o opracowanie wojskowej sieci komunikacyjnej, która mogłaby wytrzymać atak nuklearny. Baran zaproponował sieć bez centralnego węzła; zamiast tego informacje, dzielone na małe pakiety danych, byłyby przekazywane

z dowolnego miejsca w sieci do dowolnego innego przez wiele zdecentralizowanych rozdzielni lub routerów. Dzięki temu sieć była szybka i trwała, bo jej konstrukcja pozbawiała ją pojedynczego punktu ewentualnej awarii. Zniszczenie czy wyłączenie dowolnego łącza sprawia jedynie, że pozostałe routery muszą wypracować nową ścieżkę między punktem początkowym a docelowym.

Sieć zbudowana według schematu Barana wkrótce połączyła nie tylko bazy wojskowe, ale i ośrodki akademickie. I stała się czymś zupełnie innym, niż przewidywali jej pomysłodawcy. Otwartym kanałem komunikacji, do którego mógł dołączyć każdy.

„Na początku sieć działała w oparciu o duży poziom zaufania – mówił w 2011 r. magazynowi „New Scientist” Jon Crowfort z Uniwersytetu Cambridge. – Właśnie się połączyliśmy i zakładaliśmy, że wszyscy inni też są miłymi gośćmi”. Otwartość, zaufanie i decentralizacja były od początku wbudowane w DNA internetu. To one pozwoliły rozkwitnąć kreatywności i przedsiębiorczości, które zmieniły go w kręgosłup świata. Ale nie wszystkim były one w smak.

Wielka Chińska Zapora Ogniowa

Clyde Wayne Crews nie widział przyszłości przed internetem. Ówczesny dyrektor ds. technologicznych libertariańskiego think-tanku Cato Institute, w opublikowanym w 2001 r. w magazynie „Forbes” tekście wyobraził sobie sieć o innym kształcie. Zamiast jednego, wspólnego pola wymiany informacji – dziesiątki, setki czy tysiące „wszechświatów równoległych”. Zamiast anarchii – ścisłe reguły rządzące każdym z prywatnych internetyków.

„Kiedy masz zasoby publiczne, w których panuje anarchia, są zasadniczo dwie rzeczy, które możesz zrobić – albo uregu-

lować je, czego libertarianie nienawidzą, albo je sprywatyzować, aby firmy mogły ustalać własne zasady” – pisał Crews. W tym samym tekście jako pierwszy użył słowa „splinternet”.

Libertariański aktywista uważał swoją wizję za coś w rodzaju sieciowej utopii. Nie chcesz widzieć wokół siebie liberałów, konserwatystów, gejów, katolików, wegan, mięsożerców, czarnych, białych, Żydów? Nic prostszego, jeśli nawet jakaś firma nie stworzyła już splinternetu specjalnie dla Ciebie, możesz zrobić to samodzielnie i zacząć zarabiać na swoich uprzedzeniach. Jeśli w dzisiejszych bańkach informacyjnych w mediach społecznościowych jest nam ciasno, to splinternety Crewsa zafundowałyby nam informacyjne trumny, do których już zupełnie nie przedostawałyby się informacje z zewnątrz. „Ludzie przede wszystkim chcą kontaktować się z ludźmi podobnymi sobie” – kwitował w 2001 r. i, co pokazały ostatnie lata, niestety w tym jednym miał rację.

Kiedy Crews publikował swój komentarz, jeden kraj nad swoim splinternetem pracował już od trzech lat. Chiny uzyskały połączenie ze światowym internetem w 1994 r., trzy lata po Polsce. Początkowo zastrzeżony dla ośrodków naukowych, internet zdobywał tam stopniowo popularność, ale płynące z niego zagrożenia dla reżimu zostały dostrzeżone przez Pekin bardzo szybko.

W 1998 r. Komunistyczna Partia Chin zatwierdziła pracę nad systemem nadzoru i cenzury, znanym dziś jako Wielka Chińska Zapora Ogniowa. Projekt, którym kierował szef chińskiego Centrum Komputerowego Szybkiego Reagowania Fang Binxing, był rozwijany przez przeszło dekadę i kosztował od 2001 r. 20 mld dol. rocznie.

Dziś większość ruchu internetowego do Chin przechodzi przez trzy wąskie gardła



KEVIN FRAYER / GETTY IMAGES

Pomieszczenie treningowe autonomicznych taksówek Apollo Go, produkowanych przez Baidu, chińskiego giganta technologicznego. Pekin, kwiecień 2022 r.

wyposażone w urządzenia blokujące niepożądaną zawartość, a treści generowane w samych Chinach są pod stałą kontrolą automatycznych i żywych nadzorców. Chiński internet w zasadzie jest czymś w rodzaju gigantycznego intranetu – wewnętrznej sieci firmy czy organizacji.

Choć Chiny oddzieliły się od globalnego ekosystemu informacji głęboką fosą, ich sieć wciąż opiera się jednak na tych samych protokołach i technologiach. Podobnie zbudowane na zbliżonych zasadach wewnętrzne sieci Iranu czy Korei Północnej. Są osobne, ale ich odizolowanie wynika z polityki, a nie technologicznego rozłam. Przynajmniej na razie.

Ban na Rosję

Kluczową datą może okazać się 11 marca 2022 r. Tego dnia miały miejsce dwa wydarzenia, które mogą istotnie wpłynąć na przyszłość internetu.

Pierwszym był list skierowany przez władze Ukrainy do Internet Corpora-

tion for Assigned Names and Numbers (ICANN). To organizacja non profit zarządzająca globalnym systemem nazw domen (DNS), który jest czymś w rodzaju wielkiej książki adresowej internetu: DNS tłumaczy adresy IP, indywidualne identyfikatory wszystkich urządzeń czy serwisów działających w sieci, na rozpoznawalne dla użytkowników nazwy takie jak www.tygodnikpowszechny.pl.

W liście – i w drugim, bliźniaczym piśmie skierowanym do regionalnego rejestru internetowego dla Europy, Bliskiego Wschodu i Azji Środkowej (RIPE) – Ukraina domagała się unieważnienia rosyjskich domen takich jak .ru. W rezultacie rosyjskie strony *de facto* zniknęłyby z globalnej sieci.

Obie organizacje odrzuciły wnioski. Dyrektor generalny ICANN Góran Marby przestrzegał w swojej odpowiedzi, że „taka zmiana miałaby niszczący i trwały wpływ na zaufanie i użyteczność tego globalnego systemu”. Nawet gdyby

on się zgodził, nie jest jasne, czy decyzja ICANN miałaby jakikolwiek praktyczny skutek: organizacja nie ma prawnej władzy nad systemem nazw domen, a jej decyzje są akceptowane dobrowolnie przez operatorów internetowych. Wszystko, co dotyczy funkcjonowania sieci, wymaga globalnego konsensusu.

Rosja jednak woli nie czekać na to, aż taki konsensus się ukształtuje. Tego samego dnia, którego Ukraina skierowała wniosek do ICANN, decyzją wiceministra ds. cyfryzacji Andrieja Czernienki wszystkie strony i portale internetowe w Rosji zostały zobligowane do wdrożenia działań, które miałyby uczynić rosyjski internet odpornym na podobne sankcje – między innymi do przeniesienia danych do Rosji i korzystania z serwerów DNS fizycznie tam zlokalizowanych.

Ten zabieg mógłby potencjalnie pozwolić Rosjanom spalić mosty. Już teraz cały ruch sieciowy do i z Rosji jest kierowany przez 10 „posterunków granicznych” →

→ zarządzanych przez regulatora telekomunikacyjnego Roskomnadzor, który może blokować witryny uważane za nieprawomyślne. Przyjęta w 2015 r. rosyjska strategia bezpieczeństwa zawierała zalecenie wymiany zagranicznego sprzętu IT na krajowe odpowiedniki, a w maju 2019 r. Putin ogłosił powstanie RuNet, „suwerennej” sieci niezależnej od reszty świata.

RuNet w swoich założeniach jest bliźniaczo podobny do chińskiej Wielkiej Zapory Ogniowej. Opiera się na trzech filarach: sprzęcie monitorującym dane przesyłane w sieci, prawnej podstawie centralizującej kontrolę nad siecią w Rosji i wspomnianym już krajowym systemie DNS. Podobieństwo do chińskich rozwiązań nie jest przypadkowe: już w 2016 r. Rosję odwiedził Fang Binxing, który miał doradzać Rosji przy budowie RuNet.

24 grudnia 2019 r. Rosjanie mieli z powodzeniem przeprowadzić test odcięcia się od globalnego internetu. Rzeczywista skuteczność rosyjskich rozwiązań jest jednak nieznana, a wiele wskazuje na to, że odcięcie się od globalnej sieci będzie dla Rosji zdecydowanie trudniejsze, niż było dla Chin.

„Rosja aspiruje do naśladowania Chin, ale samym Chińczykom nie było łatwo. Nie sądzę, aby Rosja zainwestowała w to podobną energię. Istnieje sporo krajów, które chciałyby mieć to, co mają Chiny, ale po prostu nie mogą. Nie mają do tego ludzi” – mówił w „Wired” Doug Madory z monitorującej sieć firmy Kentik.

Odcięcie dostępu obywateli do nieprawomyślnych serwisów takich jak Facebook, Twitter czy Instagram jest stosunkowo proste. W różnym stopniu dostęp do serwisów czy aplikacji uznawanych za szkodliwe (np. stron pornograficznych albo propagandowych mediów rosyjskich) ograniczają nawet zachodnie demokracje. Rosja ma już też własne zamienniki zachodnich stron – VKontakte jest dla Rosji tym, czym Facebook, Google czy Uber Eats dla świata zachodniego.

Poważniejszym wyzwaniem byłoby zastąpienie infrastruktury, na której polega internetowa gospodarka. Chodzi zarówno o dostęp i aktualizację do popularnych aplikacji, takich jak Zoom czy Teams, jak i o moc obliczeniową gigantycznych, zachodnich centrów danych.

Amazon, Google czy Microsoft swoją pozycję zawdzięczają nie tylko popularności tworzonych przez siebie narzędzi czy usług, ale w ogromnym stopniu temu, że ich komputery obsługują miliony baz danych, aplikacji i serwisów tworzonych przez inne firmy. Chiny swoje odpowiedniki takich megaserwerowni tworzą od dziesięcioleci. Rosja w dużym stopniu musiałaby tę infrastrukturę stworzyć od początku. Chyba że pójdzie na skróty.

Wyścig o Afrykę

W czerwcu 2021 r. ówczesny brytyjski minister spraw zagranicznych Dominic Raab ogłosił, że Londyn przekaze 22 mln funtów na stworzenie afrykańskiego centrum operacji cybernetycznych, które miałyby zabezpieczyć sieć państw takich jak Nigeria, Rwanda, Etiopia i Ghana przed cyberatakami i cyberprzestępczością. Centrum miałoby być sposobem na wciągnięcie Afryki do gry o przyszłość internetu po stronie Zachodu. Ale znaczna część tego kontynentu wybrała już innego partnera.

Chiny od dziesięcioleci inwestują w Afryce miliardy – także w rozbudowę tamtejszej infrastruktury komputerowej. Pekin planuje położyć podmorskie kable wzdłuż zachodnich i wschodnich wybrzeży Afryki, aby zapewnić dostęp do internetu wcześniej zaniebanym miastom i wioskom. Chiński kabel SAIL już dziś łączy Afrykę z Ameryką Południową, a PEACE – z Azją.

Tyle że internet, do którego chcą Afrykanów podłączyć Chińczycy, ma być zbudowany na ich modłę. Ma być ograniczony i pozostawać pod kontrolą państwa – oraz Chin. Dla jednych krajów uznanie chińskiej cyfrowej zwierzchności to niska cena za darmową infrastrukturę. Dla innych kontrola własnej populacji jest wartością samą w sobie.

„Każdy obóz ideologiczny stara się zbudować masę krytyczną poparcia, rekrutując dla swojej sprawy niezdecydowane państwa” – piszą Marjorie Buchser i Joyce Hakmeh z brytyjskiego think-tanku Chatham House. „Wciąż są one w trakcie rozwijania swojej infrastruktury cyfrowej i określenia tego, jakie ramy regulacyjne i etyczne będą stosować. Jednak wybory polityczne dokonywane przez te kraje mogą mieć duży wpływ na kierunek międzynarodowego zarządzania cyfrowego w przyszłości”.

Poza Rosją kluczowym dla przyszłości globalnej sieci państwem mogą okazać się Indie, które, po początkowym okresie budowy wolnego, otwartego internetu, dziś coraz szybciej zwracają się w stronę cyfrowego autorytaryzmu. Tylko w 2018 r. władze w Delhi ponad stukrotnie wyłączyły dostęp do sieci na różnych obszarach kraju w odpowiedzi na niepokoje, strajki i zamieszki. W Kaszmirze internet został odłączony na kilka miesięcy w ramach pacyfikacji zamieszkującej region ludności muzułmańskiej.

Upowszechnienie autorytarnej formy zarządzania internetem byłoby cyfrowym odpowiednikiem żelaznej kurtyny z czasów zimnej wojny – podziału nie między Zachodem a Wschodem, tylko między krajami o swobodnym dostępie do informacji a tymi, gdzie sieć jest jeszcze jednym narzędziem aparatu kontroli i ucisku. Dla Moskwy przyłączenie się do chińskiej sieci mogłoby być sposobem na szybkie uniezależnienie się od Zachodu, paradoksalnie kosztem części cyfrowej niezależności.

Surfowanie w izolacji

Zachód sam ma jednak problemy ze spójnością swojej sieci. Coraz wyraźniej widać różne wizje jej przyszłości, jakie roztaczają politycy w Europie i USA. Unia, za pośrednictwem takich aktów prawnych jak RODO czy przygotowywane rozporządzenia o cyfrowych usługach i cyfrowych rynkach, dąży do wyznaczenia granic, zarówno dotyczących praktyk biznesowych, jak i ochrony użytkowników, w jakich musieliby działać wszyscy dostawcy usług w UE. W odpowiedzi część amerykańskich serwisów – m.in. należących do amerykańskiej lokalnej prasy – wolała odciąć Europejczyków od swoich usług, niż spełnić wymogi Brukseli.

Za inną rysę w spójności odpowiadają jednak sami internetowi giganci. Na swój sposób, małymi kroczkami, przyczyniają się do fragmentacji sieci, budując własne ekosystemy usług niekompatybilnych z usługami konkurencji, łącząc kontynenty prywatnymi światłowodami, ale też próbując przekuć swoją siłę biznesową na polityczną. Bitwa między Facebookiem i Google z jednej strony a rządem Australii z drugiej o opłaty, jakie cyfrowi giganci powinni wносить na rzecz mediów, których arty-

kuły cytują, niemal skończyła się odcięciem całej populacji kontynentu od najpopularniejszych na świecie internetowych serwisów.

Według Milтона Muellera ze School of Public Policy w Georgia Institute of Technology faktyczny rozpad sieci może przybrać jedną z dwóch form. „Poważne rozbitcie internetu wiązałoby się z wprowadzeniem nowego, technicznie niezgodnego protokołu, używanego przez masę krytyczną światowej populacji” – uważa ekspert. Protokoły internetowe, dziś wspólne dla wszystkich podpiętych do sieci urządzeń, regulują to, jak maile, wiadomości, zdjęcia i przelewy wędrują przez routery, przełączniki, światłowody i radiowe łącza. Ten rodzaj rozbitcia nie byłby jednak jeszcze ostatecznym kataklizmem. „Specjaliści prawdopodobnie znaleźliby sposób na szybkie połączenie obu protokołów” – zaznacza Mueller.

O wiele większym problemem byłoby nie technologiczne, a polityczne rozbitcie sieci. Dziś zarządzanie globalnym internetem opiera się na delikatnym systemie zależnym od dobrowolnego konsensusu.

Indie oraz szybciej zmierają w stronę cyfrowego autorytaryzmu.

W 2018 r. władze ponad stukrotnie wyłączyły dostęp do sieci na różnych obszarach kraju w reakcji na zamieszki.

Jeśli Chiny, Rosja i inne kraje ustanowią własne, rywalizujące z globalnymi organami zarządzające siecią, w tym własne „książki adresowe” DNS, tylko nowe globalne porozumienie mogłoby odbudować jedność sieci. Era połączonego świata dobiegłaby końca.

Dziś internet, mimo lokalnych ograniczeń i obostrzeń, działa według zasad, które kształtowały się od dziesięcioleci. Jest połączonym zbiorem ponad 32 tys. sieci prowadzonych przez rządy, firmy, uczelnie, które rozmawiają jednym językiem i stosują się do wspólnych zasad. Ale rysy stają się coraz głębsze. Ukraiński konflikt i rosyjska próba zamknięcia własnym obywatelom dostępu do rzetelnych informacji o zbrodniach mogą okazać się punktem zwrotnym, po którym globalna, otwarta czy choćby półotwarta sieć wymiany informacji ostatecznie się rozpadnie. A my też obudzimy się na jednej z dryfujących po oceanie informacji niezależnych gór lodowych. Może nawet największej, najbardziej przyjaznej, ale w dalszym ciągu odizolowanej od znacznej części świata.

© WOJCIECH BRZEZIŃSKI

REKLAMA

Polskie Towarzystwo Reasekuracji S.A. wspiera rozwój polskiego rynku ubezpieczeniowego.
Świadczyliśmy usługi reasekuracyjne już na wszystkich kontynentach.

W tym roku PTR S.A. kolejny raz
jest sponsorem Copernicus Festival



POLSKIE
TOWARZYSTWO
REASEKURACJI

A FAIRFAX Company



COPERNICUS
FESTIVAL

Ubezpieczamy ubezpieczycieli



PROFESOR ARTUR

EKERT (na zdjęciu obok) pracuje na Wydziale Matematyki Uniwersytetu Oksfordzkiego. Studiował na Uniwersytecie Jagiellońskim. Jest współtwórcą teorii kryptografii kwantowej, która łączy takie dziedziny jak mechanika kwantowa, matematyka, logika i informatyka. Jego prace teoretyczne mają fundamentalne znaczenie dla budowy bezpiecznej, niemożliwej do podsłuchania komunikacji. Nagrodzony m.in. Medalem Hughesa, przyznawanym przez Towarzystwo Królewskie w Londynie. Jeden z głównych gości tegorocznego Copernicus Festival.

skie albo żółte – to kategoria koloru. Te same klocki mogą mieć określony kształt, np. kostki albo walca, mogą też różnić się swoim położeniem na stole albo prędkością przesuwania się po nim. Jedna taka własność jest zupełnie niezależna od drugiej i możemy je swobodnie modyfikować.

Okazuje się, że fundamentalne „klocki”, z których składa się materia – czyli cząstki elementarne – są znacznie dziwniejsze. Mechanika kwantowa mówi nam, że niektóre z ich podstawowych własności są „komplementarne”. Oznacza to, że im więcej wiemy o jednej z cech, tym mniej wiemy o drugiej. Na przykład, kiedy poznamy pęd elektronu (czyli pewną wielkość powiązaną z prędkością), to jego położenie będzie zupełnie nieokreślone. I odwrotnie, wiedząc dokładnie, gdzie zlokalizowany jest elektron, musimy przyjąć, że nie ma on żadnego konkretnego pędu.

Choć mogłoby się wydawać, że zawsze możemy zwiększyć precyzję jakiegoś pomiaru i zmierzyć daną cechę dokładnie, mechanika kwantowa mówi nam, że nie możemy zwiększać równocześnie dokładności pomiaru własności komple-

mentarnych. To słynna zasada nieoznaczoności Heisenberga.

Ulotne stany

Pozostaje jednak pytanie, jakie są własności cząstki „tak naprawdę”, kiedy nikt (ani nic) nie próbuje ich zmierzyć.

Sęk w tym, że kwantowe cząstki w ogóle nie mają określonych cech, kiedy są pozostawione same sobie. Każdy pomiar elektronu zwróci nam pewną losową wartość położenia i pędu, w ramach pewnego przedziału nieoznaczoności. Ale owa nieoznaczoność nie wynika tylko z niedoskonałości naszego urządzenia pomiarowego. Możemy się o tym przekonać, zwiększając dokładność pomiaru położenia i patrząc, jak równocześnie „rozjeżdżają” nam się wyniki pomiaru pędu. Przeprowadzono wiele eksperymentów sprawdzających zasadę nieoznaczoności Heisenberga i w każdym przypadku okazywało się, że faktycznie tak się dzieje.

No dobrze, ale jednak w każdym pojedynczym doświadczeniu dostajemy konkretny wynik – nasze „dane wyjściowe”. Przypisujemy mu nieoznaczoność dopiero *post factum*, uśredniając po wielu wynikach takich samych pomiarów i uwzględniając znaną nam dokładność aparatury. Mechanika kwantowa tego nie kwestionuje – zakłada ona, że bezpośrednio po pomiarze, który np. wykazał, że cząstka jest w punkcie x , cząstka $r z e c z y w i ś c i e$ jest w punkcie x . Prowadzi to do zaskakującego wniosku, że pomiary cząstek kwantowych nie tyle ujawniają ich własności, co je $k r e u j a$! Jak współczesna fizyka opisuje ów sprzeczny ze zdrowym rozsądkiem świat kwantowy?

Cząstce kwantowej przypisujemy pewien stan. Zawiera on maksymalną informację na jej temat, jaką możemy odczytać. Poznajemy jej fragmenty, dokonując pomiaru wybranej cechy, np. położenia albo pędu elektronu. Sam stan elektronu nie jest jednak ani położeniem, ani pędem – koduje on wszystkie możliwe wyniki pomiarów wszystkich cech, wraz z prawdopodobieństwem ich zaistnienia. Stan kwantowy pojedynczej cząstki jest zatem czymś bardzo ulotnym. Jeżeli jednak mamy do dyspozycji wiele cząstek kwantowych w takim samym stanie, to możemy ten stan odtworzyć z dowolną dokładnością. Co więcej, mechanika kwantowa umożliwia nam rów-

nież przygotowanie konkretnego stanu układu kwantowego.

Blaski i cienie bitów

Tym sposobem dotarliśmy do koncepcji informacji kwantowej. Jest ona po prostu stanem danego kwantowego układu fizycznego. Jej podstawową jednostką jest kwantowy bit, czyli kubit, a więc stan, który ma tylko dwie rozróżnialne cechy. Innymi słowy, dowolny pomiar kubitu może nam zwrócić tylko dwie wartości, 0 albo 1, ale sam kubit jest „niezdecydowany” i koduje prawdopodobieństwa uzyskania zera lub jedynki.

Fizycznie kubit można zakodować na wiele różnych sposobów, np. poprzez „kierunek falowania” pojedynczego fotonu, czyli tzw. polaryzację. Ma ona dwa stany bazowe: polaryzacja horyzontalna i wertykalna, które można rozróżnić przy pomocy polaryzatora. Kubity koduje się również poprzez stany energetyczne atomu, stany spinowe jąder atomowych albo pozycje elektronów w półprzewodnikach.

Wydawać by się mogło, że owo niezdecydowanie kwantowych bitów jest niepożądane z punktu widzenia przetwarzania informacji. Ma ono jednak również swoją jasną stronę stanowiącą podstawę kwantowej kryptografii, której pionierami byli Charles Bennett i Gilles Brassard. Skoro bowiem pomiar kubitu kreuje konkretny wynik 0 lub 1, to znaczy, że informacja w nim zakodowana ulega zmianie. Rzecz jednak w tym, że jeśli jakiś intruz spróbuje przechwycić przesyłaną informację, to zawsze pozostawi po sobie wyraźny ślad, który odbierający może zobaczyć.

Co ciekawe, mechanika kwantowa zabrania również samego skopiowania informacji kwantowej, bez jej odczytania. Próba „sklonowania” stanu kwantowego skończy się niepowodzeniem i w dodatku również zostawi po sobie ślad. Na tę fundamentalną własność, zwaną zakazem klonowania informacji kwantowej, natknął się już w 1970 r. James Park, a wkrótce potem Stephen Wiesner wpadł na pomysł użycia owego zakazu do stworzenia niepodrabialnego „kwantowego pieniądza”. Ich idee wyprzedzały jednak swoją epokę, a pełne konsekwencje zakazu klonowania zostały zrozumiane dopiero ponad dekadę później za sprawą prac Dennisa Diecksa, Williama Woottersa i Wojciecha Żurka.

Co dwa kubity, to nie jeden

→ Zaraz, zaraz – ale z tego, że nie możemy zmierzyć jakiejś własności cząstki lub innego układu fizycznego, nie wynika jeszcze, że owa własność w ogóle nie istnieje. Być może problem jest z samą mechaniką kwantową, która daje tylko pewien przybliżony opis zjawisk, a nie z samym światem? A co, gdyby istniały jakieś „ukryte zmienne”, determinujące własności cząstek, których mechanika kwantowa nie uwzględnia? Podważałoby to bezpieczeństwo kwantowych protokołów kryptograficznych, bowiem intruz mógłby mieć lepszą teorię fizyczną i owe ukryte zmienne wykorzystać do bezszelestnego przechwycenia informacji.

Taki pogląd konsekwentnie wyznawał Albert Einstein, twierdząc, że mechanika kwantowa działa bardzo dobrze, ale jest zbyt uboga, by opisać pełną naturę zjawisk w mikroświecie. Twierdził on, że losowość wynikająca z kwantów jest w istocie pozorna, a każdy pomiar jedynie ujawnia pewną głęboko schowaną własność układu. Einstein opierał swój pogląd na analizie układu dwóch cząstek kwantowych, które – jak się okazuje – zachowują się zupełnie nieintuicyjnie.

Na początku lat 30. XX w. Erwin Schrödinger, odkrywca podstawowego równania rządzącego dynamiką stanów kwantowych, zorientował się, że istnieją takie stany kwantowe, dla których zachowanie układu dwóch cząstek jest bardziej przewidywalne niż każdej z osobna. Schrödinger w swojej publikacji z 1935 r. nazwał te stany „splęcionymi” – dziś mówimy o nich: stany splątane. W tym samym roku Einstein wspólnie z Borisem Podolskim i Nathanem Rosenem opublikowali głośny artykuł zawierający analizę eksperymentu myślowego na układzie dwóch cząstek splątanych, które zdają się komunikować w sposób natychmiastowy. Jeżeli cząstka A uzyskuje jedną z własności, które zgodnie z zasadą Heisenberga nie mogłyby współistnieć, to cząstka B natychmiast uzyskuje tę samą własność. Einstein argumentował, że takie natychmiastowe uzgodnienie stanów jest niemożliwe (bo musiałoby się dokonać z nieskończoną prędkością, czego zabrania teoria względności). A to oznacza, że obie cząstki od początku musiały już mieć daną własność, tylko formalizm kwantowy nie potrafi jej wydobyć.

Należy tu jednak podkreślić, że tego natychmiastowego uzgadniania stanu nie

W 2019 r. na procesorze kwantowym

Sycamore dokonano pewnej operacji, która według oszacowań najmocniejszym klasycznym komputerom zajęłaby przeszło 10 tys. lat.

da się wykorzystać do komunikacji szybszej od prędkości światła. Rzecz w tym, że własności cząstek ujawniają się w pomiarze w sposób losowy. Innymi słowy, to sam układ „decyduje”, która własność ujawni się w pomiarze. Zagadkowość stanów splątanych polega zatem na tym, że choć układ dwóch cząstek ma ściśle określony stan, to własność żadnej z indywidualnych cząstek nie istnieje. Typowym przykładem stanu splątanego dwóch kubitów jest kombinacja: oba kubity są w stanie 0, albo oba z nich są w stanie 1. Całość jest jednak niezdecydowana i ustala się losowo dopiero w momencie pomiaru.

Choć okazuje się, że kwantowe splątanie nie stoi w sprzeczności z zasadami teorii względności, to podstawowy zarzut Einsteina pozostaje w mocy: to, że mechanika kwantowa nie potrafi nam udzielić konkretnej, nie-losowej, odpowiedzi na temat własności cząstek, nie oznacza, że tych własności w ogóle nie ma. Jednak w 1964 r. John Bell przedstawił bardzo proste twierdzenie matematyczne, które otworzyło drogę do faktycznej realizacji eksperymentu myślowego Einsteina–Podolsky’ego–Rosena, a już w latach 70. przeprowadzono teksty eksperymentalne według przepisu Bella. Również i najnowsze wyniki eksperymentalne nie pozostawiają żadnych wątpliwości: Jeśli tylko możemy swobodnie dobierać ustawienia urządzeń (nasze „dane wejściowe”), to możemy uzyskać korelacje wyników (czyli „danych wyjściowych”) niemożliwe do osiągnięcia przy użyciu żadnych klasycznych ukrytych zmiennych.

Kwantowy internet

Istota twierdzenia Bella zasadza się na tym, że nie zakłada ono prawdziwości mechaniki kwantowej. Mówi jedynie o tym, że jeśli istnieje jakakolwiek teoria zmiennych ukrytych opisująca cząstki, to prawdziwa będzie pewna nierówność matematyczna. Eksperymenty pokazują zaś dobitnie, że nierówność ta jest łamana. Nawet więc jeśli mechanika kwantowa zostanie kiedyś zastąpiona inną dokładniejszą teorią, to w jej ramach cząstki wciąż nie będą miały własności niezależnych od aktu pomiaru!

Ten fakt wykorzystał w 1991 r. Artur Ekert, absolwent fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, a obecnie profesor fizyki kwantowej na uniwersytecie w Oxfordzie, do stworzenia nowego kwantowego szyfru. Jego protokół, w odróżnieniu od tego zaproponowanego przez Bennetta i Brassarda, bazuje bezpośrednio na łamaniu nierówności Bella. To oznacza, że nie musimy znać zasady działania urządzeń pomiarowych ani nośników informacji, żeby mieć pewność, iż protokół jest bezpieczny. Odkrycie Ekerta doprowadziło do powstania nowego paradygmatu, w ramach którego układy fizyczne traktujemy jako „czarne pudła” – urządzenia, do których wrzucamy dane wejściowe i wyciągamy dane wyjściowe. Na podstawie samej analizy korelacji pomiędzy danymi z dwóch lub więcej pudeł możemy stwierdzić, że owe pudła są silnie powiązane. A to z kolei pozwala wykorzystać je do przetwarzania informacji bez konieczności wnikania w szczegóły ich fizycznej budowy. Co istotne, same dane wejściowe i wyjściowe są klasyczne – to ciągi bitów, czy też innych symboli kodujących klasyczną informację. Zatem informacja kwantowa, czyli stany układów kwantowych, służą ostatecznie do tego, aby zwykłą klasyczną informację bezpiecznie przekazać bądź w jakiś sposób przetworzyć. Stany kwantowe dają nam jednak o wiele więcej swobody niż klasyczne. Jak pamiętamy, jeden kubit koduje w sobie nie tylko możliwe wyniki pomiarów, 0 i 1, ale także ich pewną miarę „niezdecydowania”. Jeśli chcielibyśmy opisać owo niezdecydowanie przy użyciu klasycznych bitów, to potrzebowalibyśmy ich... nieskończenie wiele!

Kwantową informację można zakodować na jakimś nośniku, np. fotonie, i po prostu przesłać do odbiorcy, np. standardowym światłowodem. Okazuje się jed-

nak, że mechanika kwantowa otwiera przed nami zupełnie nową możliwość transmisji informacji – kwantową teleportację. Potrzebujemy do tego dwóch cząstek w stanie splątanych, zapewniających „kwantowe łącze” pomiędzy dwoma węzłami, które mogą znajdować się na przeciwległych końcach Ziemi, albo i galaktyki – odległość nie ma znaczenia! Przypuśćmy, że nadawca posiada jeszcze jedną cząstkę, w której zakodowany jest jakiś nieznaną kubit. Pozwala on na oddziaływanie obu swoich cząstek, a następnie dokonuje na nich pomiaru. Otrzymał w ten sposób klasyczną informację (dwubitową) przesyła on do odbiorcy w zwykły sposób. Przy jej pomocy odbiorca może „obrócić” stan swojej cząstki w taki sposób, aby był w nim zakodowany dokładnie ten sam kubit, który początkowo znajdował się u nadawcy.

Czyli jednak można używać stanów splątanych do przesyłania informacji?! Owszem, ale tylko jeśli równocześnie wysyłamy klasyczną informację potrzebną do końcowego „obrotu”. Jeden z odkrywców fenomenu kwantowej teleportacji, nieżyjący już Asher Peres z Uniwersytetu w Hajfie, został w trakcie wywiadu zapytany przez dziennikarza, prawdopodobnie inspirowanego filmem „Star Trek”, czy z pomocą kwantowej teleportacji można przesać zarówno ciało, jak i duszę. Odpowiedział z właściwą sobie przenikliwością: „Tylko duszę!”.

Kwantowe łącza oparte na splątanych parach cząstek mogą zrewolucjonizować całą technologię komunikacyjną. Nie dość, że są one odporne na ataki cybernetyczne, dzięki kwantowej kryptografii, to pozwalają na bardziej efektywną komunikację. Dalekosiężnym celem jest stworzenie kwantowego internetu opartego na sieci kwantowych łączy satelitarnych. Jego podwaliny już powstają! W 2017 r. zespół chińskich naukowców kierowanych przez Jian-Wei Pana dokonał udanej teleportacji kwantowej informacji z laboratorium w górach Tybetu do satelity Micius, który znajdował się w odległości nawet 1400 km.

Kamień milowy

Klasyczną informację można nie tylko przesyłać, ale również przetwarzać w inny sposób – prowadząc obliczenia na komputerach. Podobnie sprawy się mają z informacją kwantową. Za prekursora idei komputerów kwantowych uznaje się

Mechanika kwantowa naprawdę działa!

Pozwala opisywać całe spektrum zjawisk w mikroświecie i potrafimy ją wykorzystać do przetwarzania informacji i wykonywania obliczeń.

Richarda Feynmana – genialnego amerykańskiego fizyka, uhonorowanego Nagrodą Nobla za nieoceniony wkład w rozwój teorii kwantowej.

Modelowanie złożonych układów kwantowych, np. w zastosowaniach chemicznych lub inżynierii materiałowej, wymaga bardzo dużej mocy obliczeniowej na klasycznym komputerze. Feynman zauważył jednak, że można całkiem dobrze symulować taki złożony układ na dużo prostszym układzie kwantowym, nad którym mamy pełną kontrolę. Kwantowe symulatory już dziś są wykorzystywane jako narzędzie modelowania. Programowalne układy atomów lub jonów pozwalają na symulację bardzo złożonych zagadnień z fizyki ciała stałego czy fizyki wysokich energii.

Świętym Graalem jest jednak stworzenie uniwersalnego komputera kwantowego, na którym będzie można modelować dowolne układy i programować dowolne obliczenia. Już Feynman sugerował, że moc takiej „kwantowej maszyny liczącej” znacznie przekraczałaby możliwości klasycznych komputerów. W uproszczeniu, niezdecydowanie układu kubitów można wykorzystać do równoległego wykonywania wielu operacji. Dzięki temu można znacznie zredukować ilość komórek pamięci, a także czas działania urządzeń, wymaganych do wykonania danego obliczenia.

Podstawową strukturą klasycznej maszyny liczącej są bramki logiczne, np. bramka NOT zamieniająca 0 na 1 i odwrotnie. Mając do dyspozycji zaledwie kilka typów bramek, możemy zbudować uniwersalną maszynę mogącą wy-

konać dowolną operację logiczną. Podobnie, aby stworzyć uniwersalny komputer kwantowy, wystarczy nam kilka bazowych kwantowych bramek, dokonujących operacji „logicznych” na kubitach. Logika kwantowej informacji jest jednak zupełnie inna i wymaga tak dziwacznych bramek jak „pierwiastek z NOT”!

Zbudowanie danej bramki kwantowej nie jest szczególnie trudne. Obecnie na rynku jest kilka technologii pozwalających zaimplementować podstawowe kwantowe operacje. Należą do nich m.in. wspomniane już sieci atomów lub jonów, a także układy optyczne pozwalające manipulować pojedynczymi fotonami. Bardzo obiecująca jest także nowa technologia oparta na tzw. transmonach – kubitach generowanych w nadprzewodnikach. Zasadniczym problemem takich układów jest to, że trzeba je utrzymywać w ekstremalnie niskich temperaturach, rzędu jednej setnej stopnia powyżej zera bezwzględnego. W przeciwnym razie szum termiczny zagłuszy całą naszą kwantową informację i zniszczy splątane łącza kwantowe.

Prawdziwym wyzwaniem jest jednak kwestia skali. Obecnie dostępne chipy kwantowe, wykonane w technologii ekstremalnie zimnych nadprzewodników, mają kilkadziesiąt kubitów. Pozwoliły one niedawno na osiągnięcie pierwszego kamienia milowego. W 2019 r. na google’owskim procesorze kwantowym Sycamore dokonano pewnej operacji, która według ówczesnych szacowań najmocniejszym klasycznym komputerom zajęłaby przeszło 10 tys. lat. Rok później podobny wynik zaprezentował niezależnie zespół z Chin pod wodzą Jian-Wei Pana. Te maszyny nie są jednak uniwersalne, a i oszacowanie mocy klasycznego komputera, potrzebnej do przeprowadzenia owej operacji, okazało się dyskusyjne. Z drugiej strony, w listopadzie tego roku IBM zaprezentował 127-kubitowy procesor i ogłosił, że w ciągu dekady będą w stanie zbudować maszynę mającą milion kubitów! Nadprzewodnikowe chipy kwantowe mają podobne rozmiary co „klasyczne”, krzemowe, ale wymagają skomplikowanej i kosztownej aparatury chłodzącej. Zatem pomimo spektakularnych sukcesów technologii kwantowych wciąż nie jest pewne, czy, a jeśli tak to kiedy, uda się stworzyć kwantowego pececia.

© MICHAŁ ECKSTEIN, PAWEŁ HORODECKI

Geny i dużo więcej

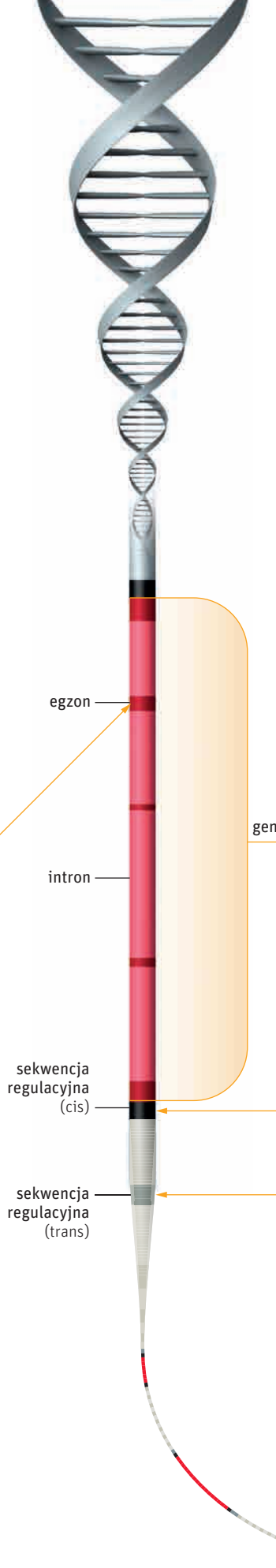
TEKST **LUKASZ LAMŻA**
INFOGRAFIKA **LECH MAZURCZYK**

W każdej naszej komórce znajduje się przepis na cząsteczki, z których jesteśmy zbudowani, i narzędzia komórkowe zajmujące się konstruowaniem naszych ciał. Przepisy te zapisane są przy pomocy zaledwie czterech chemicznych literek, w długim łańcuchu znanym jako DNA. Komplet przepisu na człowieka nazywamy genomem, a składa się on z około 3 mld takich literek. Gdybyśmy chcieli go wydrukować w postaci książkowej, wypełniłby mniej więcej tysiiąc solidnych tomów.

W rzeczywistości tomów, zwanych chromosomami, jest 46, a mieści się w nich około 63 tys. przepisów zwanych genami. Można by więc sobie wyobrazić, że genom to po prostu 46-tomowa książka kucharska zawierająca 63 tys. przepisów. Sytuacja jest jednak znacznie bardziej skomplikowana.

Zacznijmy od podstaw

INFORMACJA GENETYCZNA zawarta w DNA „tłumaczona” jest na białka – to wiemy już od kilkudziesięciu lat. Dopiero jednak niedawno ustaliliśmy, że coś, co uważaliśmy za skromnego pośrednika w drodze ku białkom – cząstki o nazwie RNA – to olbrzymia rodzina zupełnie samodzielnych związków. Spośród 63 tys. genów tylko 20 tys. to przepisy na białka, a pozostałe 43 tys. opisuje sekwencje dziesiątków odmian RNA, których przeznaczenie dopiero poznajemy. To nie koniec problemów. Gdy zsumujemy długość wszystkich tych genów, otrzymamy zapis złożony z 35 mln „literek”, czyli zaledwie nieco ponad 1 proc. całego genomu! Co to za książka kucharska, która w 99 proc. nie składa się z przepisów kulinarnych?!



Pierwsza komplikacja

W 1977 R. OKAZAŁO SIĘ, że części zasadnicze genu, czyli przepisy na białka i cząstki RNA (mówimy na nie: egzony), poprzątkane są przerywnikami, które w procesie tłumaczenia zostają wycięte (intronami). W genomie człowieka jeden gen składa się średnio z 8 egzonów poprzątkanych intronami. Intronów jest objętościowo 20 razy więcej niż egzonów – i to tylko dzięki nim geny zajmują łącznie ok. 26 proc. genomu. Choć „pomysł”, żeby poszatkować przepis na 8 części może wydawać się dziwny, w istocie jest genialny. Dzięki temu każda z owych części jest do pewnego stopnia niezależna, a w naszych organizmach na etapie „tłumaczenia” możliwe jest manipulowanie ich składem i kolejnością. To trochę tak, jak gdyby w przepisie na zupę wydzielić fragment o zabieleniu śmietaną, który raz aktywujemy podczas gotowania, a raz nie. Ta sprytna sztuczka nosi techniczną nazwę „alternatywny splicing”.

Czemu zaś owe przedziałki są tak długie? Jest to wciąż w dużym stopniu niejasne, zwłaszcza że u niektórych organizmów introny są zredukowane do minimum, a wszystko wydaje się funkcjonować prawidłowo. Pewną odpowiedź jest jednak fakt, że treść intronów to w dużym stopniu... bzdury. Więcej o tym w ramce „Powtórki”.

Sekwencje regulatorowe

WYOBRAŹMY SOBIE, że organizujemy catering dla całego miasta. Nie będziemy stale korzystać z wszystkich przepisów – inne będą potrzebne w przedszkolu, a inne w stołówce zakładowej przy hucie. Dieta zmienia się też zależnie od pory dnia i roku oraz w reakcji na sygnały (o, bób już potania!). Podobnie jest z genami. Za poziom ich aktywności odpowiadają tzw. sekwencje regulatorowe, które mogą reagować na odpowiedni sygnał chemiczny, wzmacniając lub osłabiając aktywność genów, a nawet wpływając na sposób alternatywnego splicingu – a więc czy zjemy dziś zupę zabieloną, czy nie. Sekwencje bezpośrednio przyległe do genów, zwykle z obu stron (tzw. cis) lub od nich odległe (trans) zajmują łącznie ok. 8 proc. całego genomu.

Powtórki

PONAD POŁOWA NASZEGO GENOMU

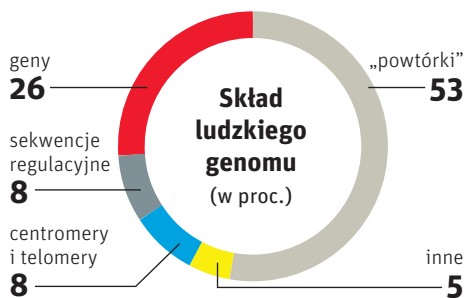
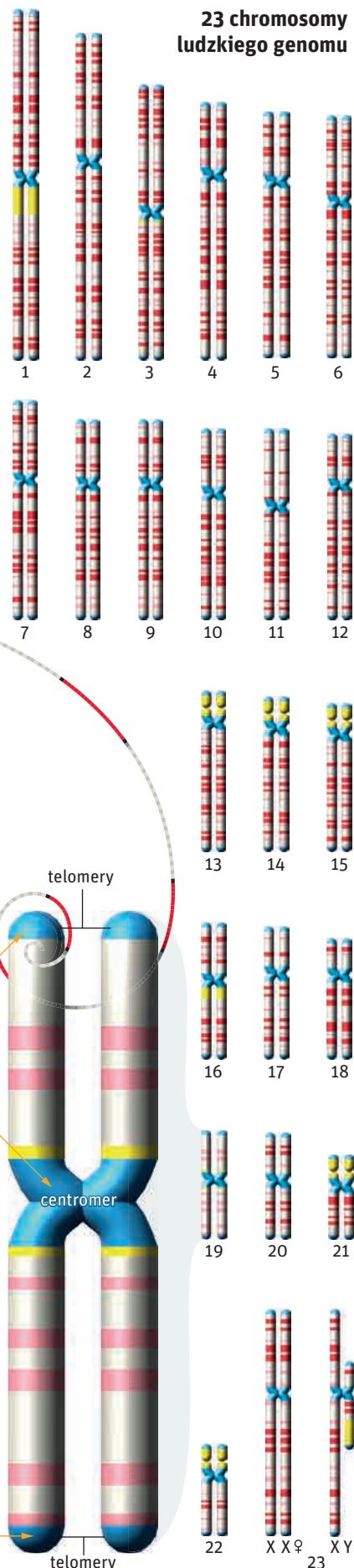
to „powtórki” – sekwencje niebędące genami, a jednak występujące nawet w tysiącach kopii. Czasem zawierają fragmenty starych przepisów, czasem wydają się być zupełnym bełkotem. Podobny chaos panuje we wnętrzach intronów.

Tajemnica częściowo wyjaśniła się, gdy okazało się, że w większości przypadków owe powtarzające się sekwencje zawierają w sobie... przepis na białko kopiujące geny! To trochę tak, jak gdyby w środku książki kucharskiej znajdowała się kartka wypełniona tekstem, z wielkim napisem: „Ej, skseruj tę stronę i wszyj ją gdzieś dalej!”.

Sekwencje takie to transpozony, nazywane też elementami mobilnymi, ponieważ potrafią „skakać” po genomie, tworząc swoje własne kopie. Są więc trochę jak wirusy, z których mogą się zresztą wywodzić. To jednak „nasze własne wirusy”, zwykle niewywołujące chorób – choć gdy wkleją się w jakieś ważne miejsce, skutki mogą być tragiczne.

Łącznie aż ok. 53 proc. genomu to różne „powtórki”, z czego 45 proc. to transpozony, a 17 proc. całego ludzkiego genomu to setki tysięcy kopii jednej tylko szczególnie płodnej sekwencji o nazwie LINE-1! Czemu one istnieją? Bo mogą! W biologii tak to już jest, że co potrafi się kopiować, to istnieje.

23 chromosomy ludzkiego genomu



Dwie okładki i uchwyt

TELOMERY to „czapeczki” zabezpieczające końcówki DNA przed nadgorliwymi komórkowymi „naprawiaczami”, dla których luźno dyndające DNA to czerwony alarm. Możemy sobie wyobrazić, że telomery tworzą okładkę.

CENTROMERY to z kolei miejsca „uchwytu”. To w centromerach łączą się dwie siostrzane kopie genomu – tzw. chromatydy – tworzące dopiero chromosom w prawidłowym sensie i właśnie za centromer chromosomy zostają pociągnięte w przeciwne strony w trakcie podziału komórki. Telomery i centromery nie zawierają normalnych genów, tylko szczególnego rodzaju sekwencje i powtórzenia. Łącznie odpowiadają za 8 proc. genomu.

TO NIE KONIEC

Wszystkie wymienione dotychczas procenty sumują się do 95 proc. A co z resztą?

Choć genom ludzki zsekwencjonowano po raz pierwszy w 2001 r., co kilka lat publikowane są coraz lepsze i bardziej kompletne jego wersje; najnowsza, z kwietnia 2022 r., nosi uroczą nazwę T2T – Telomere-to-Telomere. Choć ma to być rzekomo pierwsza kompletna mapa, „od telomeru do telomeru”, w tej genetycznej książce kucharskiej cały czas są niejasne fragmenty. Ba, ich objętość 5-krotnie przekracza długość egzonów, a co najlepsze – nie są to powtórki, lecz sekwencje „jedyne w swoim rodzaju”. Co to?

Odpowiedź jest chyba najlepsza z możliwych: jeszcze nie wiadomo. ©



FILIP KLIMASZEWSKI DLA „TP”

Ewa Bartnik, Warszawa, kwiecień 2022 r.

Jeszcze za mało wiemy

EWA BARTNIK, GENETYCZKA:  

**Gdyby to rzeczywiście wilczyca wykarmiła Romulusa
i Remusa, nie założyliby Rzymu.
Człowiek jest kombinacją różnych genów
z setkami tysięcy lat kultury.**

MARIA HAWRANEK: Wirusy, szczególnie ostatnio, kojarzą nam się źle, a tymczasem Pani zaczyna książkę „Co kryje się w naszych genach?” stwierdzeniem, że możliwe, iż dzięki nim istniejemy.

PROF. EWA BARTNIK: Mamy coraz więcej dowodów na to, że wirusy odegrały bardzo ważną rolę w ewolucji zaawansowanych organizmów, szczególnie wirusy olbrzymie i retrowirusy. Wskazywały do naszego DNA w różnych momentach istnienia. Być może to właśnie olbrzymi wirus, który wskoczył do pradawnej bakterii, przekształcił najprostsze, archaiczne komórki w takie z jądrem komórkowym – a to był milowy skok w historii życia.

Białko syncytyna, kluczowe dla funkcjonowania łożyska, pochodzi od wirusów. Powinniśmy się z nimi przeprosić również dlatego, że przeżywamy absolutny *boom* terapii genowej, co prawda drogiej, ale w miarę skutecznej. Aby ją przeprowadzić, trzeba wprowadzić do komórki gen, a najlepiej do tego celu nadają się właśnie wirusy. Jest np. taka choroba: pęcherzowe oddzielanie naskórka. Nie brzmi groźnie, ale to *de facto* nigdy niegojąca się rana. Niedawno naukowcy ze Stanfordu opracowali maść, do której dodaje się wirus z właściwym genem, smaruje się i rany osób cierpiących na tę chorobę genetyczną się goją. To niesamowite – można już wprowadzić gen przez skórę.

Z szympanсами i goryłami dzielimy 98 do 99 proc. genów. Co kryje się w tych 1-2 procentach, które nas różnią?

Olbrzymia większość genów jest takich samych, ale sekwencja to nie jest regulacja. Chodzi o to, że taki sam gen może być aktywny w organizmie w innych miejscach czy momentach. Dawniej myślno, że być może uda się namierzyć konkretny gen lub geny, które zadecydowały o tożsamości *Homo sapiens*, ale już porzuciliśmy tę nadzieję. Przez chwilę pokładano ją w słynnym genie FOXP2, który wykryto u pewnej rodziny w Anglii mającej kłopot z opanowaniem mowy. Na drodze do człowieka ten gen szybko ewoluował. Neandertalczyk też miał jego wersję, co ucieszyło tych badaczy, którzy byli przekonani, że mówił. Okazało się później, że ten gen jest bardzo aktywny u ptaków śpiewających, a laboratoryjne badania myszy, w których wstawiono ludzką wersję genu, poskutkowało zwiększeniem

u nich wokalizacji. Na pewno nie był to jedyny istotny gen w naszej ewolucji.

Co decyduje o tym, że jakiś gen się aktywuje?

U bakterii sprawa jest prosta – aktywacja i dezaktywacja działa jak włączanie i wyłączanie pstryczka w lampie. Jest cukier, to włączają się geny, które mają go strawić. U nas bardziej przypomina to taką zabawkę dla dzieci, w której trzeba dopasowywać rozmaite kształty do odpowiednich dziur, ale gen zadziała dopiero jak wszystkie kształty są dopasowane. Gdy studiowałam, mieliśmy taką trochę socjalistyczną wizję komórki – każde białko miało swoją funkcję: krawiec szył ubrania, szewc buty itd. Uważaliśmy też, że białko było albo w jądrze, albo w cytoplazmie, albo w mitochondriach, albo w błonie. A tymczasem olbrzymia większość białek nie ma tylko jednego miejsca w komórce, co więcej – olbrzymia większość genów produkuje więcej niż jedno białko. A dodatkowo mamy jeszcze interakcje między nimi. Nawet w przypadku drożdży, które są uprzejmie mieć tylko 6 tys. genów, nie znamy wszystkich interakcji między nimi.

Oczywiście badamy je w laboratoriach, np. poprzez wyłączenie genu w niektórych komórkach i obserwowanie, czy zdechną, czy nie, a jeśli nie, to co się w nich zaburzy. Tylko w naszym przypadku tych genów jest ponad 20 tys., więc jeszcze dużo badań przed nami.

Czyli nie dowiemy się, co sprawiło, że człowiek jest człowiekiem?

Wiemy, że są geny odpowiedzialne za zuchwę, podstawę czaszki, postawę pionową, owłosienie, mięśnie. Ale powiem tak: gdyby rzeczywiście to wilczyca wykarmiła Romulusa i Remusa, oni nie założyli Rzymu. Mamy kombinację różnych genów z setkami tysięcy lat kultury. To nie jest taki ładnie wyrysowany schemat: małpa idzie, trochę się prostuje, coraz bardziej i wreszcie jest człowiek.

Jaki jest najczystszy rasowo *Homo sapiens*?

Wygląda na to, że Afrykańczycy. Na północy krzyżowaliśmy się z neandertalczykami i dziś nosimy nawet kilka procent ich genów, do tego jeszcze przynajmniej z jednym lub dwoma wariantami ludzkimi. U współczesnych Afrykańczyków tych obcych domieszek genetycz-

nych jest mniej, bo przodkowie tych ludzi byli bardziej odizolowani od innych populacji, z którymi mogliby się krzyżować.

Przy czym koncepcja rasy jest absurdalna, bo różnorodność genetyczna w obrębie jednej grupy, np. o jasnej skórze, jest o wiele większa niż między grupami o różnym kolorze skóry. Bardziej różni nas co innego, ale kolor skóry najbardziej rzuca się w oczy.

Czy testy na nasze pochodzenie, które ujawniają, że jesteśmy potomkami innych ras, co do których być może żyjemy jakieś uprzedzenia, mogłyby być jakimś remedium na rasizm?

Pochodzenie można badać, testy genealogiczne są powszechne i w miarę wiarygodne. Tylko osobiście nie wiem po co. Mnie jest wszystko jedno, skąd wzięli się moi przodkowie. Poza tym nie jestem przekonana, że jeśli ktoś żywi przekonanie oparte na nieracjonalnych argumentach, to można go przekonać przy pomocy racjonalnych argumentów. Z antyszczepionkowcami niezbyt się to udaje.

Dlaczego nie możemy sobie wyliczyć, jaki kolor oczu będzie miało nasze dziecko, tak jak uczono nas tego w szkole?

Jest kilkanaście genów, które wpływają na kolor oczu. Są w obiegu testy, wykorzystywane na styku genetyki i medycyny sądowej, które na podstawie pozostawionego na miejscu zbrodni DNA pomagają ustalić, jaki kolor włosów i oczu miała osoba tam obecna. Robią to z prawdopodobieństwem sięgającym 85 proc. Ale w przypadku dziedziczenia wciąż nie możemy ferować wyroków. W kryminałach Agaty Christie przynajmniej dwa razy się okazuje, że ktoś nie może być czymś dzieckiem, bo ma brązowe oczy, a rodzice mieli niebieskie. To duże uproszczenie, bo owszem – może. Poza tym barw oczu jest znacznie więcej – szare, zielone, nie da się tego tak prosto przewidzieć. Zresztą za prawie wszystkie ludzkie cechy odpowiada więcej niż jeden gen.

Z jakimi jeszcze nieadekwatnymi wyobrażeniami o genetyce wychodzimy ze szkoły?

W szkole nauczyciele genetyką zajmują się z reguły niechętnie, a jeśli już, to rzeczami prostymi. Nabieramy więc przekonania, że ważne są choroby spowodowane

→ przez mutację w pojedynczym genie. One oczywiście są ważne, ale są też bardzo rzadkie. Najczęstsze choroby genetyczne w Europie to mukowiscydoza, z którą rodzi się jedna osoba na 2-2,5 tys., i zespół Downa – tu mamy 1 na 700. Ale jeśli pomyślimy szerzej – nie kto się jaki rodzi, ale co nam szkodzi, to najważniejsze okazały się choroby układu krążenia, cukrzyca i nowotwory, a to są schorzenia w większości przypadków silnie wielogenowe albo w ogóle o słabym podłożu genetycznym. Mniej więcej co trzecia osoba zachoruje na nowotwór – odpowiada za to kombinacja naszego środowiska, naszych genów, sposobu naprawy naszego DNA, który jest bardzo złożony, a do tego jedni reperują je lepiej, drudzy gorzej. W szkole zbyt rzadko podkreśla się, że za nasze zdrowie są odpowiedzialne interakcje naszego środowiska z genami.

Czy zatem należy się poddawać testom genetycznym?

Dla osoby pełnoletniej potencjalnie obciążonej rodzinie lub osoby z objawami choroby wykonanie testu jest formą diagnozy. Ale weźmy sztandarowy przykład – chorobę Huntingtona. Jeżeli rodzic ją ma, to ryzyko, że przekaże ją dzieciom, wynosi 50 proc. Lepiej wiedzieć, że się zachoruje czy nie, skoro na tę chorobę nie ma żadnej terapii? Są osoby, które gorzej zniosą niepewność niż informację, która jest formą wyroku, a są osoby, które gorzej zniosą wyrok niż niepewność. Tu decyzyja jest indywidualna, sama nie wiem, jaką bym podjęła w takiej sytuacji.

Kilka lat temu pisałam reportaż o rodzinach obciążonych pewną mutacją genu, który powoduje wczesne zachorowanie na Alzheimera. Żyją w słabo zaludnionym górskim rejonie w Kolumbii. Od lat trwają badania z ich udziałem, w których testuje się nowe leki. Uczestnicy projektów badawczych nie są a priori informowani, czy są nosicielami genu, czy nie, ich statusu nie znają też badacze, by ich jakoś inaczej nie traktować. Są im przypisane specjalny kody. To powszechna praktyka?

W badaniach klinicznych często stosuje się tzw. próbę podwójnie ślepa – tak jak pani opowiedziała. Tu nie ma kłopotów etycznych – nie ma lekarstwa na tę chorobę, a jest ona częsta, i jest nadzieja,

Co trzecia osoba zachoruje na nowotwór.

Odpowiada za to kombinacja naszego środowiska, naszych genów i sposobu naprawy DNA, które jedni reperują lepiej, a drudzy gorzej.

że badania jej genetycznie uwarunkowanej postaci doprowadzą do znalezienia skutecznej terapii.

W społeczności Żydów, m.in. aszkenazyjskich, istnieje taki ciekawy program Dor Yeshorim. Zainicjował go amerykański rabin, Josef Ekstein, któremu czwórka dzieci zabrała choroba Taya-Sachsa. U nastolatków przeprowadza się badania pod kątem mutacji kilku genów, które powodują najczęstsze choroby w tej społeczności – m.in. chorobę Taya-Sachsa, mukowiscydozę, chorobę Canavana, zespół Blooma. Nie informuje się badanych o wynikach, w rejestrach ich dane są kodowane, aby uniknąć stygmatyzacji. Dopiero w momencie, gdy dwie osoby rozważają wspólną przyszłość obejmującą posiadanie dzieci, dzwonią do centrum i dostają zielone światło, albo nie, jeśli oboje są nosicielami ryzykownego genu. Nigdy nie dowiadują się, o jaki gen chodzi, tylko czy jest ryzyko. W Omanie podobne próby badania przedmałżeńskiego nie były tak dobrze przyjęte.

Gdzie w Polsce można przeprowadzić testy genetyczne? Z tego, co wiem, rynek nie jest uregulowany.

W Polsce wystarczy założyć działalność gospodarczą, by się zajmować diagnostyką genetyczną, więc rzeczywiście trzeba uważać. Większość instytucji, które robią porządną diagnostykę, ma laboratoria mające numer nadany przez Krajową Izbę Diagnostów Laboratoryjnych, atest od Polskiego Towarzystwa Genetyki Człowieka i podlegają zewnętrznym testom EMQN (European Molecular Genetics Quality Network). Miałabym za-

ufanie do laboratoriów polecanych przez lekarzy genetyków.

Np. w Poznaniu jedna z firm robi badania genomu u pacjentów onkologicznych, którzy nie reagują na standardową terapię. Można wykonać sekwencję DNA nowotworu i dla porównania sekwencję DNA zwykłej tkanki – i spróbować znaleźć taką mutację, na którą mamy lek. Badanie wymaga pogłębionej analizy informatycznej i kosztuje 20 tys. złotych. Ale dla niektórych jest to szansa na odzyskanie zdrowia.

Ale mamy też laboratorium oferujące badanie talentów dzieci... No bardzo przepraszam, to niemożliwe.

No właśnie, co Pani myśli o testach genetycznych, które służą ustaleniu naszych predyspozycji?

Nazywa się je testami lajfstajlowymi – np. na tolerancję laktozy czy ilość wosku w uszach. Jeśli ktoś chce na nie wydawać pieniądze, to mu nie zabronię, bo wiele z nich ma wiarygodne wyniki. Tylko znów pytanie: czy to potrzebne? Bo przecież często wiemy, jak jest – nie muszę robić badania na tolerancję kofeiny, wiem z doświadczenia, że mam ogromną, wiem też, ile mi się gromadzi wosku w uszach. Natomiast testy dotyczące dyspozycji atletycznych i dietetycznych w tym momencie to jest piramidalna bzdura. Być może w przyszłości te dyspozycje będą do ustalenia, ale na razie to niemożliwe. Lepiej więc zainwestować w dietetyka lub trenera.

Żydzi – ale tylko mężczyźni – mogą robić testy na obecność konkretnego wariantu chromosomu Y, który świadczy o tym, że pochodzą od kapłanów. Tylko co z tego wynika? Z kolei robienie testów na ogólne predyspozycje do nowotworów nie ma moim zdaniem większego sensu, bo jest bardzo wiele rzeczy dotyczących stylu życia, które mają wpływ na ich rozwój. A na swój styl życia z kolei my mamy wpływ.

Genetyka to dziedzina, z którą wiąże się wiele fantazji – strasznych i pięknych. Ale nastęrcza też wielu etycznych dylematów. Co obecnie można w ludzkich genach ruszać, a czego nie? I jak się to ustala?

Wiosną 2015 r. zaczęły w środowisku krążyć informacje o tym, że Chińczycy biorą się za modyfikowanie zarodków. Pojawił się wtedy w czasopiśmie

„Science” list otwarty z pytaniem, czy w zasadzie kiedykolwiek należałoby dopuścić do modyfikowania ludzkich zarodków, a jeśli tak – jakie warunki miałyby zostać spełnione. To z kolei spowodowało powstanie różnych ciał, m.in. specjalnej komisji WHO dotyczącej modyfikacji ludzkiego genomu, do której należą. W 2018 r. przyszyły na świat bliźniaczki, u których doktor He Jiankui zmodyfikował geny na etapie zarodków w próbówce. Ich tata jest nosicielem wirusa HIV, a wiemy, że wnika on do komórek, korzystając z białka produkowanego w organizmie człowieka – CCR5. Wiemy też, że osoby, które mają mutację usuwającą niewielki kawałek genu w obu jego kopiach, nie są podatne na AIDS. Usunięcie tego białka miało uczynić dziewczynki odporne na HIV. Okazało się, że mu się to nie udało, a jego badania wywołały wielki skandal.

Dlaczego?

Wcześniej, jeśli w ogóle, prace badawcze prowadzono na zarodkach niezdolnych do rozwoju, powstałych po zapłodnieniu *in vitro*, np. wtedy, kiedy do komórki wnikają dwa plemniki i tworzy się potrójny garnitur chromosomów. I to tylko w niektórych krajach zezwalających na takie manipulacje, jak np. Wielka Brytania. Ale i w nich są jasne ograniczenia: trzeba uzyskać zezwolenie na taki eksperyment i zarodki po manipulacji mają być zniszczone w ciągu dwóch tygodni. He Jiankui wziął zarodki zdolne do rozwoju i do tego je wprowadził do macicy ich matki, co było nie tylko nieuprawnione, ale też nieuzasadnione. W przypadku ojca nosiciela lub chorego na AIDS i zdrowej matki oraz zapłodnienia *in vitro* wystarczy dobrze przepłukać plemniki przed zapłodnieniem. Do tego AIDS to nie jest choroba nieuleczalna, mamy przyzwoitą terapię. Najważniejsze jest jednak to, że na tym etapie nie było wiadomo, czy taka interwencja genetyczna nie przyniesie dodatkowych, szkodliwych efektów. Wciąż tego nie wiemy.

Jak by Pani rozstrzygnęła etyczne dylematy, jakich nastęrcza manipulacja genami w zarodkach?

Pierwsza wątpliwość ma charakter teoretyczny: czy mamy prawo poddać terapii zarodki i wpływać na przyszłe pokolenia, druga związana jest z technologią –

PROFESOR EWA BARTNIK jest genetyczką i popularyzatorką nauki. Specjalizuje się w chorobach ludzkich będących skutkiem zmian w mitochondrialnym DNA. Jest członkinią specjalnej komisji WHO, zajmującej się problemem modyfikacji ludzkiego DNA. Odznaczona Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski za zasługi na rzecz nauki w Polsce i na świecie oraz wspieranie międzynarodowej współpracy naukowej. Autorka ok. dwustu prac naukowych i książki „Co kryje się w naszych genach?”.

czy przypadkiem czegoś nie uszkodzimy. Wydaje mi się, że najważniejsze jest rozwiązanie problemów technicznych. Na razie nie potrafimy tego zrobić idealnie i możemy doprowadzić do uszkodzenia innych genów albo jakichś nowych, niekorzystnych między nimi interakcji. Nie chcę wystawiać szyi pod toporek, ale gdyby można było idealnie przeprowadzić ten zabieg, to dlaczego miałyby się urodzić dziecko chore, które umrze na daną chorobę, jeśli mogłoby się urodzić dziecko zdrowe? Natomiast w tym momencie prace, które doprowadzają do narodzenia się dziecka, są nieakceptowalne. Jeszcze za mało wiemy.

Jak rozumiem, to kwestia czasu.

Być może, ale nieprędko. Diagnostyka prenatalna i preimplantacyjna jest już prowadzona w rodzinach ryzyka genetycznego. Jednak znów podejmowane działania zależą od przekonań rodziców – dla niektórych rodziców akceptowalna jest diagnostyka preimplantacyjna i wybór na tej podstawie zdrowszego zarodka, ale nie prenatalna, gdzie w konsekwencji wykrycia wad u płodu następuje jego usunięcie.

Jest taka książka „Hakowanie Darwinia”, napisana przez Jamiego Metzla – jednego z członków komisji WHO, w której rozważa przyszłość rasy ludzkiej. Państwo Brown idą do poradni genetycznej, bo chcą mieć dziecko, a tam doradza się im rozwiązanie nowoczesne, bo wtedy można wybrać zarodek, który nie ma defektów, najlepszy. Za 20 lat nie będzie chodziło tylko o najlepszy zarodek, ale jeszcze o to, co by poprawić, bo

ten miałby słabe mięśnie, a tamten byłby emocjonalnie rozchwiany. Taki świat mi się już nie podoba.

Ale to będzie w ogóle możliwe – tak sobie wrzucać różne pożądane cechy jak przyprawy do alchemicznego alembiku: tu szczyptę zdolności matematycznych i trochę empatii?

Nie wiem, czy kiedykolwiek będziemy na takim etapie.

W dużym uproszczeniu połowa naszych złożonych cech zależy od genów, a połowa od środowiska, czyli otoczenia, wychowania. Nie wiem, kiedy zacząną się pojawiać kliniki, które oferują ulepszone dzieci – boją się, że stanie się to, zanim taka możliwość rzeczywiście będzie istniała. A tak naprawdę myślę, że nie będzie istniała w ogóle. W USA jest w tej chwili ponad 600 klinik komórek macierzystych, prowadzących terapie za grube pieniądze, które nic nie wnoszą. U nas też jest ich trochę. Jeżeli jest człowiek ciężko chory, nie ma nadziei, ale ma pieniądze, to przyjmie prawie wszystko. Być może te pieniądze lepiej byłoby przeznaczyć na lepszą opiekę, zamiast na wątpliwą terapię.

Terapia komórkami macierzystymi nigdy nie działa?

Działa dla kilku schorzeń, ale muszą być do tego wykorzystane specjalne komórki macierzyste, a nie np. z własnego tkuszcza. Udokumentowanych przykładów jest bardzo mało.

W trakcie Pani kariery naukowej genetyka przeszła galopujący rozwój. Czego się Pani w związku z tym rozwojem obawia, a o czym marzy?

Boję się, że chęć ulepszania będzie galopowała przed możliwościami – łatwo wmówić ludziom rzeczy, które nie istnieją. A marzę o tym, by genetyka znów się trochę uprościła. Kilkanaście lat temu prowadziłam wykład o regulacji działania genów. Wtedy jeszcze potrafiłam odpowiedzieć na pytanie, które postawiła mi pani na początku: jak się uruchamia ludzki gen. W tym momencie nie mam pojęcia. Zatem chciałabym zrozumieć regulację działania genów. I jeszcze jedno mam marzenie: niektóre terapie genowe, np. anemii sierpowatej, już pięknie leczą, ale za milion dolarów. Marzę, by terapia genowa kiedyś była tańsza.

© Rozmawiała MARIA HAWRANEK

Retoryka kolorowych zadków

WOJCIECH BONOWICZ

Można metafory, którymi posługują się literaci piszący o literaturze, traktować jako wyraz megalomanii, ale byłoby to małoduszne. Język naprawdę jest materią oporu, a robota literacka jest robotą „brudną”.

Istnieją zwierzęta o wielobarwnej sierści; na ich spiczastych pyskach i niewiarygodnych zadach widnieje prawdziwy katalog miniaturowych malowideł. Ich sylwetki wzmacnia i wspiera system znaków, sieć niezwykle izoglos, agresywnych i bezgłośnych, czyni z przypadkowego ciała dyskurs, sztuczną fantazję. Absurdalne i niepodważalne szlachectwo zdobi je niczym sztandar, materia, okrutny herb. Tak samo człowieka spowija bezużyteczna i zaszczytna chorągiew, płaszcz i całun nieprzylegający do ciała niczym niedopasowany i wytworny gorset. Podobnie jak mandryl nic nie może poradzić na retorykę swoich kolorowych pośladek, tak i my nie możemy uwolnić się od tego cudownego przekleństwa, tego miękkiego runa ze słów”.

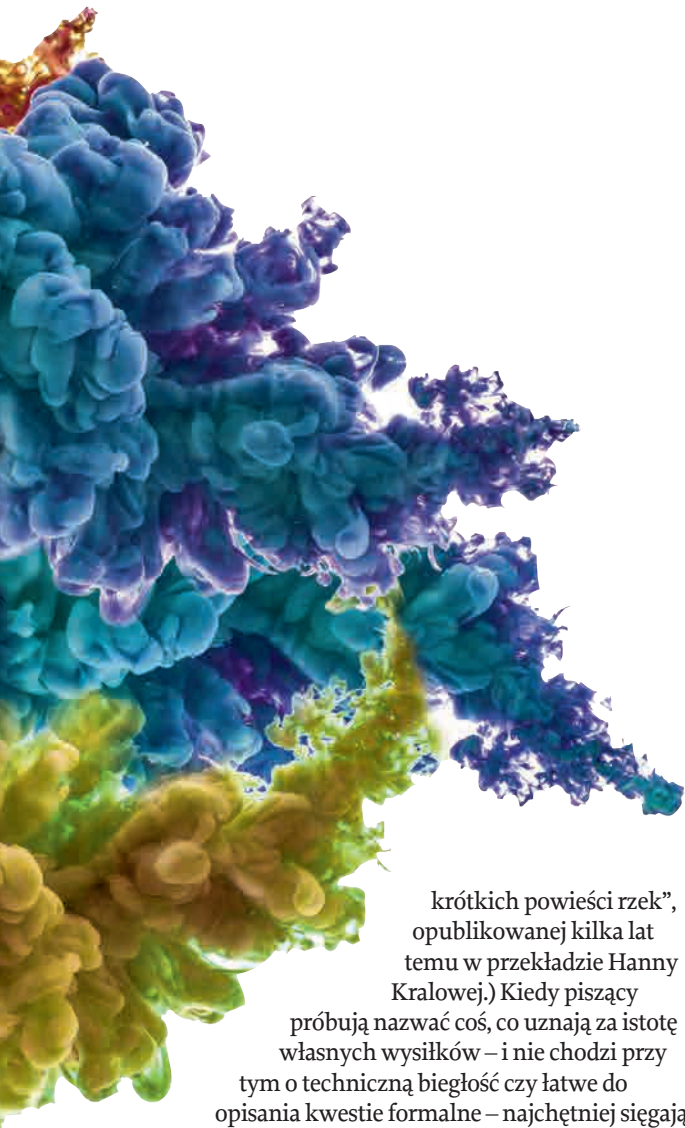
Uwierzcie Państwo, jeśli Wam powiem, że fragment powyższy mówi o tym, czym jest literatura? Że cała ta misterna i pełna sprzeczności konstrukcja, do której użyte zostały przykłady zaczerpnięte ze świata zwierząt, ale też z ludzkiej garderoby, jest głosem w dyskusji o jej moralności i niemoralności? Cytat pochodzi ze sławnego eseju zatytułowanego „Literatura jako kłamstwo”, opublikowanego w 1967 r. przez włoskiego krytyka Giorgia Marinello (na polski przełożyła go Joanna Ugniewska). W stosunkowo niedługim tekście Marinelli posługuje się całym ciągiem podobnych obrazów, czerpanych z różnych dziedzin – nauki, historii, religii, obyczajowości – niektóre opatrząc interpretacjami, inne pozostawiając jako sugestie. Jest przy tym żywiłowy i prowokujący, obie te cechy są dlań zresztą znamiem prawdziwej literatury. Szeregu metafor, którymi się posługuje, nie sposób sprowadzić do jednego znaczenia; byłoby to również sprzeczne z wizją literatury, którą

proponuje. Literatura to dlań (cytuję komentarz tłumaczki) „samonapędzający się mechanizm, samowystarczalny, zamknięty układ”, przetwarzający rzeczywistość na figury retoryczne. Jednak stałym celem tych retorycznych zabiegów, pisze Marinelli, jest „efekt całkowitej wieloznaczności”. I kończy swój esej kolejnym zestawem porównań niedających się sprowadzić do niesprzeczności: literatura, powiada, „rzuca nam wyzwanie, ofiarowuje magiczną skórę zwierzęcia, mechanizm, kostkę do gry, relikwię, rozdartą ironią godła”.

Ryby rzucone na ląd

Esej Marinello jest bardziej manifestem niż tekstem *sensu stricto* krytycznym czy teoretycznym. Sposób formułowania i prezentowania poglądów jest w nim zgodny z tym, czego autor oczekuje od literatury. Mówiąc wprost: Marinelli postuluje i praktykuje jednocześnie. Ale jego esej, zwłaszcza w kontekście rozważań o literaturze jako informacji, jest interesujący także z innego powodu: otrzymujemy tu w dość wysokim stężeniu coś, co jest charakterystyczną cechą wielu metaliterackich komentarzy, zwłaszcza tych, których autorami bądź autorami są osoby same parające się literaturą. (Godzi się w tym miejscu przypomnieć, że Giorgio Marinelli był także cenionym prozaikiem; polskim czytelnikom i czytelnikom może być znany jako autor książki „Centuria. Sto





MICHAŁŁOŹWIJK / STOCK.ADOBE.COM

krótkich powieści rzek”, opublikowanej kilka lat temu w przekładzie Hanny Kralowej.) Kiedy piszący próbują nazwać coś, co uznają za istotę własnych wysiłków – i nie chodzi przy tym o techniczną biegłość czy łatwe do opisanego kwestie formalne – najchętniej sięgają po metaforę lub wiązkę metafor, w szczególności takich, które sugerują, że mamy do czynienia z czymś trudno uchwytnym, paradoksalnym, tajemniczym.

Przykładów jest aż nadto. Przywołajmy – by trzymać się porównań odsyłających do świata zwierzęcego – sławne zdanie Carla Sandburga, że poezja to „dziennik życia zwierząt morskich, które chodzą po ziemi, a chciałyby latać”. O czym tu właściwie mowa? O literaturze czy o naturze ludzkiej, której literatura jest jedynie przejawem? Bez względu na to, jak odpowiemy na powyższe pytania, formuła Sandburga wskazuje na to, co – jak mówi definicja paradoksu – jest wewnętrznie nietożsame, rozdzierane sprzecznymi dążeniami. Słowo „dziennik” sugeruje, że mamy do czynienia ze stale odczuwanym napięciem, a odwołanie do trzech etapów ewolucji – że chodzi o coś tkwiącego w nas bardzo głęboko. Można by formułę Sandburga zinterpretować tak: literatura jest dzieckiem ewolucji, ale dzieckiem zbudowanym wobec własnego rodowodu. Albo nawet tak: literatura pozwala nam przeżywać rzeczywistość we wszystkich jej wymiarach naraz, także w jej poniekądnych możliwościach, nieokreślonych dążeniach i nieuzasadnionych tęsknotach. A taka interpretacja skojarzyłaby

się nam z kolei ze sławnym zdaniem wypowiedzianym przez Brunona Schulza w rozmowie z Witkacym: że gdyby sztuka miała tylko potwierdzać, co skądinąd zostało ustalone – byłaby niepotrzebna. „Jej rolą jest być sondą zapuszczoną w bezimienne. Artysta jest aparatem rejestrującym procesy w głębi, gdzie tworzy się wartość”.

Najwięcej znaczeń

Literatura – a ściślej: jej najambitniejsza, najbardziej skrupiona na wewnątrzliterackich celach część – jest opowieścią o napięciu, jakie nieuchronnie powstaje na styku tych różnych dążeń. Przede wszystkim jednak – napięciu między żywiołem a formą, między (by raz jeszcze wrócić do formuł Marinello) tym, co bezkształtne, bezładne, a retoryką, obrzędem. Literatura chciałaby naśladować żywioł (mowy? życia jako takiego?) w jego spontaniczności, kapryśności, wieloznaczności, także w tym, co w nim pozasłowne czy nawet przedślowe, ma jednak do dyspozycji tylko sformalizowany zapis, coś ukształtowanego, ustalonego, zatrzymanego w określonych gestach i znaczeniach. Co zatem może zrobić? Może się w nich rozpychać, mniej lub bardziej ostentacyjnie kwestionować to, co zastałe (nie zawsze najbardziej hałaśliwe wystąpienia są najbardziej rewelatorskie), szukać szczelin i zarysowań tam, gdzie przywykło się widzieć gładkie, solidne powierzchnie. Wydobywać na wierzch sprzeczności, obnażać własne niekonsekwencje, ale też teoszczyć się, by język, którym się porozumiewamy, nie „kamieniał”, zachowywał niezbędną elastyczność. „Kij ma dwa końce, a język więcej”, miał powiedzieć kiedyś na spotkaniu z młodymi Tymoteusz Karpowicz. Stanisław Srokowski, który przywołuje tę anegdotę, zauważa, że gdy hasłem Norwida było: „Odpowiednie dać rzeczy słowo”, a hasłem Przybosia: „Najmniej słów”, Karpowicz przekracza tamte doświadczenia i powiada: „Najwięcej znaczeń”.

Można metafory, którymi posługują się literaci piszący o literaturze, traktować jako wyraz megalomanii, ale byłoby to małoduszne. Sugeruję, żeby na „politykę informacyjną”, jaką prowadzą, spojrzeć bardziej przychylnie: język naprawdę jest materią oporu, a robota literacka jest robotą „brudną”. Można, oczywiście, mówić o niej w sposób – jak to przywykliśmy nazywać – konkretny, nierozwiczony, ale czy rzeczywiście łatwiej byłoby się nam porozumieć, wcale nie jestem pewien. Metaforyczny obraz czy też, jak u Marinello, sekwencja obrazów, łapie kilka srok za ogon, przede wszystkim jednak zwraca naszą uwagę na złożoność tego niezwyklego procesu przechodzenia od niewypowiedzianego do słowa. Zwłaszcza słowa – jak w literaturze – świadomego siebie, na sobie skupionego, przyglądającego się sobie z niedowierzaniem, czasem podziwem, czasem złością. ©



JACEK TARAN

Maja Starakiewicz i Jakub Woynarowski. Kraków, 29 kwietnia 2022 r.

Czy warto wąchać sztukę

MAJA STARAKIEWICZ, ARTYSTKA:

Twórcom nie zawsze chodzi o zapewnienie gładkiego odbioru wystawy. W uzasadnionych okolicznościach można wywoływać u odbiorcy wrażenie zagubienia czy przytłoczenia, co jest równie ważne jak same eksponaty.

MICHAŁ SOWIŃSKI: O czym będzie wystawa „Jak wam się podoba”?

JAKUB WOYNAROWSKI: Od kilku edycji festiwalu prezentujemy różne strategie wizualizacji wiedzy – w tym roku interesuje nas informacja.

Na czym polega wizualne ujęcie informacji?

JW: Narzędzia wizualne ułatwiają strukturyzowanie nadmiaru danych. Tym razem chodzi nam jednak nie tylko o wizualizację, ale o przedstawienie samego procesu gromadzenia i porządko-

wania informacji oraz o włączenie w te działania również odbiorców.

Dwa lata temu stworzyliście esej wizualny.

JW: Tak, „Chronos wyzwolony”, który opowiadał o przemianach w percepcji czasu. Chcieliśmy przetestować możliwości, jakie daje równoległe operowanie słowem i obrazem. Rok temu byłem kuratorem wystawy „Myślo-kształty” w Critotece – chodziło nie tyle o alternatywne formy przekazywania ustrukturyzowanej wiedzy, co myśli jako takiej. Wiele

prac ocierało się o abstrakcję, a nawet poezję. Integralną część ekspozycji stanowił esej wizualny „Introwizja”, który przygotowaliśmy razem z Mają Starakiewicz – dopełniał on wypowiedź kuratorką, tworząc metateoretyczną ramę dla całego projektu.

W tym roku idziecie jeszcze dalej.

JW: Teraz przygotowujemy wystawę o wystawie. Chodzi o stworzenie instalacji przestrzennej, która w kontakcie z odbiorcami sama się definiuje. Będziemy namawiać odwiedzających, aby nie tylko

oglądali naszą wystawę, ale ją współtworzyli, ingerowali w jej strukturę przy pomocy sensualnych ankiet. Chcemy pokazać, że odbiorca wystawy może wpływać na jej kształt, a w konsekwencji modyfikować zawarte w niej sensy.

Metawystawa?

JW: Można tak to ująć – chodzi o pokazanie tego złożonego procesu poprzez samo działanie i intelektualną zabawę, bez wikłania się w hermetyczne rozważania akademickie. By wizyta na wystawie była przyjemnym doświadczeniem.

Przykład konkretnego metaekspozycji?

JW: Powstaną interaktywne ankiety w postaci „układów współrzędnych”, w ramach których można przemieszczać zaprojektowane przez nas moduły, mapując w ten sposób gromadzone na bieżąco dane. Modułami byłyby na przykład ruchome „klocki” lub sznurki znajdujące się na stworzonych w tym celu tablicach.

Tablice będą analogowe?

JW: Tak, unikamy ekranów. Stawiamy na proste, minimalistyczne wręcz środki.

Dlaczego?

MAJA STARAKIEWICZ: Bo ekrany, wbrew pozorom, są mało interaktywne. To zimne, gładkie powierzchnie. Treści na nich są często zaprojektowane do dość biernego odbioru. W przypadku modeli analogowych odwiedzający wystawę mogą zostawić swój wyraźny, namacalny ślad.

Jaki jest cel tego eksperymentu?

MS: Zrealizowaliśmy już kilka autotematycznych projektów, tym razem chcemy wypróbować autotematyzm połączony ze zbieraniem informacji. Za pewne dowiemy się od odwiedzających wystawę różnych rzeczy, ale też przekonamy się, czego w ogóle w ten sposób dowiedzieć się można, ponieważ projektowanie ekspozycji zbierających informacje to *de facto* projektowanie badania, ilościowego lub jakościowego.

A sam widz czego się dowie?

MS: Zależy nam na wskazywaniu rzeczy „przezroczystych”, czyli takich, na które zazwyczaj przy odwiedzaniu wystawy nie zwracamy uwagi. Między innymi na kontekst miejsca, strukturę prze-

strzeni, a także konkretne jej zaaranżowanie pod daną ekspozycję. Na kształt każdej wystawy wpływa szereg decyzji – nie chodzi wyłącznie o wieszanie rzeczy na ścianie, ale również operowanie światłem, wprowadzanie zapachów albo dźwięków, formatowanie sposobu poruszania się. Suma tych decyzji decyduje o wymowie i ekspresji całości.

Co można w ten sposób osiągnąć?

MS: Spektrum ekspresji jest bardzo szerokie. Nie zawsze celem musi być zapewnienie bezproblemowego odbioru. W uzasadnionych okolicznościach można wywoływać u odbiorcy wrażenie zagubienia czy przytłoczenia, co jest równie istotnym elementem wystawy jak same ekspozycje.

Sięgacie po narzędzia z domeny *user experience*?

MS: *User experience*, w skrócie UX, to dziedzina będąca skrzyżowaniem technologii, psychologii i humanistyki, mająca na celu między innymi badanie, w jaki sposób wchodzimy w interakcje z elementami otaczającej nas rzeczywistości. Mówiąc inaczej – to gałąź projektowania, bliska naszemu myśleniu o wystawieniu, bo stosuje podobne narzędzia jak choćby w tworzeniu aplikacji czy stron internetowych. Chodzi o komunikatywność, przejrzystość czy używanie informacji zwrotnej, a także myślenie o tym, jakie emocje w odbiorcach wywołuje to, co im proponujemy. Badanie reakcji publiczności to dobra praktyka, bo traktuje odbiorców podmiotowo. Zamiast narzucania jednej wizji, mamy dialog, a z niego mogą wynikać rzeczy zupełnie nieoczekiwane.

User experience raczej nie kojarzy się z galeriami sztuki.

MS: Tego terminu używa się przede wszystkim w odniesieniu do rzeczywistości cyfrowej, ale wcale nie musi tak być. Osoba odwiedzająca wystawę jest jej użytkownikiem, nie tylko czyta teksty na planszach, ale także porusza się w określony sposób, może się zmęczyć, znudzić lub zgubić. Sama przestrzeń może być nieczytelna, zniechęcająca do nawigowania po niej. System wartości, do których się dąży zarówno w projektowaniu wystawy, jak i w projektowaniu produktów cyfrowych, jest miejscami zbieżny.

UX to zestaw narzędzi, które można wykorzystać do wielu celów. Od ułatwie-

nia zakupów w sklepie internetowym po zakomunikowanie złożonej idei.

Na przykład?

MS: Świadome wywoływanie u użytkownika dyskomfortu może być formą protestu albo krytycznym odniesieniem się do problemów społecznych czy politycznych. UX to także kompleksowe badania i zbieranie informacji o sposobach naszych interakcji z usługami czy przedmiotami. Jak później wykorzystamy te dane, to już inna kwestia.

Zawężmy nieco problem – co Wasza wystawa mówi o samej sztuce, szczególnie w kontekście polskich praktyk wystawienniczych?

JW: Dobrym kontekstem dla tego typu rozważań może być tak zwane kuratorstwo gonzo (*gonzo curating*), a więc obszar, którym od dziesięciu lat zajmujemy się razem z Anetą Rostkowską. Istotą tych działań jest eksplorowanie przestrzeni, które nie powstały z intencją wystawienniczą, ale z powodzeniem mogą być miejscami, gdzie pokazuje się sztukę.

Na czym polega wtedy rola kuratora?

JW: Bazujemy na przypadkowości – budujemy narracyjne powiązania między obiektami, które z jakiegoś powodu znalazły się w tej samej przestrzeni. Można powiedzieć, że tworzymy specjalne narzędzia literackie, służące porządkowaniu rzeczywistości. *Gonzo curating* wyrasta z nurtu sztuki *ready-made*, gdzie akt twórczy polega przede wszystkim na zawłaszczaniu danego obiektu i przenoszeniu go w inne konteksty. Przykładem takiego działania może być współtworzone przeze mnie i Anetę Centrum Sztuki Współczesnej Zamek Wawelski – artystyczny projekt, w ramach którego zapraszamy twórców do „zawłaszczania” obiektów różnego pochodzenia, znajdujących się w przestrzeni wzgórza wawelskiego. Kreatywna interwencja nie wiąże się w tym przypadku z fizyczną ingerencją, a jedynie ze stworzeniem fikcyjnej, choć prawdopodobnie brzmiącej opowieści. Ktoś mógłby uznać to za naciąganie rzeczywistości dla własnych potrzeb, ale przecież ten sam mechanizm działa w przypadku klasycznych praktyk kuratorskich. Różnica polega na stopniu skonwencjonalizowania danego języka. To kolejny metakomentarz do sposobu, w jaki odbieramy sztukę.

→ Wyśmiewacie styl niektórych muzealnych podpisów?

JW: Tylko odrobinę. Czasem zdarza się, że wokół bardzo prostego obiektu powstaje absurdalnie skomplikowana opowieść, co bywa zabawne. Przede wszystkim jednak zależy nam na pokazaniu olbrzymiego, a często niedostrzeganego potencjału, jaki tkwi w praktykach kuratorskich. W ten sposób można poszerzać doświadczenie odbioru sztuki, wprowadzając do niego najróżniejsze elementy sensualne.

Niekoniecznie zaprojektowane przez kuratora?

JW: Każda spójna opowieść ma swój wymiar negatywny – bazuje na wykluczeniu obiektów przypadkowych, które nie pasują do całości, a nawet potrafią ją rozbić.

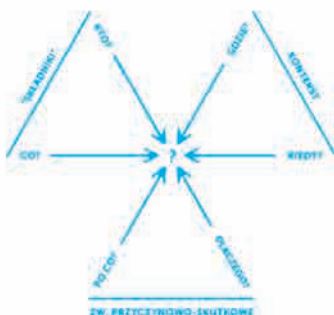
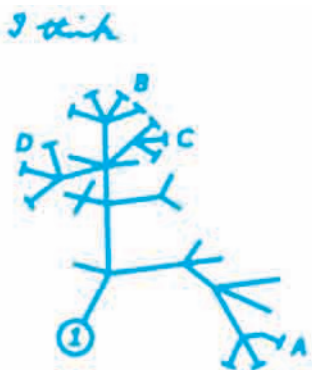
Bardzo rzadko mamy do czynienia z wystawami, gdzie wszystko jest zaprojektowane od początku do końca, łącznie z architekturą. Zazwyczaj wystawa musi zaadaptować się do istniejących warunków i pewne niespodziewane elementy wychodzą na wierzch. Rzecz w tym, żeby z nimi nie walczyć, tylko je wykorzystać. Na ścianach wielu galerii znajdziemy gaśnice, kontakty, kaloryfery, niefortunnie ulokowane drzwi – można oczywiście próbować je ukryć, ale ciekawiej jest wkomponować je w naszą opowieść.

Inne przykłady prześwitującej rzeczywistości?

JW: Kolor i faktura ścian, rodzaj podłogi, oświetlenie czy nawet zapachy. Z tym jest trudniej, ale warto eksperymentować, bo przecież tego typu elementy znacząco wpływają na odbiór opowieści. Niestety, w tekstach krytycznych zwraca się uwagę przede wszystkim na aspekt intelektualny danej ekspozycji, a marginalizuje się lub zupełnie pomija jej wymiar sensualny.

W londyńskim Tate Modern na wszystkich piętrach czuć rybę i frytki z restauracji przy wejściu.

MS: Ciekawe byłoby zbadanie, ile osób zwróciło na to uwagę. I u ilu osób powstało skojarzenie zapachu ryby z Tate – przecież to właśnie zapachy najsilniej stymulują naszą pamięć. Proustowską magdalenkę wystarczy powąchać, nie trzeba jej zjadać.



„Model i metafora”, ilustracje do książki Mai Starakiewicz i Jakuba Woynarowskiego, wyd. Korporacja Ha!art, Kraków 2019 r.; publikacja cyfrowa, Wydawnictwo PWSFTviT w Łodzi, 2022 r.

MAJA STARAKIEWICZ – doktor sztuki, projektantka i ilustratorka, autorka monografii „Model i metafora” (w opracowaniu graficznym Jakuba Woynarowskiego) oraz cyfrowej adaptacji „Eposu o Gilgameszu”. Wykłada na ASP w Krakowie i ANS w Tarnowie.

JAKUB WOYNAROWSKI – doktor sztuki, interdyscyplinarny artysta, projektant oraz kurator; wykładowca ASP w Krakowie. Autor koncepcji artystycznej wystawy w Pawilonie Polskim podczas 14. Międzynarodowego Biennale Architektury w Wenecji. Laureat Paszportu „Polityki” w kategorii sztuk wizualnych.

A przykład wystawy, gdzie świadomie operuje się zapachem?

MS: Brałam kiedyś udział w przygotowaniu wystawy, gdzie prezentowane były zapachy, ale była ona adresowana do dzieci. Dobrze to pokazuje głęboko zakodowaną w kulturze hierarchię zmysłów – „poważne” wystawy operują doznaniem wzrokowymi, ewentualnie dźwiękowymi, a zapachy czy dotyk mogą być co najwyżej dla dzieci, bo kojarzą się bardziej z placem zabaw niż przestrzenią refleksji.

JW: Pamiętam wystawy, gdzie zapach albo sam ruch powietrza były istotne, ale nie zdarza się to często, bo takie instalacje są kosztowne i trudne w realizacji.

A szkoda, bo to ważny element. Jeżeli decydujemy się na stworzenie wystawy, czyli czegoś bardzo materialnego i sensualnego, powinniśmy przynajmniej być świadomi, że jej odbiór będzie przebiegał wielozmysłowo. Tak można chyba podsumować cel naszej wystawy, zmierzającej do mapowania tych istotnych drobiazgów. Bo to właśnie dzięki nim wystawa jest medium wyjątkowym, nieprzekładalnym na inne formy i języki.

W epoce pandemii powstało wiele wirtualnych projektów wystawienniczych. To tylko niedoskonałe substytuty?

MS: Nie, bo wiele parametrów fizycznych da się odwzorować cyfrowo i – co ważniejsze – wystawa wirtualna ma wiele zalet, jak choćby możliwość spokojnego, bardziej kameralnego odbioru sztuki. Trzeba tylko od początku projektować taką wystawę pod konkretne medium i jego możliwości. Jeżeli dokonujemy wyłącznie mechanicznego przeniesienia, to faktycznie wyjdzie nam ułomny substytut.

JW: Cyfrowość bywa również interesującym spoiwem różnych przestrzeni fizycznych – można sobie wyobrazić wystawę, która funkcjonowałaby w kilku odległych miejscach, połączonych ze sobą za sprawą przesyłu obrazu i dźwięku.

MS: Praktyki cyfrowe kładą nacisk na komfort i ergonomię odbioru, co z kolei może być dobrą inspiracją dla wystaw analogowych. Te światy od dawna przenikają się i wzajemnie kształtują, nie ma już sensu utrzymywać między nimi ostrego podziału.

©© Rozmawiał MICHAŁ SOWIŃSKI

www.youtube.com/CopernicusCenter

COPERNICUS

Rozbudzamy ciekawość
i popularyzujemy naukę

M
A
T
E
M
A
T
Y
K
A
I
F
I
Z
Y
K
A
L
O
Z
O
M
I
K
U
L
T
U
R
A

SPRAWDŹ
NASZ KANAŁ NA:
 **YouTube**



ORGANIZATORZY



Copernicus
Center



PRZY WSPARCIU



Ministerstwo
Edukacji i Nauki



PARTNERZY



PARTNERZY MEDIALNI



Projekt „Copernicus Festival 2022: Informacja” jest współfinansowany z programu „Społeczna odpowiedzialność nauki” przyjętego do finansowania w drodze konkursu ogłoszonego 8 marca 2021 r. przez Ministra Edukacji i Nauki (Wartość dofinansowania: 188 400,00 zł, całkowita wartość zadania: 221 900,00 zł).