

ANNA KOZANECKA-DYMEK*

STOSOWALNOŚĆ JĘZYKA NIEKTÓRYCH SYSTEMÓW LOGIKI TEMPORALNEJ W NAUKACH PRZYRODNICZYCH

Słowa kluczowe: stosowalność, język, logika temporalna, nauki przyrodnicze, adekwatność, fizyczny model czasu
Keywords: application, language, temporal logic, natural sciences, adequacy, physical model of time

Logika temporalna jest logiką nieklasyczną. Jej systemy zaczęto konstruować pod koniec pierwszej połowy ubiegłego stulecia. Do dnia dzisiejszego skonstruowanych zostało wiele różnych systemów temporalnych. Mianem logiki temporalnej określane są zwłaszcza: systemy *tense logic* (których prekursorem jest A.N. Prior); systemy temporalne G.H. von Wrighta; logika czasu empirycznego – *logic of empirical time* (zawierająca zmienną czasową) zapoczątkowana przez J. Łosia, a rozwijana zwłaszcza przez N. Reschera i A. Urquharta¹; systemy logiki czasu interwałowego (np. systemy

* Anna Kozanecka-Dymek – dr, adiunkt w Katedrze Logiki KUL. Doktorat: *Problem adekwatności niektórych systemów logicznych do przedstawienia własności czasu i relacji czasowych* (2008). Zainteresowania: historia logiki, logika temporalna, logika niefregowska, logika nieformalna. Obecnie pracuje nad zastosowaniami logiki temporalnej w naukach prawnych. E-mail: akozdym@kul.pl.

¹ Logika tego rodzaju podaje prawa rządzące poprawnym użyciem zwrotu „w czasie”. Niedawno M. Tkaczyk w pracy *Logika czasu empirycznego* przedstawił minimalną logikę

J. van Benthema, Y. Venemy)²; logika temporalna budowana w różnych wersjach języków hybrydowych³ (np. systemy C. Arecesa) oraz systemy temporalne wykorzystujące pojęcie czasu w programach komputerowych (od standardowych systemów *Linear Temporal Logic* po różne wersje *Branching Temporal Logic*)⁴. Wymienione rodzaje logiki temporalnej są od siebie niezależne (różnią się między sobą występującymi na ich gruncie specyficznymi funktorami temporalnymi), mają jednak wspólną własność: formalizują wyrażenia czasowe⁵.

Systemom logiki temporalnej można stawiać różnorodne zadania i znajdować dla nich różne zastosowania⁶. W niniejszym artykule przedstawiam jedno z istniejących stanowisk w kwestii zastosowań systemów temporalnych. Stanowisko to można określić mianem „usługowego”. Głosi ono, że niektóre systemy logiki temporalnej mogłyby znaleźć zastosowanie na gruncie nauk przyrodniczych, głównie fizyki i kosmologii (zważywszy na ważność elementu czasowego w tych naukach), dostarczając im ścisłego

czasu empirycznego (ET). Logika ta podaje prawa rządzące poprawnym użyciem zwrotu „w czasie” na gruncie teorii fizykalnych.

² Tego rodzaju logiki oparte są na strukturze czasu złożonej nie z punktów (momentów czasowych), ale z przedziałów (interwałów).

³ Bazowy hybrydowy język temporalny (zdaniowy) uzyskuje się poprzez dodanie drugiego rodzaju zmiennych zdaniowych, zwanych nominalami (*nominals*) {i, j, k, ...} – ich zadaniem jest nazywanie punktów w modelu – oraz dwuargumentowego funktora spełniania, który łączy dowolny nominal z dowolną formułą (formuła ϕ jest spełniona w punkcie i).

⁴ *Linear Temporal Logic* – linearna logika temporalna – konstruowana jest w oparciu o model czasu linearnego, natomiast *Branching Temporal Logic* – rozgałęziona logika temporalna – w oparciu o rozgałęzioną koncepcję czasu. Przyjmując, że czas jest zbiorem momentów uporządkowanych przez relację wcześniejszej/później, w modelu czasu linearnego relacja ta jest przechodnia i spójna, natomiast w modelu czasu rozgałęzionego jest przechodnia, ale nie jest spójna.

⁵ Pomiędzy wymienionymi systemami zachodzi również szereg analogii strukturalnych.

⁶ Do zadań stawianych systemom logiki temporalnej należy m.in. formalizacja czasów gramatycznych (np. teoria H. Reichenbacha, C. Arecesa) czy też analiza stanowisk filozoficznych (np. koncepcja Ockhamowskiej historycznej konieczności). Różne systemy temporalne dostarczają także cennego materiału do badań metalogicznych. Obecnie odpowiednie systemy logiki temporalnej znajdują przede wszystkim zastosowanie w informatyce (ich język stosowany jest do specyfikacji szerokiego spektrum systemów informatycznych, a metody do weryfikacji programów).

języka (poprzez formalizowanie pewnych zwrotów czasowych) do precyzyjnego wyrażania niektórych ich wyników poznawczych (związanych z czasem) oraz do ukazania formalnej struktury rozumowań zawierających określone wyrażenia czasowe, a także dostarczając narzędzi do kontrolowania poprawności tego rodzaju wnioskowań. Takie zadania można postawić zwłaszcza systemom von Wrighta oraz systemom *tense logic*⁷.

Studium prac poświęconych logice zdań czasowych wskazuje, że zagadnienie stosowalności logiki (także temporalnej) w naukach przyrodniczych stanowi rozległe pole do badań. W artykule tym przedstawiona zostanie tylko jedna z wielu możliwości wykorzystania logiki temporalnej w fizyce.

1. Dlaczego nauki nieformalne mogłyby korzystać z języka logiki formalnej?

Jak już wspomniano, w kwestii zadań stawianych systemom logiki temporalnej (w związku z formalizacją zwrotów czasowych i kodyfikacją wnioskowań uwzględniających takie zwroty) można wyróżnić stanowisko głoszące, że niektóre systemy temporalne mają swoisty związek z naukami przyrodniczymi i mogłyby znaleźć zastosowanie na ich gruncie (zwłaszcza język tych systemów). Stanowisko to związane jest z zagadnieniem relacji logiki formalnej do innych typów wiedzy.

Faktem jest, że na przestrzeni lat różne dyscypliny naukowe nieustannie wzbogacają się treściowo. Konsekwencją tego jest ubogacanie się języka nauki. Do dokładnego wyrażania swoich coraz to nowszych rezultatów poznawczych poszczególne typy wiedzy, przede wszystkim nauki przyrodnicze, potrzebują odpowiedniego języka – ścisłego i precyzyjnego. Każda nauka powinna bowiem zmierzać do tego, żeby jej język był adekwatny do wyrażania formułowanych na jej gruncie praw, hipotez, definicji itp. Logika formalna stara się natomiast sprecyzować sens niektórych terminów występujących we wszystkich językach: potocznym, sztucznych i w językach poszczególnych dyscyplin naukowych (łączących język potoczny ze sztucznym) oraz sformułować prawa racjonalnego rozumowania, w którym

⁷ Używając dalej pojęcia „logika temporalna”, będę mieć na myśli głównie wspomniane systemy.

takie terminy występują. Systemy logiki formalnej zawierają tzw. stałe logiczne, które mogą służyć do wyrażania myśli z większą precyzją niż za pomocą ich potocznych odpowiedników oraz do ukazania formalnej struktury rozumowań przeprowadzanych w języku potocznym lub w językach różnych nauk; dostarczają także potrzebnych narzędzi do sprawdzania niezawodności tych wnioskowań. Języki formalne mogą być adekwatnymi rekonstrukcjami języków naturalnych (ich części) odpowiednio do pewnych celów. Różne nauki mogłyby zatem sięgnąć do środków językowych i aparatury inferencyjnej (tj. reguł wnioskowania) wypracowanych przez logikę formalną, w związku z czym niektóre systemy logiczne mogłyby znaleźć zastosowanie w tych naukach.

System formalny powinien zatem przede wszystkim dostarczać danej dziedzinie naukowej (w której miałby być stosowany) formalnego języka do precyzyjnego wyrażania niektórych jej rezultatów poznawczych. Język rachunku logicznego, żeby nadawał się do formalizowania tez danej nauki, musi zawierać funktory, za pomocą których można by formalizować pewne zwroty występujące na jej gruncie; struktura językowa danego systemu musi być strukturą języka, w którym wyrażona jest jakaś teoria dotycząca świata realnego. Język dobrze skonstruowanego i odpowiednio użytego systemu formalnego powinien także służyć do formalizowania niektórych wnioskowań przeprowadzanych w języku danej nauki, w której system ten miałby znaleźć zastosowanie, a odpowiednie reguły powinny służyć do sprawdzania poprawności tych wnioskowań.

Zagadnienie stosowalności logiki formalnej (szczególnie jej języka) w różnych typach wiedzy podejmowane było dość często przez różnych autorów. Wielu próbowało stosować klasyczny rachunek logiczny także w innych naukach niż matematyka, zwłaszcza w filozofii i w fizyce⁸.

2. Zarys kwestii stosowalności logiki formalnej w fizyce

Problematyką stosowalności logiki formalnej w fizyce zainteresowano się po raz pierwszy w Polsce – w latach trzydziestych ubiegłego wieku. Pojawił

⁸ S. Kiczuk, *Logiki nieklasyczne i perspektywy ich zastosowań w filozofii*, „Roczniki Filozoficzne” 39, nr 1 (1981) oraz tenże, *Przedmiot logiki formalnej oraz jej stosowalność*, Lublin: RW KUL 2001.

się wówczas problem logiki mechaniki kwantowej. Jej konstruowaniem zajmował się Z. Zawirski oraz m.in. H. Reichenbach, G. Birkhoff i G.F. von Neumann. Autorzy ci wskazywali na potrzebę konstruowania nowych systemów formalnych, zwłaszcza wielowartościowych (bądź wykorzystania już istniejących, np. trójwartościowej logiki Łukasiewicza), bardziej nadających się, ich zdaniem, do formalizowania teorii fizykalnych związanych z mechaniką kwantową niż klasyczny rachunek zdań. Autorzy ci opowiadali się więc za możliwością stosowania (odpowiedniej) logiki w teoriach fizykalnych. Obecnie kwestią stosowalności systemów logicznych w fizyce zajmuje się np. P. Weingartner, grupa węgierskich badaczy: H. Andréka, J.X. Madarász, I. Németi, a w Polsce M. Tkaczyk⁹. Problematyki tej dotyczyła również m.in. konferencja, która odbyła się w Brukseli w dniach 11–12 XII 2008 (*Logic and the foundations of physics: space, time and quanta*). Mimo wielu badań wciąż otwarty pozostaje zwłaszcza problem formalizowania teorii fizykalnych związanych z mechaniką kwantową.

Przyczyną nieporozumień pojawiających się w dyskusji dotyczącej stosowalności logiki formalnej w fizyce był fakt, iż długo nie uświadamiano sobie tego, że fizyka posługuje się dwoma językami¹⁰. Na to rozróżnienie zwrócił uwagę dopiero W. Heisenberg¹¹. Jednym z nich jest język matematyki, w którym wyrażane są prawa fizyki stwierdzające określone zależności. Przyjmują one postać równań. Język ten ściśle opisuje związki zachodzące w przyrodzie i pozwala obliczyć wartości wielkości fizycznych, gdy dane są wartości innych wielkości. Jednakże fizyka posługuje się także drugim

⁹ M. Tkaczyk, *Logika czasu empirycznego*, Lublin: KUL 2009.

¹⁰ Zdaniem S. Kiczuka czytając prace Zawirskiego, Reichenbacha i innych autorów konstruujących niegdyś logikę mechaniki kwantowej, można dojść do wniosku, że autorom tym nie chodziło o logikę, którą można by stosować do twierzeń fizyki wyrażonych za pomocą języka matematyki. Wydaje się, że poszukiwali oni logiki związanej z innym, niż matematyczny, językiem fizyki (mimo że nie mówili wprost o tym, że fizyka posługuje się jeszcze jakimś językiem, oprócz matematycznego). S. Kiczuk, *Przedmiot logiki formalnej oraz jej stosowalność*, s. 117–179.

¹¹ Zdaniem Heisenberga doświadczalne odkrycia pierwszych dziesięcioleci XX w. spowodowały rewizję podstaw fizyki nowożytnej. Problematyczne stało się mówienie o świeżo zbadanych obszarach natury, głównie mikroświata. Zawiodł język potoczny, co zmusiło fizyków do refleksji nad językiem fizyki. Heisenberg widział potrzebę opracowania języka wyobrazeniowego związanego z formalizmem matematycznym mechaniki kwantowej. W. Heisenberg, *Część i całość*, tłum. K. Napiórkowski, Warszawa 1987 oraz tenże, *Ponad granicami*, tłum. K. Wolicki, Warszawa 1979.

językiem, którym jest tzw. *język wyobrażeniowy* (związany z językiem matematycznym) – zbliżony do języka potocznego, ale wzbogacony specjalistyczną terminologią. Za pomocą języka wyobrażeniowego opisuje się w sposób bardziej zrozumiały to, co jest wyrażone w języku matematyki. Kluczowymi terminami przedmiotowymi występującymi w języku wyobrażeniowym współczesnych teorii fizykalnych są m.in. terminy: „czas”, „zmiana”, „przyczyna”, „przestrzeń”, „kwant”, „energia”, „entropia”. Język nauk przyrodniczych bazuje zatem nie tylko na języku matematyki (logiką takiego języka jest klasyczny rachunek logiczny), ale także na wspomnianym języku wyobrażeniowym, za pomocą którego można adekwatnie wyrażać niektóre prawa fizyki o charakterze *jakościowym*, zwłaszcza prawa przyczynowe.

Wyżej wspomniano o możliwości stosowania w fizyce różnych systemów wielowartościowych. Jednak kwestia stosowalności logiki formalnej w teoriach fizykalnych na tym się nie kończy¹². W związku z tym, że środki formalne klasycznego rachunku logicznego nie dostarczają potrzebnych narzędzi do formalizowania pewnych zwrotów języka wyobrażeniowego teorii fizykalnych (klasyczny rachunek logiczny jest, jak wspomniano, logiką języka matematycznego fizyki), zastosowanie w tych teoriach mogłyby znaleźć niektóre logiki nieklasyczne będące rozszerzeniem klasycznego rachunku zdań. Tego rodzaju logiki zawierają nowe, nieekstensjonalne funktory, które to funktory respektują intensjonalny charakter zwrotów związanych z kluczowymi terminami występującymi w języku wyobrażeniowym nauk przyrodniczych oraz kodyfikują rozumowania występujące w teoriach fizykalnych. Do takich logik należą zwłaszcza: logika zmiany, logika przyczynowości oraz niektóre systemy logiki temporalnej. Problematykę zastosowania w fizyce systemów logiki zmiany i logiki przyczynowości

¹² Niektórzy logicy uważają, iż w fizyce można zastosować nie tylko język logiki, ale także jej metodę. Rozwój teorii systemów dedukcyjnych na początku wieku XX zrodził w tym czasie przekonanie, że poprawna teoria fizykalna powinna być teorią odpowiednio zaksjomatyzowaną (obecnie mówi się raczej o logicznej rekonstrukcji teorii przyrodniczych: rekonstrukcja logiczna teorii fizykalnej polega na takim jej zmodyfikowaniu, że każdy element składowy tej teorii zostaje jednoznacznie określony; jednoznacznie określona powinna być aparatura pojęciowa, której używa się w danej teorii, zbiór zdań zaakceptowanych jako prawa teorii oraz środki dowodowe stosowane na gruncie tej teorii). Ze względu na odmienność przedmiotu logiki i fizyki aksjomatyzacja poszczególnych teorii fizykalnych jest trudna do zrealizowania, ale nie niemożliwa.

(a zwłaszcza ich języka) podjął S. Kiczuk w książkach *Problematyka wartości poznawczej systemów logiki zmiany* oraz *Związek przyczynowy a logika przyczynowości*. Zdaniem Kiczuka język dobrze skonstruowanych i odpowiednio użytych systemów tego typu może służyć utrwalaniu, przechowywaniu i komunikowaniu rezultatów poznania dotyczącego zmiany i związku przyczynowego na gruncie nauk przyrodniczych. Systemy takie dostarczają także precyzyjnych narzędzi do kontrolowania poprawności odpowiednich wnioskowań¹³. O możliwości korzystania z języka logiki formalnej w naukach przyrodniczych pisał także np. A.W. Burks. Skonstruował on bardzo bogaty formalnie system logiki zdań kauzalnych, a następnie stosował go do wnioskowań kauzalnych przeprowadzanych w języku potocznym lub w języku nauk nieformalnych¹⁴.

Przedstawione powyżej treści ukazują, że zdaniem niektórych logików pewne systemy logiczne, a zwłaszcza ich język, mogłyby znaleźć zastosowanie w niektórych naukach przyrodniczych, głównie w fizyce. Analogicznie, takie zastosowania mogłyby też znaleźć systemy temporalne, zwłaszcza niektóre systemy *tense logic* i system von Wrighta.

3. Stosowalność systemów *tense logic* i systemów von Wrighta w naukach przyrodniczych

Tense logic to modalna logika czasu, której prekursorem jest A.N. Prior. Zinterpretował on temporalnie funktory możliwości i konieczności, wprowadzając do skonstruowanych przez siebie systemów cztery funktory zdaniotwórcze odpowiadające w języku naturalnym różnym czasom gramatycznym: Hp – było zawsze tak, że p; Pp – było kiedyś tak, że p; Gp – będzie zawsze tak, że p; Fp – będzie kiedyś tak, że p. Tego rodzaju systemy temporalne łączą badania nad logiczną strukturą czasów gramatycznych z logiczną analizą związków czasowych, podejmowaną na gruncie filozofii nauki. Tezy systemów *tense logic* ustalają znaczenie funktorów czasowych w nich występujących oraz wyrażają własności czasu, m.in. przechodniość,

¹³ S. Kiczuk, *Związek przyczynowy a logika przyczynowości*, Lublin: RW KUL 1995, s. 164.

¹⁴ A.W. Burks, *Chance, Cause, Reason*, Chicago: The University of Chicago Press 1977.

linearność, gęstość, przy czym aksjomaty każdego z jej głównych systemów, tj. K_t , CR, CL, SL, PL, PCr, K_b , wyrażają odmienne własności (tylko system K_t jest niezależny od jakichkolwiek założeń dotyczących własności czasu). Natomiast von Wright jest twórcą systemów *And Next* i *And Then*. Są to systemy zawierające funktory temporalne oznaczane symbolem T, których odpowiednikami w języku potocznym są wyrażenia: *i potem*, *i następnie*. Użycie funktora *i następnie* w systemie *And Next* zakłada dyskretność struktury czasowej. Natomiast system *And Then* z funktorem *i potem* zakłada przechodność i linearność czasu.

W związku z przeprowadzonymi do tej pory rozważaniami podkreślić należy, iż podstawowymi zadaniami systemów logiki temporalnej, które miałyby znaleźć zastosowanie w fizyce (i filozofii nauki), są:

1) dostarczanie ścisłego języka (poprzez formalizowanie pewnych zwrotów czasowych) do precyzyjnego wyrażania praw fizyki wyrażonych w języku wyobrażeniowym (oraz odpowiednich twierdzeń filozoficznych) związanych z czasem i czasową relacją, jaką jest relacja wcześniej/później¹⁵, oraz do ukazania formalnej struktury rozumowań zawierających wyrażenia czasowe, a przeprowadzanych w wyobrażeniowym języku fizyki;

2) dostarczanie odpowiedniej aparatury inferencyjnej do sprawdzania poprawności tych wnioskowań.

Posłużę się teraz przykładem. Do sformalizowania wybrane zostały bardzo proste wyrażenia. Mają one bowiem służyć jedynie za pewien przykład możliwości wykorzystania języka systemów temporalnych w naukach przyrodniczych. Formalizacja jest procesem pod pewnymi względami podobnym do przekładania tekstu z wyjściowego języka na język rachunku logicznego¹⁶. Pamiętać jednak należy, że proces ten bardzo często najeżony jest różnymi trudnościami.

Na gruncie fizyki występują m.in. prawa przyczynowe. Weźmy jedno z nich (a dokładniej jego egzemplifikację, pewien związek przyczynowy): *jeżeli jedna kula bilardowa uderza w drugą leżącą „swobodnie” na stole, to wprawia ją w ruch*. Ten sam związek przyczynowy może być matematycznie

¹⁵ Czas odgrywa bardzo ważną rolę w naukach przyrodniczych, zwłaszcza w fizyce, gdyż fizyczny obraz świata zakłada, że wszystko, co się dzieje, dzieje się w czasie. Najczęściej przyjmuje się, że czas jest zbiorem momentów uporządkowanych liniowo przez relację wcześniej/później.

¹⁶ Niektórzy uważają, że lepszym od przekładu porównaniem jest *modelowanie*. W ramach formalizacji dążymy do zbudowania modelu oryginalnego tekstu.

różnie zapisany, gdyż można tu brać pod uwagę różne parametry będące nośnikami przyczyny i skutku: energię kinetyczną (przekazanie energii przez pierwszą kulę drugiej) lub pęd (utrata go przez pierwszą kulę, zyskanie przez drugą). Stąd ten sam związek można zapisać za pomocą dwóch różnych wzorów matematycznych¹⁷. Natomiast jego formalizacja w obu przypadkach byłaby jednakowa. Prawa przyczynowe mają zawsze charakter jakościowy¹⁸. Tego rodzaju prawa są też niewątpliwie związane z czasem – przyczyna bowiem poprzedza w czasie skutek. Odpowiednia formalizacja tych praw w logice temporalnej powinna więc wyrażać zwłaszcza czasowe następstwo skutku po przyczynie.

Na gruncie *tense logic* następstwo skutku po przyczynie można wyrazić w następujący sposób: $p \rightarrow Fq$, gdzie p reprezentuje zdanie opisujące przyczynę, w naszym przykładzie: *jedna kula bilardowa uderza w drugą leżącą „swobodnie” na stole*, a q zdanie opisujące skutek: *(kula) wprawia ją (drugą kulę) w ruch*. F jest zaś funktorem zdaniotwórczym od argumentu zdaniowego odczytywanym: *będzie tak, że ...*

Inny przykład: II prawo ruchu Newtona można ująć w następujący sposób: *Jeżeli na ciało zadziała siła napędowa (p), to następuje zmiana prędkości ruchu tego ciała (q)* (proporcjonalna do przyłożonej siły i zachodząca w kierunku linii prostej, po której działa owa siła). Najprostsza formalizacja tego prawa (w powyższej postaci) w języku *tense logic* to także: $p \rightarrow Fq$.

W systemie *And Then* von Wrighta następstwo skutku po przyczynie można wyrazić w następujący sposób: $p T q$, gdzie T jest funktorem zdaniotwórczym od dwóch argumentów zdaniowych odczytywanym: *i potem*. System *And Then* wykorzystany został przez Kiczuka do skonstruowania systemu logiki przyczynowości CI, której język pozwala formalizować prawa kauzalne w następujący sposób: $p Cw q$ (p reprezentuje zdanie opisujące przyczynę, a q zdanie opisujące skutek), gdzie Cw jest funktorem zdaniotwórczym od dwóch argumentów zdaniowych odczytywanym: *jeżeli..., to z tej przyczyny ...*. Prawem logiki przyczynowości jest m.in. prawo: $(p Cw q) \rightarrow (p T q)$.

¹⁷ W. Krajewski, *Związek przyczynowy*, Warszawa: PWN 1967, s. 213–236.

¹⁸ Wzory matematyczne nie wyrażają praw przyczynowych, ale ilościową zależność skutku od przyczyny.

Za pomocą języka systemów temporalnych można również formalizować wnioskowania zawierające czasowniki w różnych czasach gramatycznych lub pewne wyrażenia czasowe. Przykładowo:

Jeżeli galaktyki oddalają się od Ziemi (wykazują przesunięcie ku czerwieni wprost proporcjonalne do ich odległości od Ziemi), to wszechświat się rozszerza (przesłanka).

Jeżeli galaktyki będą oddalać się od Ziemi, to wszechświat będzie się rozszerzać (wniosek).

Za pomocą języka *tense logic* zapiszemy to wnioskowanie (przeprowadzone w języku wyobraźniowym) w następujący sposób:

$$\frac{(p \rightarrow q)}{(Fp \rightarrow Fq)}$$

Przy sprawdzaniu poprawności tego rodzaju wnioskowań trzeba jednak pamiętać, że prawdziwość tez systemów temporalnych, zwłaszcza *tense logic*, zależy od założeń fizyki i kosmologii dotyczących własności czasu¹⁹. O materialną poprawność tych wnioskowań dba natomiast nauka, na gruncie której są one przeprowadzane.

Schematy formalne wnioskowań niezawodnych mogą być wykorzystywane przy *pośrednim* uzasadnianiu tez fizyki. W ramach teorii fizykalnych dozwolone są wszystkie sposoby uzasadniania twierdzeń właściwe naukom dedukcyjnym. Pamiętać jednak należy, że nie są one wystarczające. Potrzebne są inne sposoby uzasadniania, pozwalające oprzeć teorię o wyniki *doświadczenia*.

Systemy *tense logic*²⁰ i systemy von Wrighta mogą zatem dostarczać naukom przyrodniczym formalnego języka. Jednak możliwość wykorzystania w tych naukach konkretnych systemów wymaga jeszcze dokładniejszego przeanalizowania, gdyż samo formalizowanie pewnych zwrotów występujących w języku danej nauki nie jest jedynym i wystarczającym

¹⁹ Przykładowo, jeżeli z przesłanki „Zawsze będzie tak, że p” wyprowadza się wniosek: „Będzie tak, że p” i chce uznać to wnioskowanie za poprawne, trzeba przyjąć, że czas nie ma ostatniego momentu. Podobnie, dla czasu traktowanego jako kontinuum koliste prawem odpowiedniej logiki *tense logic* jest wyrażenie: „jeżeli p, to będzie tak, że p”; wyrażenie to nie będzie prawem logiki dla modelu czasu – prostej.

²⁰ A. Kozanecka-Dymek, *Systemy tense logic oraz ich stosowalność w naukach przyrodniczych*, „Edukacja Filozoficzna” 48 (2009), s. 193–217.

warunkiem do zastosowania danego systemu na jej gruncie. Zastosowanie takiego systemu formalnego mogłoby znaleźć tylko pod warunkiem, że będzie *wartościowy poznawczo*. Należy zatem odpowiedzieć teraz na pytanie, na podstawie jakich treści można stwierdzić, czy pewne systemy dostarczają formalnego języka, który można by owocnie poznawczo stosować w jakiejś dyscyplinie naukowej?

W tym miejscu zaznaczam, iż zdaję sobie sprawę z faktu istnienia różnych podejść do kwestii języka. Uwzględniam zaś trójpoziomowy model poznania wprowadzony przez Arystotelesa: rzeczywistość (element najbogatszy treściowo) – myśl (umysłowy obraz rzeczywistości) – język (językowy obraz będący wyrazem umysłowego obrazu świata). Język uznawany jest tu za narzędzie komunikowania wyników poznawczych. Natomiast wartość poznawcza języka warunkowana jest tym, czy za jego pomocą poznawaną rzeczywistość można przedstawić *adekwatnie*. W związku z tym można powiedzieć, iż warunkiem posiadania przez system logiczny wartości poznawczej byłaby możliwość adekwatnego opisywania, za pomocą języka tego systemu, pewnego aspektu rzeczywistości, którym zajmuje się dyscyplina, w której miałby on znaleźć zastosowanie. Koniecznym warunkiem adekwatności jest zaś prawdziwość, dlatego też stwierdzić można, że tezy adekwatnego systemu logicznego powinny *prawdziwie* przedstawiać pewien aspekt rzeczywistości, którym zajmuje się dziedzina, dla której system ten miałby być użyteczny²¹. Powyższa zasada²² ukierunkowuje poszukiwania dotyczące rozpoznawania systemów poznawczo wartościowych dla nauk przyrodniczych. Nie wyklucza ona oczywiście innych znanych kryteriów adekwatności.

Z uwagi na fakt, że główną dyscypliną nauk przyrodniczych jest fizyka, logika temporalna dla tego typu nauk powinna w pewien sposób respektować ustalenia dotyczące własności czasu i relacji czasowej, które

²¹ Może bowiem zdarzyć się, że język jakiegoś systemu logicznego formalizuje pewne zwroty występujące w języku danej dyscypliny naukowej, ale jego tezy nie odzwierciedlają w sposób prawdziwy pewnego aspektu rzeczywistości, którym zajmuje się ta dyscyplina. Taki system nie pełni w stosunku do niej funkcji systemu wartościowego poznawczo i nie może być stosowany na jej gruncie.

²² Zasada ta dotyczy systemów formalnych traktowanych jako rachunki logiczne, czyli mających odpowiednią interpretację. Ustalenia te będą zbędne w wypadku, gdy systemy formalne konstruuje się głównie z myślą o formalnych badaniach metalogicznych, które można nad nimi przeprowadzać.

zostały sformułowane właśnie na gruncie fizyki²³. Warunkiem zastosowania systemów logiki temporalnej w naukach przyrodniczych, głównie w fizyce, jest zatem adekwatne wyrażanie przez te systemy, za pomocą aksjomatów i twierdzeń, niektórych własności czasu fizykalnego i relacji wcześniej/później: *specyficzne aksjomaty i twierdzenia adekwatnych systemów temporalnych muszą być zdaniem prawdziwymi w fizykalnym modelu czasu*²⁴. Oczywiście oprócz tego znaczenie mają też formalne własności systemów, zwłaszcza niesprzeczność.

Ocenianie logik nieklasycznych pod kątem ich adekwatności do przedstawiania tez określonych nauk realnych jest zatem ściśle związane z przeprowadzaniem pewnych badań, ze szczególnego punktu widzenia, wiążących się z dziedzinami nauk realnych, które mają być polem zastosowania tych systemów. Są to dociekania typu filozoficznego, należą do filozofii nauki. Przed przystąpieniem do oceniania wartości poznawczej systemów logiki temporalnej należy więc *uwyraźnić założenia dotyczące czasu* przyjęte głównie w fizyce, a także sięgnąć do pewnej filozofii czasu opartej na wiedzy fizykalnej. Niezbędna jest wyczerpująca charakterystyka modeli czasu w sensie fizykalnym (adekwatne systemy temporalne muszą liczyć się z najnowszymi osiągnięciami fizyki dotyczącymi czasu). Dopiero w oparciu o te ustalenia można oceniać adekwatność systemów logiki temporalnej do przedstawienia własności czasu i odpowiedniej relacji czasowej, a następnie wybrać najbardziej adekwatny system temporalny dla danej teorii naukowej fizyki lub kosmologii przyrodniczej. Zwolennicy omawianego stanowiska twierdzą więc, że nie można podać argumentacji za wyborem systemu logicznego, korzystając jedynie z metod logiki formalnej²⁵. Logicy budują systemy logiki zdań czasowych świadomie zakładając różne struk-

²³ W fizyce nie ma zgodności co do wielu własności czasu, np. jego skończoności lub nieskończoności. Wiele pozostaje nieznanych. Własnością niekwestionowaną czasu jest linearność (zakłada ją np. procedura metryzacji czasu), a także przechodność relacji wcześniej/później. Tezy adekwatnych systemów logiki temporalnej powinny zatem wyrażać zwłaszcza wymienione własności. System temporalny powinien być jak najogólniejszy, gdyż przez to rozszerzają się możliwości jego zastosowania.

²⁴ Natomiast reguły logiczne tych systemów powinny wcielać intuicyjnie słuszne reguły wnioskowania używane w traktowaniu o czasie, a więc prowadzić od zdań prawdziwych do zdań prawdziwych.

²⁵ J.P. Burgess, *Logic and Time*, „The Journal of Symbolic Logic” 44 (1979), s. 566–567.

tury czasu²⁶, natomiast uczony lub filozof nauki dokonuje wyboru takiej logiki, która najlepiej odpowiada założeniom o strukturze czasu przyjętym w danej dyscyplinie²⁷.

Pamiętać też należy, iż system temporalny jest adekwatny, gdy jest zgodny z doświadczeniem przyrodników, a więc zgodny z historycznie zastanym stanem wiedzy²⁸. Adekwatność danego systemu nie ma zatem charakteru ostatecznego, gdyż ten stan wiedzy może ulec zmianie. Nie-wykluczony jest wpływ badań przyrodniczych na zmianę koncepcji czasu w filozofii nauki. W związku z powyższym pewne systemy logiki temporalnej mogłyby stracić zastosowania praktyczne, a inne zyskać.

Podsumowując: w niniejszym artykule przedstawione zostało jedno ze stanowisk w kwestii zadań stawianych systemom logiki temporalnej głoszące, iż niektóre systemy temporalne, a zwłaszcza ich język, mogą znaleźć zastosowanie w fizyce współczesnej, kosmologii przyrodniczej oraz filozofii czasu. Zastosowanie takie systemy te mogłyby jednak znaleźć pod warunkiem, że byłyby wartościowe poznawczo. W związku z tym tezy takich systemów logiki temporalnej powinny adekwatnie wyrażać własności czasu

²⁶ Nie zawsze da się wyznaczyć ostry przedział między systemami powstałymi w wyniku stosowania różnych metod: między *tense logic* a *logic of time*. Systemy logiki temporalnej (*temporal logic*) łączą badania nad logiczną strukturą czasów gramatycznych (*tense logic*) z analizą czasu i relacji czasowych podejmowaną na gruncie filozofii nauki (*logic of time*). Zintegrowanie to miało miejsce dlatego, że analiza czasu gramatycznego implikuje przyjęcie jakiegoś modelu czasu fizykalnego. Widać to m.in. w pracach Priora, który wychodząc z analiz czasu gramatycznego, uzyskał wyniki pozwalające na dyskusję zagadnień fizykalnych i filozoficznych.

²⁷ Niektórzy logicy (np. N.B. Cocchiarella) przyjmowali, że logika temporalna powinna poszukiwać takich schematów wnioskowań wyrażonych w języku uczasowionym, których poprawność może być stwierdzona *a priori*, bez odwoływania się do faktów lub hipotez z nauk realnych lub filozofii. Powyższy pogląd nie został jednak powszechnie zaakceptowany. Odrzucił go m.in. Prior w czwartym rozdziale *Past, Present and Future*. Jego zdaniem logiczna czystość, przynajmniej dla niektórych systemów logik nieklasycznych, w tym dla logiki temporalnej, jest niemożliwa, jest po prostu błędnym ognikiem (*Logical purity [...] is a will-o-the-wisp*).

²⁸ Systemy logiki zdań czasowych respektujące założenia ontologiczne dotyczące czasu, obowiązujące we współczesnej fizyce, należałyby do tzw. logiki nauk empirycznych. Logika nauk empirycznych to zbiór systemów formalnych nadbudowanych nad klasycznym rachunkiem zdań, podających prawa rządzące poprawnym użyciem nieekstensjonalnych funkcyj związanych z bazowymi dla fizyki pojęciami, np. czasem i przestrzenią.

i relacji czasowej, czyli być zdaniem prawdziwym w fizykalnym modelu czasu. Przy poszukiwaniach systemów temporalnych, które mogłyby znaleźć zastosowanie w fizyce, niezwykle ważne jest przedyskutowanie zagadnienia dotyczącego własności czasu fizykalnego i relacji wcześniej/później. Dopiero potem można dokonać wyboru takiej logiki, która najlepiej odpowiada założeniom o strukturze czasu przyjętym na gruncie nauk przyrodniczych. Głównym zaś zadaniem adekwatnych systemów temporalnych, mogących znaleźć zastosowanie w naukach przyrodniczych, byłoby dostarczanie ścisłego języka (poprzez formalizowanie pewnych zwrotów czasowych występujących na gruncie języka wyobrazeniowego fizyki) do uściślenia i precyzyjnego wyrażania niektórych rezultatów poznania (związanych z czasem) uzyskiwanych w tych naukach oraz do ukazania formalnej struktury rozumowań zawierających określone wyrażenia czasowe, a także narzędzi do kontrolowania poprawności tego rodzaju wnioskowań. Schematy formalne niezawodnych wnioskowań, przeprowadzanych w wyobrazeniowym języku fizyki i zawierające wyrażenia czasowe, mogą być wykorzystywane przy pośrednim uzasadnianiu tez fizyki.

APPLICATION OF LANGUAGE OF SOME SYSTEMS OF TEMPORAL LOGIC IN THE NATURAL SCIENCES

Summary

The paper discusses one of the positions with regard to tasks which can be posed to temporal logic in connection with formalization of the tense expressions and with codification of inferences respecting these expressions. This position says that some temporal systems, especially their language, can be applied in physics, natural cosmology and philosophy of time. These systems would have to satisfy several conditions. First of all they should formalize some tense expressions appearing in the imaginal language of physics and give them appropriate inferential apparatus. Temporal systems which could serve physics should be also recognitional valuable systems: their theorems should adequately express properties of time and temporal relations, i.e., they should be true sentences in physical model of time. Language of well constructed and appropriately used temporal systems should serve to qualify and to better communicate results of recognition connected with time occurring in the natural sciences (mainly physics).