

Marcin SKULIMOWSKI

Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

## ONTOLOGIA MECHANIKI KWANTOWEJ, JEJ EWOLUCJA I PERSPEKTYWY WYKORZYSTANIA

**Streszczenie.** W Internecie Semantycznym kluczową rolę odgrywają ontologie. Dzięki nim wyszukiwanie i przetwarzanie informacji staje się bardziej efektywne. W artykule, na przykładzie mechaniki kwantowej, omówione są możliwości wykorzystania ontologii reprezentujących różne dziedziny nauki. W szczególności przedstawiona jest ontologia mechaniki kwantowej.

**Słowa kluczowe:** reprezentacja wiedzy, ontologie, Internet Semantyczny

## THE ONTOLOGY FOR QUANTUM MECHANICS, ITS EVOLUTION AND PERSPECTIVES OF USING

**Summary.** Ontologies play a key role in the Semantic Web. Thanks to them finding and processing information become more effective. In the article, on the example of quantum mechanics, possibilities of using ontologies connected with the different fields of science are discussed. In particular the ontology for quantum mechanics is presented.

**Keywords:** knowledge representation, ontologies, Semantic Web

### 1. Wprowadzenie

Internet jest w dzisiejszych czasach narzędziem używanym powszechnie i trudno sobie wyobrazić pracę naukową bez jego wykorzystania. Dużą popularnością wśród naukowców cieszą się otwarte zbiory publikacji, np. fizycy korzystają z archiwum arXiv (<http://arXiv.org>), które umożliwia umieszczanie i przeglądanie artykułów (preprintów) z kilku dziedzin,

m.in. fizyki, matematyki, informatyki i biologii<sup>1</sup>. W celu ułatwienia korzystania z archiwum każda dyscyplina została podzielona na kategorie i podkategorie. Fizyka podzielona jest następująco: *Astrophysics*, *Condensed Matter*, *General Relativity and Quantum Cosmology*, *High Energy Physics*, *Mathematical Physics*, *Nuclear Experiment*, *Nuclear Theory*, *Physics and Quantum Physics*. Dodatkowo, w przypadku każdej kategorii, mamy do wyboru następujące opcje: *new* (artykuły najnowsze), *recent* (artykuły ostatnio dodane do archiwum), *abs* (abstrakty artykułów), *find* (wyszukiwarka – patrz rys. 1).

Rys. 1. Formularz wyszukiwarki w arXiv

Fig. 1. Searching form in arXiv

Znalezione artykuły dostępne są w kilku formatach (tex, ps, pdf). W przypadku każdego artykułu możliwe jest sprawdzenie liczby jego cytowań (link do serwisu Citebase Search). Osoby, które chcą na bieżąco zapoznawać się z informacjami o nowych artykułach dodanych do archiwum, mogą codziennie otrzymywać emaile zawierające ich tytuły oraz abstrakty. W archiwum dostępne są także ‘zakładki społecznościowe’ (ang. *social bookmarks*) umożliwiające umieszczenie linku do wybranego artykułu w kilku wybranych serwisach (np. Facebook, BibSonomy, Mendeley – rys. 2).



Rys. 1. Zakładki społecznościowe w arXiv

Fig. 1. Social bookmarks in arXiv

Trudno przecenić rolę archiwum arXiv i podobnych serwisów zawierających publikacje naukowe. Przede wszystkim umożliwiają one szybki przepływ informacji między naukowcami zajmującymi się daną dziedziną. Z drugiej jednak strony można zauważyć, że archiwa

<sup>1</sup> W czasie pisania artykułu w archiwum znajdowało się ponad 580000 artykułów.

takie nie zmieniają się znacząco, jeżeli chodzi o możliwości oferowane użytkownikom. Dzieje się tak dlatego, że aplikacje (maszyny) nie przetwarzają informacji zapisanych w artykule, a tylko pewne informacje (metadane) związane z artykułem, np.: tytuł, autor, data publikacji. Treść artykułu jest dla maszyn jedynie zbiorem słów, który może być przeszukany. Gdyby maszyny „rozumiały” artykuły i potrafiły przetwarzać informacje w nich zapisane, możliwości oferowane przez archiwa, takie jak arXiv, byłyby bez porównania większe. Można więc zadać pytanie: Czy w dającej się przewidzieć perspektywie czasu maszyny zdobędą dostęp do informacji zapisanych w publikacjach naukowych?

Warto zauważyć, że istnieje pewne podobieństwo między archiwum takim jak arXiv i Internetem. Internet można traktować jako zbiór stron WWW, arXiv to zbiór artykułów. W Internecie istnieją połączenia między stronami w postaci linków. W przypadku arXiv istnieją połączenia między artykułami w postaci cytowań (coraz częściej są to linki do cytowanych artykułów). W Internecie linki prowadzą zwykle do stron o podobnej tematyce [1] i podobnie połączenia artykułów, w postaci cytowań, prowadzą do artykułów zbliżonych tematycznie. Na połączeniach między stronami internetowymi oparte są tzw. rankingi. Podobnie rankingi artykułów oparte są na połączeniach z innymi artykułami, czyli na cytowaniach [2]. Ocena artykułu jest tym wyższa, im więcej razy jest on cytowany w innych artykułach.

W obu przypadkach (Internetu i archiwum arXiv) podobnie rozwiązane jest wyszukiwanie. Wyszukiwarki internetowe dostarczają adresy stron WWW, zawierających interesujące nas słowa. W archiwum arXiv wynikiem wyszukiwania jest lista artykułów zawierających interesujące nas słowa. Dopiero po przejrzaniu zawartości strony WWW (treści artykułu) można stwierdzić, czy informacje tam zawarte są dla nas przydatne. Niestety, często okazuje się, że tak nie jest, bo np. poszukiwane słowa występują w innym kontekście. W takim przypadku konieczne jest ponowne wyszukiwanie (np. ze zmienionymi słowami kluczowymi) i ponowne przeglądanie wyników, co jest oczywiście zajęciem czasochłonnym. To poważny problem związany z dostępem do informacji.

W przypadku Internetu proponowanym rozwiązaniem jest tzw. Internet Semantyczny, w którym informacja będzie zapisana w formatach umożliwiającym jej analizowanie i przetwarzanie przez maszyny [3]. Kluczową rolę w Internecie Semantycznym będą odgrywały ontologie będące formalnymi reprezentacjami wiedzy [4]. Dzięki zastosowaniu ontologii pozyskanie informacji i jej przetworzenie będzie dużo łatwiejsze. Aplikacje będą poszukiwały stron WWW związanych z pewnym konceptem określonym precyzyjnie w ontologii, a nie stron zawierających często niejednoznaczne słowo. Pamiętając o analogii między Internetem i archiwum arXiv można przypuszczać, że ontologie będą pomocne także w przetwarzaniu informacji zawartych w publikacjach naukowych. Oczywiście pod warunkiem, że dostępne będą ontologie związane z różnymi dziedzinami wiedzy, np. ontologia mechaniki kwantowej.

## 2. Ontologia mechaniki kwantowej

Ontologia jest pojęciem zaczerpniętym z filozofii, gdzie oznacza analizę tego, co istnieje oraz związków pomiędzy istniejącymi bytami. Pojęcie to pojawia się dosyć często w kontekście mechaniki kwantowej, ponieważ jest to najbardziej podstawowa teoria rzeczywistości (zobacz np. [5,6]). Z punktu widzenia niniejszego artykułu interesujące jest pojęcie ontologii na gruncie informatyki, a nie filozofii. Zgodnie z klasyczną definicją Grubera *ontologia to formalna specyfikacja konceptualizacji pewnego obszaru wiedzy* ([4,7]). Specyfikacja jest zwykle reprezentowana w pewnym języku służącym do zapisu ontologii (np. OWL – *Ontology Web Language*). Stworzono już wiele ontologii związanych z różnymi dziedzinami [8]. Ontologia mechaniki kwantowej jeszcze nie powstała. Przede wszystkim dlatego, że zależności między konceptami (obiektami) mechaniki kwantowej potrafią być bardzo złożone i opis ich wymaga bardzo specjalistycznej (także matematycznej) wiedzy. Wstępna i niekompletna wersja ontologii mechaniki kwantowej, nazwanej *quONTOM*, dostępna jest na stronie <http://merlin.fic.uni.lodz.pl/quONTOM>. Ontologia stworzona jest w języku OWL 2.0 z wykorzystaniem narzędzia Protege 4.0.

Ponieważ ontologia *quONTOM* jest tylko fragmentem przyszłej ontologii mechaniki kwantowej, kwestią otwartą pozostaje m.in. odpowiedź na pytanie, czy możliwości języka użytego do zapisu ontologii są wystarczające, aby reprezentować wszystkie zależności opisywane w mechanice kwantowej [9]. Nie wiadomo także, czy język logiki, w którym zapisana będzie ontologia, umożliwi efektywne wnioskowanie [10]. Inny problem związany jest z klasyfikacją ontologii mechaniki kwantowej. Z jednej strony jest to ontologia związana z pewną dziedziną (*ontologia domenowa*), z drugiej strony pewne twierdzenia mechaniki kwantowej, mające bardzo ogólny charakter (np. zasada nieoznaczoności czasu i energii), mogą sugerować przynależność do *ontologii wyższego poziomu*. Niewykluczone też, że powstanie nie jedna ontologia mechaniki kwantowej, ale kilka ontologii *specyficznych dla aplikacji* [7].

### 2.1. Struktura

W chwili obecnej istnieje tylko fragment ontologii mechaniki kwantowej i dlatego trudno formułować ogólne stwierdzenia dotyczące jej struktury. Można jednak pokusić się o pewne przewidywania na podstawie analizy dziedziny, czyli mechaniki kwantowej.

W archiwum arXiv codziennie pojawia się przynajmniej kilka nowych artykułów poświęconych mechanice kwantowej. Artykuły te mogą dotyczyć odległych kierunków badań, jednakże u podstaw każdego z nich leży pewien jednakowy zbiór założeń i stwierdzeń, tworzący swego rodzaju *paradygmat* mechaniki kwantowej [11]. Zbiór ten będzie oczywiście odzwier-

ciedlony w ontologii mechaniki kwantowej i będzie stanowił jej zasadniczą część. Sensowne wydaje się zatem założenie, że ontologia mechaniki kwantowej będzie składała się z dwóch „obszarów”: *jądra i brzegu*<sup>2</sup>.

1. *Jądro ontologii* – część ontologii (w skład której wchodzi klasy, właściwości i instancje) odpowiadająca powszechnie zaakceptowanym założeniom i stwierdzeniom mechaniki kwantowej. Aktualna wersja ontologii *quONTOM* jest właśnie fragmentem jądra.
2. *Brzeg ontologii* – część ontologii reprezentująca wiedzę zawartą w stosunkowo nowych publikacjach. Wiedzę, która nie jest jeszcze powszechnie znana czy zaakceptowana.

Oczywiście granica między jądrem i brzegiem nie jest precyzyjnie określona i na skutek pojawiających się nowych wyników badań będzie zmieniała się w czasie.

Wiele pojęć funkcjonujących w mechanice kwantowej ma swoje źródło w fizyce (np. położenie, energia, czas). Zatem ontologia mechaniki kwantowej będzie wykorzystywała *ontologię fizyki* (zobacz np. [12]). Ponadto ważną rolę będzie w niej odgrywała *ontologia matematyki* (mechanika kwantowa może być traktowana jako interpretacja struktur matematycznych [13]). W obecnej wersji ontologii *quONTOM* elementy nie należące do dziedziny mechaniki kwantowej znajdują się w oddzielnych ontologiach (matematyki i fizyki), które są przez ontologię *quONTOM* importowane.



Rys. 3. Chmura wybranych klas ontologii *quONTOM*

Fig. 3. Cloud of selected classes in *quONTOM* ontology

## 2.2. Ewolucja

Ontologie mogą podlegać czasowym zmianom – mogą ewoluować [14,15,16]. Ewolucja ontologii może mieć różne przyczyny. W przypadku ontologii związanych z dziedzinami wiedzy ewolucja ontologii jest konieczna, jeżeli ma ona reprezentować aktualny stan wiedzy. W przypadku ontologii *quONTOM* zmiany będą efektem ukazywania się nowych publikacji, czyli będą to zmiany typu *data-driven* [14].

<sup>2</sup> Jądro ontologii przypomina jądro programu badawczego zdefiniowane przez Lakatosa (Lakatos I., *The methodology of scientific research programmes*, Cambridge University Press, 1978, s. 250.)

Tabela 1

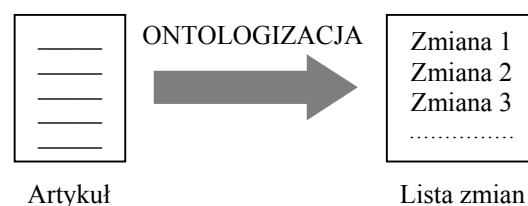
## Wybrane zmiany w ontologii i ich przyczyny

<i>zmiana w ontologii</i>	<i>zmiana w teorii</i>
wprowadzenie nowej klasy	zdefiniowanie nowego typu obiektów
wprowadzenie nowej właściwości	zdefiniowanie nowej cechy obiektów
nowy przykład	nowe twierdzenie, przykład

Obserwując ewolucję mechaniki kwantowej można zauważyć „akumulację” wiedzy (wiedzy nam cały czas przybywa). To „gromadzenie wiedzy”, będzie miało odzwierciedlenie w charakterze zmian w ontologii mechaniki kwantowej (tab. 1). Zmiany te będą polegały na ogół na dodawaniu nowych elementów. Ontologia będzie ulegała rozbudowie w oparciu o publikowane wyniki badań. To czy dana publikacja rzeczywiście wpływa na strukturę ontologii zależy, między innymi, od dotychczasowej zawartości ontologii. Zmiany w ontologii mogą być reprezentowane na wiele sposobów [15]. W przypadku ontologii mechaniki kwantowej zmiany takie powinny mieć przynajmniej dwie reprezentacje:

1. *Koncepcja zmian* – opis zmian w ontologii z użyciem nazw klas, właściwości oraz instancji zawartych już w ontologii. Opis taki może zawierać nazwy nowych elementów ontologii, jeżeli konieczność wprowadzenia takowych wynika z opublikowanych wyników badań.
2. *Lista zmian* [15] – lista zmian w ontologii wynikających z artykułu, które powinny być wprowadzone w ontologii  $O_{old}$  w celu uzyskania jej nowej wersji  $O_{new}$ . Zmiany te mogą być formalnie zdefiniowane przy użyciu odpowiedniego języka (przykładem takiego języka jest CDL – *Change Definition Language* [17]).

Uzyskanie zmian koniecznych do wprowadzenia w ontologii (w takiej czy innej postaci) jest procesem niezwykle ważnym. Zmiany te muszą oczywiście możliwie najwierniej odzwierciedlać wyniki badań opublikowane np. w artykule. Proces uzyskania listy zmian w oparciu o artykuł nazywany będzie *ontologizacją* artykułu (rys. 4).

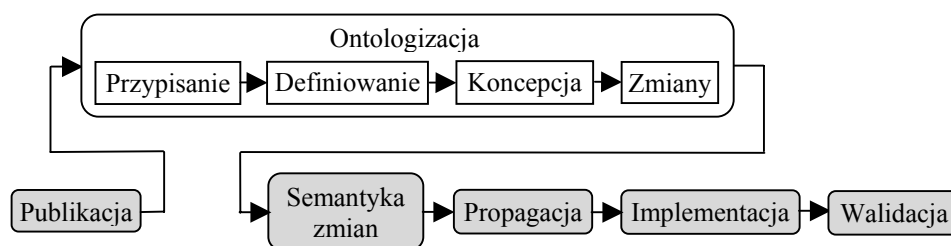


Rys. 4. Proces ontologizacji

Fig. 4. Ontologization process

Dzięki *liście zmian* ze starej wersji ontologii  $O_{old}$  powstanie nowa wersja  $O_{new}$ .

Aby *przeprowadzić* ontologizację artykułu, konieczna jest lista wyników badań opisanych w artykule np. w formie szczegółowego abstraktu. Proces ontologizacji składa się z kilku faz (rys. 5).



Rys. 5. Ontologizacja jako część ewolucji ontologii [14]

Fig. 5. Ontologization as a part of the ontology evolution [14]

- *Przypisanie* – w fazie tej terminom występującym w abstrakcie przypisane zostają nazwy obiektów (klas, właściwości, instancji) występujących w ontologii. Jeżeli nie da się zrealizować takiego przypisania, może to oznaczać, że ontologia nie odpowiada obecnemu *paradygmatowi mechaniki kwantowej* lub jest niereprezentatywna i wymaga uzupełnienia. Możliwość przeprowadzenia tej fazy ontologizacji jest ściśle związana z faktem, że terminy używane w mechanice kwantowej są, dzięki matematyce, jednoznacznie określone.
- *Definiowanie* – faza, w której definiowane są (jeżeli to konieczne) nowe klasy, właściwości i instancje odpowiadające tym terminom z abstraktu, które nie są jeszcze reprezentowane w ontologii.
- *Koncepcja* – w fazie tej tworzona jest *koncepcja zmian*, czyli opisane zostają zmiany, które będą wprowadzone w ontologii. W przypadku, gdy zmiany w ontologii wynikające z artykułu nie są skomplikowane, faza ta może zostać pominięta.
- *Zmiany* – na podstawie *koncepcji zmian* tworzona jest lista zmian. Ważne jest, aby zmiany były zapisane w języku umożliwiającym przetwarzanie ich przez maszyny. Może być do tego wykorzystana np. ontologia zmian dla OWL 2 [18]. Po przejściu następnych etapów ewolucji (w szczególności po etapie walidacji – rys. 5), lista zmian (koncepcja zmian) dołączana jest do wersji elektronicznej artykułu, tworząc swego rodzaju *semantyczny abstrakt* artykułu.

Po zdefiniowaniu *listy zmian*, następują dalsze etapy procesu ewolucji ontologii [14].

Poniżej przeprowadzona zostanie ontologizacja przykładowego artykułu posiadającego następujący abstrakt:

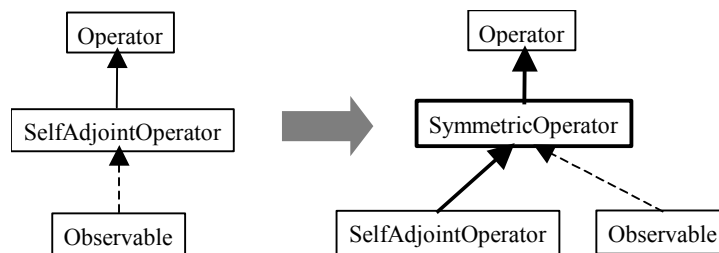
*W mechanice kwantowej obserwable opisywane są jako operatory samosprężone.*

*W niniejszym artykule definiujemy obserwable jako operatory symetryczne.*

Poszczególne fazy ontologizacji:

- *Przypisanie* – terminom z abstraktu przypisane zostają elementy ontologii *quONTOm*. W abstrakcie „użyte są” dwie klasy z ontologii: *SelfAdjointOperator* i *Observable*.
- *Definiowanie* – pojęcie operatora symetrycznego nie odpowiada żadnemu elementowi w ontologii. Zatem w ontologii zdefiniowana będzie nowa klasa *SymmetricOperator*.

- *Koncepcja* – zmiany, które będą wprowadzone w ontologii:
  1. Jako podklasa klasy *Operator* i nadklasa klasy *SelfAdjointOperator* dodana zostanie klasa *SymmetricOperator*.
  2. Relacja zawierania klasy *Observable* zostanie przesunięta z klasy *SelfAdjointOperator* do klasy *SymmetricOperator*.



Rys. 6. Zmiany w ontologii  
Fig. 6. Changes in the ontology

- *Zmiany* – tworzona jest lista zmian, która następnie zapisana jest w odpowiednim języku np.

```

removeSubclass(SelfAdjointOperator, LinearOperator)
removeSubclass(Observable, SelfAdjointOperator)
addSubclass(SelfAdjointOperator, SymmetricOperator)
addSubclass(Observable, SymmetricOperator)
  
```

W powyższym przykładzie *ontologizacja* nie była procesem skomplikowanym. Oczywiście, nie zawsze tak będzie. Im bardziej złożone wyniki badań, tym bardziej skomplikowana będzie ontologizacja. Nie można wykluczyć sytuacji, w której pojawią się wątpliwości, jak ontologizować dany artykuł, w efekcie których mogą powstać dwie (nierównoważne?) *listy zmian*. Może się też zdarzyć, że poprawne z punktu widzenia mechaniki kwantowej wyniki badań doprowadzą do listy zmian, których efektem będzie niespójna ontologia. Aby ilość takich przypadków ograniczyć do minimum, konieczne wydaje się m.in. wspomaganie procesu ontologizacji przez zaprojektowane do tego celu aplikacje (zobacz np. [19]). Aplikacja taka na etapie przypisania przeprowadzałaby analizę tekstu abstraktu i proponowałaby pewne przypisania, wykorzystując do tego znajomość dotychczasowej wersji ontologii. Co więcej, aplikacja mogłaby generować *listę zmian (koncepcję zmian)* i umożliwiać dołączenie jej do elektronicznej wersji ontologizowanego artykułu (podobnie jak aplikacja RDPic pozwala na dołączenie opisu w języku RDF do dowolnego zdjęcia [20]).

### 2.3. Identyfikatory URI i DOI

W Internecie Semantycznym niezwykle ważną rolę pełnią tzw. identyfikatory URI (*Uniform Resource Identifier*). Dzięki nim zasoby w Internecie są identyfikowane w sposób jednoznaczny. Popularne adresy URL (*Uniform Resource Locator*) stanowią podzbiór identyfi-



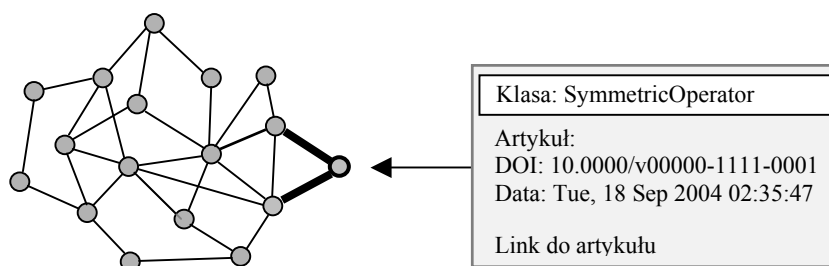
katorów URI. W przypadku publikacji elektronicznych funkcjonuje system identyfikacji oparty na tzw. numerach DOI (*Digital Object Identifier*). Z każdym numerem DOI można związać pewien URL [21]. Idea jest bardzo prosta: numer DOI jest poprzedzony elementem `http://dx.doi.org/` np. z artykułem o numerze DOI 10.2478/v10005-007-0007-x związany jest następujący URL:

```
http://dx.doi.org/10.2478/v10005-007-0007-x
```

W ten sposób z każdym artykułem posiadającym wersję elektroniczną (i numer DOI) może być związany pewien identyfikator URI. Identyfikator ten może być z kolei wykorzystany w nazwach zasobów występujących w *liście zmian* będącej efektem ontologizacji. Jeżeli np. artykuł o numerze DOI 10.0000/v00000-1111-000 poddany był ontologizacji w omówionym wcześniej przykładzie (ściśle rzecz biorąc ontologizowany był abstrakt artykułu), wówczas klasa reprezentująca operatory symetryczne może mieć następujący identyfikator URI:

```
http://dx.doi.org/10.0000/v00000-1111-0001#SymmetricOperator
```

Dzięki temu możliwe będzie np. przejście od wybranego zasobu w ontologii (klasy, właściwości, instancji) do *artykułu*, w którym zasób ten został wprowadzony (rys. 7).



Rys. 7. Zmiana w ontologii i odpowiadający jej artykuł  
Fig. 7. An ontology change and the corresponding paper

### 3. Podsumowanie

W chwili obecnej wiedza na temat mechaniki kwantowej znajduje się w opublikowanych artykułach, książkach i... w ludzkich umysłach. W niniejszym artykule zaproponowano, aby wiedza związana z różnymi dziedzinami nauki zapisana była w językach zrozumiałych dla maszyn. Dzięki temu maszyny potrafiłyby taką wiedzę przetwarzać. Taka ewentualność niesie ze sobą wiele korzyści. Warto wymienić kilka z nich.

- Wyszukiwanie informacji na temat wyników badań i eksperymentów przeprowadzonych w danej dziedzinie nauki będzie znacznie łatwiejsze.
- Maszyny będą potrafiły przetwarzać informacje, zapisane w publikacjach naukowych, w poszukiwaniu błędów i sprzeczności.

- Możliwa będzie obserwacja ewolucji dyscyplin naukowych.
- Istnieją już systemy (np. SAN – *Semantic Association Networks*) oferujące nowe możliwości oceniania autorów publikacji naukowych [22]. Sieci SAN umożliwiają m.in. formułowanie zapytań takich jak: *Podaj wszystkich autorów o największej reputacji w dziedzinie x*. Dzięki zastosowaniu ontologii możliwe będzie coś więcej. Traktowanie wyników badań naukowych, jako zmian w ontologii, umożliwi ocenę jakości badań np. przez wprowadzenie miar zmian wprowadzonych w ontologii. A to z kolei pozwoli formułować nowe zapytania np.: *Podaj naukowców, którzy wnieśli największy wkład w rozwój danej dziedziny w ciągu 3 ostatnich lat*.

W dzisiejszych czasach wyniki badań publikowane są w czasopiśmie naukowych. W proponowanym procesie ontologizacji wyniki badań tłumaczone są na zmiany w ontologii związanej z daną dziedziną. Być może w przyszłości ogłoszenie wyników badań nie będzie w ogóle związane z publikacją artykułu, a jedynie z modyfikacją ontologii? Czas to pokaże.

## BIBLIOGRAFIA

1. Davison B.D.: Topical locality in the web. Proc. 23rd Annual Intl. ACM SIGIR Conf. on Research and Development In Information Retrieval, Athens 2000, s. 272÷279.
2. Garfield E.: Citations indexes for science: A new dimension in documentation through association of ideas. Science, Vol. 122, No. 3159, 1983, s.108÷111.
3. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O.: The Semantic Web. Scientific American, Vol. 284, No. 5, s. 34÷43.
4. Gruber T.R.: Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, Issue 5-6, 1995, s. 625÷640.
5. Busch P.: Classical Versus Quantum Ontology. Stud. Hist. Phil. Mod. Phys. 33B (2002), s. 517÷539.
6. Jacyna-Onyszkiewicz Z.: The Ontology of Quantum Theory. Old and New Concepts of Physics, Vol. 4, No. 2 (2007), s. 263÷302.
7. Guarino N.: Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, 1998, Trento, Italy, Amsterdam, IOS Press, s. 3÷15.
8. <http://semanticweb.org/wiki/Ontology> .
9. Skulimowski M.: The Semantic Web and the Ontology for Quantum Mechanics. Old and New Concepts of Physics, Vol. V, No. 4 (2008), s. 689÷697.
10. Baader F. et al. (eds): The Description Logic Handbook – Theory, Implementation and Applications. Cambridge University Press, 2003.

11. Kuhn T.: *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago 1962.
12. Przykładowa ontologia fizyki: <http://ontology.dumontierlab.com/physics-primitive-1.0.owl>.
13. Heller M.: *Mechanika kwantowa dla filozofów*. Wydawnictwo Biblos, Kraków 1996.
14. Bloehdorn S., Haase P., Sure Y., Voelker J.: *Ontology Evolution. Semantic Web Technologies – Trends and Research in Ontology-based Systems*, John Wiley & Sons Ltd. 2006, s. 51÷70.
15. Klein M., Noy N.: *A Component-Based Framework for Ontology Evolution*. Workshop on Ontologies and Distributed Systems at IJCAI, 2003.
16. Stojanovic L.: *Methods and Tools for Ontology Evolution*. PhD thesis, University of Karlsruhe, 2004.
17. Plessers P., De Troyer O., Casteleyn S.: *Understanding ontology evolution: A change detection approach*. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web archive*, Vol. 5, Issue 1 (2007), s. 39÷49.
18. Palma R., Hasse P., Corcho O., Gómez-Pérez A.: *Change Representation For OWL 2 Ontologies*, [http://www.webont.org/owled/2009/papers/owled2009\\_submission\\_14.pdf](http://www.webont.org/owled/2009/papers/owled2009_submission_14.pdf).
19. Cimiano P., Voelker J.: *Text2Onto – A framework for ontology learning and data-driven change discovery*. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3513 (2005), s. 227÷238.
20. <http://jigsaw.w3.org/rdfpic/>.
21. <http://www.doi.org/factsheets/DOIIdentifierSpecs.html>.
22. Börner K.: *Semantic Association Networks: Using Semantic Web Technology to Improve Scholarly Knowledge and Expertise Management*. In Vladimir Geroimenko & Chaomei Chen (eds.), *Visualizing the Semantic Web*, Springer Verlag, 2006, s. 183÷198.

Recenzenci: Dr inż. Małgorzata Bach

Dr hab. inż. Krzysztof Goczyła, prof. Pol. Gdańskiej

Wpłynęło do Redakcji 31 stycznia 2010 r.

## Abstract

Nowadays the Internet is a tool used universally and it is hard to imagine scientific work without using it. Among scientists there are very popular open archives of articles and pre-prints, for example physicists use the arXiv archive (<http://arXiv.org>). Archives and online

services for scientific publications have many advantages. First of all they enable exchange and sharing of knowledge between scientists. Nevertheless the dynamical development of science (e.g. every day a dozen of new articles on quantum mechanics appear in the arXiv archive) implies some difficulties for scientists to get and analyze the available information. The problem is that knowledge gathered in archives such as arXiv is not machine processable and interpretable similarly as the knowledge gathered on Web pages. Possibilities offered by electronic archives for scientific publications would be better if the knowledge placed there had computer-processable meaning. This is the main idea of the Semantic Web – *an extension of the current Web in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation* [3]. The key role in the Semantic Web is played by ontologies which are formal conceptualizations of domains [4].

In the paper the ontology for quantum mechanics is presented. In particular its evolution is discussed and the ontologization process of a scientific publication is considered. As a result of the ontologization a scientific publication will be something more than a set of words which may be searched and compared by machines. The publication will obtain meaning in the context of some ontology. And this will enable computer-processing of the publication. Finally the perspectives of using the ontology for quantum mechanics (and ontologies corresponding to different fields of science) are shortly discussed.

## **Adres**

Marcin SKULIMOWSKI: Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,  
ul. Pomorska 149/153, 90-236 Łódź, Polska, mskulim@uni.lodz.pl .