

Stephen Hawking – "Krótka historia czasu"

(konspekt)

0. Wstęp

"Krótka historia czasu" Stephena Hawkinga ukazała się co prawda już dość dawno (Hawking 1988), niemniej jednak w kontekście jego ostatniej książki (The Grand Design) z 2010 roku nabrała znowu aktualności, gdyż obydwie publikacje wzajemnie się uzupełniają: starsza daje podstawę dla sformułowanej w nowszej koncepcji *realizmu zależnego od modelu* (*model-dependent realism*). Znaczenie i funkcję tego modelu dla systemu biologicznego i społecznego wykorzystałem w moim projekcie "Ogólnej teorii wszystkiego" (Fleischer 2023). Tutaj chcę krótko zreferować tę pierwszą publikację, koncentrując się na trzech aspektach: zasadach antropicznych, hipotezie braku granic i koncepcji czasu, dodając tylko kilka uwag od siebie lub starając się wyjaśnić to, co w ujęciu Hawkinga może być w pierwszym momencie niezrozumiałe.¹

Punktem wyjścia jest przypomnienie, na czym polega teoria naukowa, jaki jest jej status i jak się empirycznie pracuje oraz jaki charakter posiada wiedza naukowa. "Wyjdę tutaj od prostego ujęcia, że teoria składa się z modelu uniwersum lub jednej z jego części, jak i z szeregu reguł, które sytują [dane] wielkości w ramach modelu w relacji do naszych obserwacji. Teoria istnieje tylko w naszym wyobrażeniu i nie posiada żadnej innej rzeczywistości (cokolwiek by to mogło znaczyć). Teoria jest dobra, kiedy spełnia dwie przesłanki: musi opisywać obszerny zestaw obserwacji za pomocą modelu, zawierającego tylko niektóre nieliczne dowolne elementy, oraz musi umożliwiać określone prognozy dla wyników przyszłych obserwacji" (s. 21). Każda teoria fizyki jest więc tymczasowa, gdyż stanowi tylko hipotezę: "nie można jej nigdy dowieść. Jakkolwiek często wyniki eksperymentu zgodne są z daną teorią, nigdy nie można być pewnym, że następnym razem wynik nie zaprzeczy teorii. W przeciwieństwie do tego teoria jest obalona, kiedy znajdzie się tylko jedną jedyną obserwację, która nie pokrywa się z wyprowadzonymi z niej [teorii] prognozami. Karl Popper w swojej ›Logice badań‹ jako cechę dobrej teorii podaje, że produkuje ona szereg prognoz, które zasadniczo w każdej chwili musi dać się obalić, sfalsyfikować przez wyniki obserwacji" (s. 22).

Takie stanowisko to dzisiaj oczywiście standard; niestety jedynie w naukach ścisłych, przyrodniczych i (po części) społecznych, w naukach humanistycznych nadal bowiem pracuje się w modelu hermeneutycznym, polegającym na tym, że "my w naukach humanistycznych nigdy nie rozwiązujemy jakichś problemów, lecz one nam tylko brzydą. A żądanie ›zapomnijcie...‹ – z jakimkolwiek pojęciem w miejsce tych trzech kropek – stało się odtąd najbardziej ulubionym i jednocześnie zakłamanym syrenim śpiewem, który w ulotnej modernie wydobywa się ze wszystkich głośników i słuchawek" (Bauman/Lyon 2013, 74). Stąd potem takie właśnie wyniki badań (o ile to badania).

1. Zasady antropiczne

Po tym wstępie, mającym ukierunkować dalszy wywód, Hawking przechodzi do scharakteryzowania obydwu zasad antropicznych, które w rzeczy samej zrobiły w fizyce sporą

¹ Co nie oznacza, że ja wszystko rozumiem.

Ponieważ wszystkie cytaty pochodzą z książki Hawkinga, podawał będę tylko strony wydania z 2001 roku.

karierę, bo też ich teoretyczna wydolność jest znaczna (patrz na przykład – Barrow, Tipler 1986). Jak zwykle w fizyce, ich przesłanka jest niezwykle prosta – "Widzimy uniwersum, jakim ono jest, ponieważ egzystujemy" (s. 161). Nie oznacza to oczywiście, że kształt uniwersum zdeterminowany jest nami czy przez nas, lecz przeciwnie – to że my (lub jakiegokolwiek inne zwierzę) tak a nie inaczej istniejemy, wynika z tego, że w związku z tym przedtem musiało dojść do... I tutaj cofamy się w analizie krok po kroku do stanów rzeczy, które musiały być, aby w rezultacie ich oddziaływań możliwi byliśmy my. Analizuje się zatem Kantowskie "warunki możliwości" (Kant 1781, 432). Fascynująca dla mnie jest tutaj prostota tego odwrócenia perspektywy. Ale potrzebny był jeszcze jeden element, a mianowicie podstawowa przesłanka fizyki, że w uniwersum wszystko współoddziałuje ze wszystkim. Skoro więc (na mocy praw fizyki) tak jest, to z istnienia, z obserwacji stanu B jakiegoś systemu lub stanu rzeczy możemy wnioskować o warunkach, jakie musiały być obecne w stanie A (czyli przedtem), aby z niego możliwe było powstanie stanu B. W ten sposób od stanu końcowego – czyli tego, który możemy tu i teraz obserwować – dojść można do... Wielkiego Wybuchu. Dla uniknięcia nieporozumień – ewolucja przebiega oczywiście, pozostajemy przy tym porównaniu, od stanu A do B, do C, do D itd. Dla analizy jednak, czyli odpowiedzi na pytanie, jakie były warunki możliwości powstania tego, co obserwujemy, odpowiednia i niezmiernie owocna jest również odwrotna perspektywa (analityczna!), czyli wnioskowania z istniejącego elementu o takim a nie innym kształcie i funkcji na warunki, które musiały być obecne przedtem, aby to co istnieje mogło być powstać. To znaczy w wypadku analizy zjawisk poruszamy się wstecz w celu wyjaśniania zjawisk zachodzących w przeciwnym kierunku, to jest zgodnie ze strzałką czasu (patrz niżej). Ten typ rozumowania doprowadził właśnie do sformułowania słabej i silnej zasady antropicznej.

Słaba antropiczna zasada wynika z i sprowadza się do przesłanki, że w dużym lub nieskończonym uniwersum inteligentne życie powstaje tylko w pewnych jego regionach i w pewnych warunkach. "Dlatego nie powinno zaskakiwać inteligentnych istot, żyjących w tych regionach, kiedy stwierdzają, że ich obszar w uniwersum odpowiada warunkom, które dla ich egzystencji są konieczne. Przypomina to trochę sytuację bogatego człowieka, który nie widzi biedy, ponieważ żyje w bogatej dzielnicy. Przykładem zastosowania słabej antropicznej zasady jest sposób, w jaki ›wyjaśnia‹ się, że Wielki Wybuch dokonał się mniej więcej przed 10 miliardami lat: właśnie tyle trwa, aż rozwiną się inteligentne istoty" (s. 162).²

Jeszcze dalej idzie *silna antropiczna zasada*: istnieje albo wiele różnych regionów uniwersum albo wiele różnych uniwersów, "każde z własnym prastanem oraz może – z własnym systemem praw natury" (s. 162). W większości tych uniwersów nie było warunków dla powstania kompleksowych organizmów. "Tylko w niewielu uniwersach, jak tym naszym, rozwinęły się inteligentne istoty, pytające się: ›dlaczego uniwersum jest takie, jakim my je widzimy?‹. W tych warunkach odpowiedź jest prosta: gdyby było inaczej, nie byłoby nas tu!" (s. 163).

2. Hipoteza braku granic

Nim przejdziemy do tej hipotezy, trzeba jeszcze poruszyć kwestię energii w kontekście hipotezy wielu uniwersów. Hawking wychodzi od stwierdzenia, że łączna energia uniwersum wynosi 0. Trochę to kontraintuicyjny pogląd, bo przecież energii dookoła mamy w bród, lub nawet jeszcze więcej. Niewykluczone, póki poruszamy się na mezopoziomie, przechodząc na makro- lub mikropoziom Hawking argumentuje tak.

² Dla wyjaśnienia – nie chodzi tu oczywiście o antropocentryzm; w miejsce 'nas' wziąć można kogo- lub cokolwiek.

Materia składa się z pozytywnej energii. Cała ta materia przyciąga się na skutek działania grawitacji. Ale dwa kawałki materii znajdujące się blisko siebie posiadają mniej energii niż te same kawałki, kiedy sytuują się w dużej odległości, ponieważ konieczna jest energia, aby oddzielić je od siebie przeciw oporowi siły grawitacji, która dąży do skierowania kawałków materii ku sobie. W tym sensie pole grawitacyjne posiada negatywną energię. Dla uniwersum, które przestrzennie jest mniej więcej równomiernie rozłożone, można pokazać, "że ta negatywna energia grawitacji dokładnie niweluje reprezentowaną przez materię pozytywną energię. Dlatego łączna energia uniwersum jest równa 0" (s. 168). Z tego wynika niezmiernie intrygujący wniosek, a przynajmniej hipoteza, że w takim razie istnieć może wiele uniwersów, bo $X \text{ razy } 0 = 0$, więc zasada zachowania energii (pierwsza zasada termodynamiki) zostaje zachowana, a to konieczne, ponieważ jest ona fundamentalną zasadą fizyki; nie tylko dlatego, że nie da jej się obalić,³ lecz również dlatego, że nie udało się dotychczas zaobserwować, a tym samym wykazać przypadku jej nieobowiązywania.

Można by wtedy przyjąć, że "warunkiem granicznym uniwersum jest to, że nie ma ono granic. Uniwersum byłoby w sobie całkowicie zamknięte i nie poddane żadnym zewnętrznym wpływom.⁴ Nie byłoby ani stworzone, ani zniszczone. Ono by po prostu BYŁO" (s. 178).

Hawking podkreśla w tym miejscu, "że wyobrażenie o ograniczonej czasoprzestrzeni bez granic to tylko propozycja: nie da jej się wyprowadzić z żadnej innej zasady. Jak każda naukowa teoria może ona być rozwijana z estetycznych lub metafizycznych powodów, lecz do próby jej wykazania dochodzi wtedy, kiedy się sprawdza, czy produkuje ona prognozy, pokrywające się z danymi obserwacyjnymi. (...) Bowiem jeśli wszystkie historie są możliwe, to możemy, póki egzystujemy w jednej z tych historii, stosować antropiczną zasadę, aby wyjaśnić teraźniejszą organizację uniwersum. Jakie znaczenie może być przypisane tym innym historiom, w których my się nie pojawiajemy, nie jest jasne" (s. 178 i 179). Jest historia uniwersum, w którym my jesteśmy, i ją możemy badać w ramach antropicznej zasady. Ponadto zaś są liczne inne uniwersa o swych historiach, a mianowicie jest "10⁵⁰⁰ różnych uniwersów, a każde z nich z własnymi prawami" (Hawking/Mlodinow 2020, 119). Ciekawe natomiast jest – co z tego wynika?

3. Czas

"Stosując hipotezę braku granic, widzimy, że prawdopodobieństwo większości możliwych historii możemy pominąć, ale istnieje pewna rodzina historii, które są bardziej prawdopodobne niż inne. Można je sobie wyobrazić jako powierzchnię Ziemi, przy czym odstęp [dowolnego punktu] od bieguna północnego odpowiada czasowi, a wielkość okręgu z tym samym odstępem od bieguna północnego odpowiada danemu rozłożeniu uniwersum w przestrzeni. Uniwersum zaczyna się jako pojedynczy punkt na biegunie północnym. Im dalej poruszamy się (w czasie) na południe, tym szersze stają się kręgi z tym samym odstępem od bieguna północnego, reprezentujące ekspansję uniwersum w imaginowanym czasie. Na równiku uniwersum osiągnęłoby swą maksymalną wielkość, a z upływem imaginacyjnego czasu zesłoby się na biegunie południowym znowu w jeden punkt. Mimo iż uniwersum na biegunie północnym i południowym miałoby wielkość zero, punkty te nie byłyby singularnościami,⁵ tak samo jak biegun północny i południowy Ziemi nie są singularnościami. Prawa natury zachowują w nich swe obowiązywanie, jak ma to też miejsce na biegunie północnym i południowym Ziemi" (s. 180). Czas, w którym odbywa się postulowany tutaj rozwój uniwersum, Hawking nazywa

³ Gdyż jest zdaniem doświadczeniowym, a trudno zmierzyć energię całego uniwersum; stąd też zasady termodynamiki to zasady, a nie prawa.

⁴ Chodzi tutaj o to, że byłoby bez granic, ale zamknięte, podobnie jak ma to miejsce w wypadku kuli.

⁵ W polskiej terminologii fizyki zjawisko to nazywane jest 'osobliwością', więc będę stosował tę formę.

imaginacyjnym czasem (czasem tej teorii), a ten, który my konceptualizujemy (bo nie postrzegamy czasu, nie mamy na to zmysłu) – realnym czasem, tyle że nie bardzo wiadomo, czy nie jest odwrotnie. Sytuacja ma się więc tak, że wtedy uniwersum mogłoby być skończone w imaginacyjnym czasie, nie wykazując ani osobliwości ani granic; natomiast w czasie odpowiadającym realności, w którym my żyjemy, osobliwości się pojawiają. "To mogłoby sugerować przypuszczenie, że tak zwany imaginacyjny czas jest w rzeczywistości realnym czasem, a to co nazywany realnym czasem, jest tylko produktem naszej siły wyobraźni. W czasie odpowiadającym realności uniwersum ma początek i koniec na osobliwościach,⁶ które dla czasoprzestrzeni tworzą granicę i przy której prawa natury tracą swe obowiązywanie. W imaginacyjnym czasie zaś nie ma osobliwości lub granic. I tak może to, co nazywamy imaginacyjnym czasem, ma o wiele bardziej podstawowe znaczenie, a to, co nazywamy realnym, jest tylko pojęciem, które wynaleźliśmy, aby opisać nasze wyobrażenie o uniwersum. (...) [tyle że] naukowa teoria nie jest niczym więcej, jak matematycznym modelem, który projektujemy, aby opisać nasze obserwacje: egzystuje on tylko w naszej głowie. Dlatego bezsensownym jest pytanie: co jest prawdziwe, ›realny‹ czy ›imaginacyjny‹ czas? Chodzi wyłącznie o to, który z obydwu jest użyteczniejszym opisem" (s. 182).

Wprowadzając koncept imaginacyjnego czasu, nie da się go odróżnić od kierunków w przestrzeni. Kiedy idzie się na północ, można się odwrócić i iść na południe. "Tak samo, poruszając się w imaginacyjnym czasie do przodu, można się odwrócić i poruszać się wstecz. Innymi słowy: w imaginacyjnym czasie nie może być znaczącej różnicy między wprzód i wstecz. W przeciwieństwie do tego w ›realnym‹ czasie, jak wszyscy wiemy, jest ogromna różnica między kierunkiem wprzód i wstecz [czasu]. Skąd bierze się ta różnica między przeszłością a przyszłością? Dlaczego przypominamy sobie przeszłość, ale nie przyszłość. Prawa natury nie wyróżniają między przeszłością a przyszłością. Dokładniej: prawa, ustalające zachowanie się materii we wszystkich normalnych sytuacjach, pozostają (...) przy kombinacji operacji (lub symetrii) C, P i T niezmiennie. (C oznacza zamianę cząstek na antycząstki, P oznacza lustrzane odwrócenie, to znaczy zamianę między prawym a lewym, T natomiast oznacza odwrócenie kierunku ruchu wszystkich cząstek – innymi słowy: bieg ruchu wstecz). Również przy kombinacji obydwu operacji C i P prawa natury się nie zmieniają. (...) Jeśli prawa natury nie zmieniają się ani przy kombinacji operacji C i P, ani C, P i T, to muszą pozostać inwariantne również przy samej operacji T" (s. 186).⁷ Mimo to w codzienności pojawia się istotna różnica między wprzód i wstecz. Spadająca filiżanka się tłucze, ale nie na odwrót (potłuczona składa się w całość), co wyjaśniane jest zwykle drugą zasadą termodynamiki, według której w zamkniętych systemach nieporządek czyli entropia z upływem czasu wzrasta. Ten wzrost nieporządku/entropii w czasie nazywany jest strzałką czasu, która różnicuje przeszłość i przyszłość, wprowadzając kierunek czasu właśnie. Jednak "istnieją co najmniej trzy różne strzałki czasu: termodynamiczna strzałka czasu, kierunek czasu, w którym nieporządek albo entropia rosną; psychologiczna strzałka czasu, kierunek, w którym na mocy naszego wyobrażenia czas się kontynuuje, kierunek, w którym przypominamy sobie przeszłość, ale nie przyszłość; oraz kosmologiczna strzałka czasu, kierunek czasu, w którym uniwersum się rozprzestrzenia, a nie kurczy" (s. 187).

Teraz Hawking chce pokazać, że warunek braku granic wespół ze słabą antropiczną zasadą wyjaśnia, dlaczego wszystkie trzy strzałki wykazują ten sam kierunek oraz dlaczego w ogóle musi istnieć ustalona strzałka czasu. "Będę reprezentował stanowisko, że psychologiczna

⁶ Ponieważ to właśnie osobliwości, więc 'na' a nie 'w' osobliwościach. To drobiazg, ale ważny.

⁷ Teoremat CPT (od angl. charge, parity, time) – sformułowany w 1954 przez Gerharta Lüdersa i w 1955 przez Wolfganga Pauli – mówi (w uproszczeniu), że zamiana jednego z tych trzech elementów na jego przeciwieństwo nie przeczy prawom fizyki, a zatem stan taki jest możliwy.

strzałka ustalona jest przez termodynamiczną i że obydwie te strzałki muszą w sposób stały wykazywać ten sam kierunek. Jeśli przyjmujemy dla uniwersum warunek braku granic, to, jak zobaczymy, musi istnieć określona termodynamiczna i kosmologiczna strzałka czasu, ale nie będą one przez całą historię uniwersum wskazywać w tym samym kierunku.⁸ Moje stanowisko to: tylko jeśli wskazują one w tym samym kierunku, istnieją odpowiednie warunki dla rozwinięcia się inteligentnych istot żywych, mogących pytać: dlaczego nieporządek wzrasta w tym samym kierunku czasu, w którym również uniwersum ekspanduje?" (s. 188). Przyjrzyjmy się więc bliżej termodynamicznej strzałce czasu.

"Druga zasada termodynamiki bierze się stąd, że zawsze jest więcej stanów nieporządku niż porządku. (...) Załóżmy, że system zaczyna się od jednego z niewielu stanów wysokiego porządku. Z czasem będzie się rozwijał zgodnie z prawami natury i zmieniał swój stan. Prawdopodobieństwo przemawia za tym, że system w późniejszym czasie będzie się znajdował w stanie nieporządku a nie w uporządkowanym, ponieważ jest więcej stanów nieporządku. Dlatego nieporządek będzie z reguły wzrastał, kiedy system znajduje się w początkowym stanie wysokiego porządku. (...) Weźmy przeciwny przypadek, bóg, załóżmy, zdecydował, że uniwersum ma się zakończyć w stanie wysokiego porządku, ale jest obojętne, w jakim stanie by się zaczął", na początku byłoby zatem w stanie nieporządku, a potem nieporządek ten by się z czasem zmniejszał. "Potłuczone filiżanki byłyby się składały i wskakiwały na stół. Wszyscy ludzie, obserwujący takie filiżanki, żyli by w uniwersum, w którym nieporządek z czasem by malał. Twierdzę, takie istoty miałyby psychologiczną strzałkę czasu ukierunkowaną wstecz. To znaczy, przypominały by sobie wydarzenia z przyszłości, a nie z ich przeszłości. Kiedy filiżanka byłaby potłuczona, wtedy nie przypominały by sobie, jak stała na stole; natomiast kiedy stałaby na stole, przypominały by sobie, że leżała na podłodze" (obydwa cytaty s. 189).

Ponieważ Hawking chce wyjaśnić rzecz z pominięciem konstrukcji mózgu, o którym, jak mówi, niewiele jeszcze wiemy, stosuje metaforę komputera dla wyjaśnienia psychologicznej strzałki czasu, dochodząc do wniosku – "A zatem nasze subiektywne odczucie dla kierunku czasu, czyli psychologiczna strzałka czasu, jest ustalona w mózgu przez termodynamiczną strzałkę czasu. Tak jak komputer musimy sobie przypominać rzeczy w kolejności, w której entropia rośnie. To czyni drugą zasadę termodynamiki prawie trywialną. Nieporządek rośnie wraz z czasem, ponieważ mierzymy czas w kierunku, w jakim rośnie nieporządek. (...) Ale dlaczego termodynamiczna strzałka czasu musi w ogóle się pojawiać? Inaczej pytając: dlaczego uniwersum na jednym z końców czasu, tym końcu, który nazywamy przeszłością, musi się znajdować w stanie zmanifestowanego porządku? Dlaczego nie jest stale w stanie pełnego nieporządku? To byłoby przecież bardziej prawdopodobne. I dlaczego kierunek czasu, w którym nieporządek wzrasta, jest tym samym, w którym uniwersum ekspanduje? Z klasycznej teorii ogólnej względności [sic!] nie da się wyprowadzić, jak uniwersum się zaczęło, ponieważ wszystkie znane prawa natury przy osobliwości Wielkiego Wybuchu tracą obowiązywanie. Uniwersum mogłoby być powstać w równomiernie uporządkowanym stanie. To doprowadziłoby do jednoznacznie zdefiniowanej termodynamicznej i kosmologicznej strzałki czasu, które obserwujemy. Ale mogłoby też być powstać w zbrylonym i nieuporządkowanym stanie. W tym wypadku uniwersum już by się znajdowało w stanie pełnego nieporządku, tak że nieporządek z czasem nie mógłby już rosnąć. Pozostawałby on dzisiaj albo taki sam, wtedy nie byłoby ustalonej termodynamicznej strzałki czasu, albo by się zmniejszał, wtedy kierunek termodynamicznej strzałki czasu byłby przeciwny do kosmologicznej. Żadna z tych możliwości nie odpowiada naszym obserwacjom" (s. 191). Aby jednak wyjaśnić te zależności i

⁸ Gdyż, jak wiemy z przykładu z biegunami Ziemi, termodynamiczna strzałka czasu powinna wtedy oddziaływać w drugą stronę – MF.

odpowiedzieć na pytania dotyczące niezrealizowanych, ale możliwych możliwości i rozwiązać problem osobliwości..., musimy poczekać na wypracowanie kwantowej teorii grawitacji, czyli na ogólną teorię wszystkiego. "Trudność konieczności opisu tego, czego nie wiemy i wiedzieć nie możemy, uniknąć można tylko wtedy, kiedy historie sprostają warunkowi braku granic: kiedy zatem są skończone w rozprzestrzenieniu, ale nie posiadają granic, brzegów lub osobliwości" (s. 191).

Jednak "z warunku braku granic wyniknęło, że nieporządek wzrastałby również w fazie kontrakcji [uniwersum]. Zgodnie z tym nie dochodzi do odwrócenia psychologicznej i termodynamicznej strzałki czasu w trakcie kontrakcji uniwersum lub we wnętrzu czarnych dziur. (...) Dlatego nie może istnieć inteligentne życie w fazie kontrakcji uniwersum. Z tego powodu obserwujemy, że termodynamiczna i kosmologiczna strzałka czasu pokazują w tym samym kierunku. To nie ekspansja uniwersum powoduje wzrost nieporządku, lecz warunek braku granic sprawia, że tylko w fazie ekspansji nieporządek wzrasta, a warunki dla inteligentnego życia są odpowiednie" (s. 194-195).

"Podsumujmy: prawa natury nie robią żadnej różnicy między kierunkiem wprzód i wstecz czasu. Istnieją jednak co najmniej trzy strzałki czasu, które różnią przeszłość od przyszłości: termodynamiczna strzałka, kierunek czasu, w którym nieporządek wzrasta, psychologiczna strzałka, kierunek czasu, w którym przypominamy sobie przeszłość a nie przyszłość, oraz kosmologiczna strzałka, kierunek czasu, w którym uniwersum ekspanduje, a nie się kurczy. Pokazałem, że psychologiczna strzałka jest w istocie tą samą co termodynamiczna, tak że obydwie stale pokazują w tym samym kierunku. Hipoteza, że uniwersum nie ma granic, prognozuje egzystencję ukształtowanej termodynamicznej strzałki, ponieważ uniwersum musi powstać z równomiernego i uporządkowanego stanu. A zgodność termodynamicznej i kosmologicznej strzałki obserwujemy, ponieważ inteligentne istoty istnieć mogą tylko w fazie ekspansji. Faza kontrakcji dla istot takich jak my będzie nieodpowiednia, ponieważ nie ma ona żadnej zaimplementowanej termodynamicznej strzałki" (s. 196).

Literatura

- Barrow John D., Tipler Frank J., 1986, *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford.
- Bauman Zygmunt, Lyon David, 2013, *Daten, Drohnen, Disziplin. Ein Gespräch über flüchtige Überwachung*. Berlin (ang. *Liquid Surveillance*, 2013).
- Fleischer Michael, 2023, *Ogólna teoria wszystkiego*. Kraków.
- Hawking Stephen, 2001, *Eine kurze Geschichte der Zeit* (oryginał ang. 1988). Hamburg.
- Hawking Stephen, Mlodinow Leonard, 2020, *Der Große Entwurf. Eine neue Erklärung des Universums*. Reinbek (angl. *The Grand Design*. New York 2010; pl. *Wielki projekt*. Warszawa 2011).
- Kant Immanuel, 1900... (1781), *Kant's Gesammelte Schriften*. "Akademieausgabe". Bd. IV. Berlin.