

ZENON E. ROSKAL

Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II

CZŁOWIEK

JAKO AGREGAT CZĄSTEK MATERIALNYCH

Idea głosząca, że człowiek jest w jakiś sposób podobny do świata (kosmosu), będąc *sui generis* małym światem (mikrokosmosem), powstała już w jońskiej filozofii przyrody; tam też ukuto odpowiednią terminologię filozoficzną. W pismach Demokryta z Abdery czytamy, że człowiek jest małym światem ([...]τον αὐτὸν τροπὸν καὶ ἐν τῷ ἀνθρώπῳ μικρὸν κόσμον ὄντι [ton autón tropon kai en to anthropo mikró kosmo onti])¹. Wypowiedź tę należy czytać w kontekście innych wypowiedzi Abderyty², w których świat (kosmos) postrzegany jest jako agregat znajdujących się w ciągłym ruchu cząstek materialnych (atomów). Do idei tej nawiązywano wielokrotnie w europejskiej tradycji filozoficznej, ale najpełniejszą jej realizację dała dopiero współczesna nauka, w której na początku XX wieku zostały wypracowane decydujące argumenty na rzecz kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii.

Aplikacje teoretyczne i praktyczne kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii miały miejsce w XX-wiecznej fizyce, doprowadzając do spektakularnych sukcesów poznawczych oraz bezprecedensowych zastosowań praktycznych, m.in. w diagnostyce medycznej. Nowe techniki diagnostyczne, m.in. tomografia komputerowa³ (sukcesywna i spiralna), metoda znaczników

¹ Zob. frg. w: *Die Fragmente der Vorsokratiker*, hrsg. H. Diels, W. Kranz, Bd. 1–3, Berlin 1951–1952², 68 B 34.

² Zob. tamże, m.in. 68 A 1, A 37, A 40, A 58.

³ Metodę diagnostyczną tomografii komputerowej należy traktować jako kolejny etap rozwoju metod diagnostycznych opartych na połączeniu zmodyfikowanej aparatury rentgenowskiej i cyfrowo-informatycznych metod przetwarzania danych (wizualizacja). Kolejnym etapem rozwoju tej metody jest tzw. pozytonowa emisyjna tomografia (PET), w której wykorzystywane są metody scyntygrafii (badania izotopowe) w celu kontrolowanej emisji promienio-

izotopowych⁴ (scyntygrafia) oraz przede wszystkim metoda jądrowego rezonansu magnetycznego rozwinęły się dzięki temu, że (ciało) człowieka można było traktować jako agregat cząstek materialnych. W szczególności metody diagnostyczne oparte na wykorzystaniu zjawiska jądrowego rezonansu magnetycznego nadają się wyjątkowo dobrze do ilustracji tezy, głoszącej, że ciało człowieka jest agregatem cząstek materialnych, gdyż wykorzystują własności magnetyczne protonów (jąder atomów wodoru), które tworzą cząsteczkę wody – dominującego składnika ludzkiego ciała. Dlatego ograniczymy się do charakterystyki tych metod, pomijając tomografię komputerową i metodę znaczników izotopowych.

Spektakularny, a zarazem nieoczekiwany sukces poznawczy (diagnostyczny) metody jądrowego rezonansu magnetycznego może być wykorzystany jako argument na rzecz tezy, że ciało człowieka jest agregatem cząstek materialnych. Na gruncie monistycznych ontologii teza ta może być przekształcona w twierdzenie, głoszące, że człowiek jest (tylko) agregatem cząstek materialnych.

Celem tego artykułu jest prezentacja kontekstu odkrycia metody jądrowego rezonansu magnetycznego oraz jej aplikacji w diagnostyce medycznej. W dalszej kolejności zostaną wskazane niektóre trudności, jakie stoją przed akceptacją ontologicznej tezy głoszącej, że człowiek jest agregatem cząstek materialnych. Rozważania poniższe mają charakter preliminaryjny, zorientowane są tylko na sygnałne wprowadzenie w bardzo złożone i bogate w literaturę przedmiotu zagadnienie (meta)teoretycznych (ontologicznych, epistemologicznych, metodologicznych) i praktycznych uwarunkowań oraz konsekwencji rozwoju nowych metod badawczych fizyki. Powyższa uwaga odnosi się także

wania gamma uzyskanego z anihilacji pozytonów. Jest to najbardziej efektywna metoda, pozwalająca na definitywne stwierdzenie obecności nowotworu w ciele pacjenta. Tomografia emisji pozytonowej była zastosowana w praktyce klinicznej do diagnostyki medycznej (m.in. w onkologii, kardiologii i neurologii/psychiatrii) już na przełomie lat 80. i 90. XX w. (por. m.in. S. R. Cherry, *Fundamentals of Positron Emission Tomography*, „Journal of Clinical Pharmacology” 41 (2001), s. 482–491; D. H. S. Silverman, M. E. Phelps, *Application of Positron Emission Tomography for Evaluation of Metabolism and Blood Flow in Human Brain. Normal Development, Aging, Dementia, and Stroke*, „Molecular Genetics and Metabolism” 74 (2001), s. 128–138). Ekonomiczne aspekty tej metody diagnostycznej analizowali A. Müller, D. Stratmann-Schöne, T. Kloße oraz R. Leidl w artykule *Overview of Economic Evaluation of Positron-Emission Tomography* („The European Journal of Health Economics” 3 (2002) nr 1, s. 59–65). Filozoficzne, zwłaszcza teoriopoznawcze aspekty PTE przeanalizowali R. S. Stufflebeam i W. Bechtel w artykule *PET. Exploring the Myth and the Method* („Philosophy of Science” 64 (1997), s. 95–106).

⁴ Jest to nie tylko metoda diagnostyczna, ale także terapeutyczna.

do zawężenia tego zagadnienia do analizy metod jądrowego rezonansu magnetycznego. Złożoność tego zagadnienia oraz ograniczenia nałożone na objętość niniejszego tekstu pozwalają jedynie na uproszczone analizy. Z uwagi na znikomą obecność tego typu problematyki w polskiej literaturze filozoficznej, a szerokie jej rozpowszechnienie w literaturze anglojęzycznej, wydaje się uzasadnione podjęcie tego tematu.

KONTEKST ODKRYCIA METODY JĄDROWEGO REZONANSU MAGNETYCZNEGO

Zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego⁵ odkryły niezależnie w 1945 roku dwa zespoły badawcze fizyków amerykańskich. Pierwszy z tych zespołów⁶ pracował na pod kierownictwem E. Purcella⁷ na uniwersytecie

⁵ Zjawisko to kompetentnie scharakteryzowane jest w monografii Anatola Abragama poświęconej magnetyzmowi jądrowemu (A. Abragam, *The Principles of Nuclear Magnetism*, Oxford 2002 (repr.), s. 13–17), tam też znajduje się szczegółowa bibliografia tego zagadnienia. Por. także: Ch. P. Slichter, *Principles of Magnetic Resonance*, Berlin 1996³, s. 357–367, gdzie można znaleźć wprowadzenie w metodę (MRI) obrazowania za pomocą magnetycznego rezonansu (obrazowanie magnetyczno-rezonansowe). Metoda ta, dzięki zróżnicowaniu zewnętrznego pola magnetycznego (gradienty pola magnetycznego) i dobraniu radioimpulsów o odpowiednio wyselekcjonowanym widmie, pozwala na spełnienie selektywnych warunków rezonansowych i rejestrację sygnału z wybranych fragmentów obiektu. Bogatym źródłem informacji na temat jądrowego rezonansu magnetycznego jest *Encyclopedia of Nuclear Magnetic Resonance*, ed. D. M. Grant, R. K. Harris, vol. 1–9, Chichester 1996–2002. Istnieje też obszerna monografia (J. Mattson, M. Simon, *The Pioneers of NMR and Magnetic Resonance in Medicine. The Story of MRI*, Jericho 1996) poświęcona twórcom tej nowej metody badawczej oraz jej zastosowaniom w medycynie.

⁶ W składzie tego zespołu byli Robert Pound i Henry Torrey. Decydujące eksperymenty odbyły się 15 XII 1945 r. Wyniki tych eksperymentów zostały opublikowane (tekst artykułu został wysłany 24 XII 1945 r.) w roku następnym (E. Purcell, H. C. Torrey, R. V. Pound, *Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid*, „Physical Review” 69 (1946), s. 37–38). Por. Ch. P. Slichter, *The Golden Anniversary of Nuclear Magnetic Resonance NMR. Fifty Years of Surprises*, „Proceedings of the American Philosophical Society” 142 (1998) nr 4, s. 533–556, gdzie szczegółowo przedstawiono historię odkrycia jądrowego rezonansu magnetycznego.

⁷ Edward Mills Purcell (1912–1977) studiował na Uniwersytecie Purdue (Indiana) oraz w Technische Hochschule w Karlsruhe. Doktorat uzyskał w 1938 na Uniwersytecie Harvarda. Do spektakularnych sukcesów naukowych Purcella należy zaliczyć obserwacyjne potwierdzenie (wspólnie z H. I. Ewenem) teoretycznych przewidywań H. van de Hulsta, dotyczących istnienia promieniowania o długości fali 21 cm (1, 4204 GHz), które emituje znajdujący się w przestrzeni kosmicznej neutralny wodór. Por. K. D. Stephan, *How Ewen and Purcell Discovered the 21-cm Interstellar Hydrogen Line*, „IEEE Antennas & Propagation Magazine” 41 (1999) nr 1, s. 7–17, gdzie można znaleźć interesujące szczegóły na temat tego odkrycia (wpływ nowych technologii na rozwój nauki), oraz B. Bleaney, *Edward Mills Purcell. 30 August 1912–7 March 1997*, „Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society” 45 (1999), s. 438–447, gdzie jest m.in. szczegółowa biografia Purcella oraz bibliografia jego prac naukowych.

Harvarda, drugim zespołem badawczym⁸, pracującym na uniwersytecie Stanforda, kierował F. Bloch⁹. Celem tych eksperymentów było zbadanie magnetycznych właściwości jąder atomowych za pomocą nowych metod eksperymentalnych¹⁰. Odkryte przez siebie zjawisko Bloch nazywał indukcją magnetyczną¹¹, lecz powszechnie przyjęto nazwę nadaną mu przez Purcella – „magnetyczny rezonans jądrowy” (NMR – *Nuclear Magnetic Resonance*), współcześnie – głównie w zastosowaniach medycznych – technikę badawczą opartą na zjawisku magnetycznego rezonansu magnetycznego nazywa się obrazowaniem magnetyczno-rezonansowym¹² (MRI – *Magnetic Resonance Imaging*).

Uzyskane rezultaty wykroczyły daleko poza perspektywę poznawczą fizyki jądrowej. Wkrótce okazało się, że wypracowane techniki badawcze – aczkolwiek nikt wcześniej tego nie przewidywał – można było z powodzeniem zastosować w chemii, biologii, archeologii i przede wszystkim w medycynie. We współczesnej nauce metody badawcze oparte na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego mają szerokie zastosowanie i często prowadzą do interesujących wyników poznawczych¹³, ale największy wpływ na życie współcze-

⁸ W drugim zespole (obok F. Blocha) byli William Hansen i Martin Packard. Wyniki tego eksperymentu zostały opublikowane w 1946 r. (F. Bloch, W. W. Hansen, M. Packard, *The Nuclear Induction Experiment*, „Physical Review” 70 (1946), s. 474–485).

⁹ Felix Bloch (1905–1983) pracę doktorską napisał pod kierunkiem W. Heisenberga. W 1934 wyemigrował do USA, gdzie od 1936 był profesorem uniwersytetu w Stanford; w latach 1954–1955 był pierwszym dyrektorem generalnym Europejskiego Ośrodka Badań Jądrowych (CERN). Do największych jego odkryć w zakresie fizyki teoretycznej należy m.in. sformułowanie twierdzenia określającego wpływ potencjału krystalicznego określonego przez symetrię sieci na funkcje falowe elektronów (tzw. twierdzenie Blocha). Por. A. K. Wróblewski, *Historia fizyki. Od czasów najdawniejszych do współczesności*, Warszawa 2006, s. 538–539.

¹⁰ W eksperymentach próbowano działać zmiennym polem magnetycznym (fale radiowe o określonej częstotliwości) na jądra atomowe umieszczone w silnym polu magnetycznym. Uzyskano efekt absorpcji fal elektromagnetycznych o częstotliwości zbliżonej do częstotliwości precesji jąder atomowych (w ujęciu klasycznym). Według ujęcia klasycznego w zewnętrznym polu magnetycznym moment magnetyczny jądra atomowego rozpoczyna precesję (wirowanie) wokół wektora indukcji zewnętrznego pola magnetycznego B_0 . W przypadku gdy częstotliwość pola przemiennego zrówna się z częstością precesji, spełnione są warunki przekazu energii. Za swoje odkrycie Purcell i Bloch w 1952 r. uzyskali Nagrodę Nobla z fizyki. „Za rozwinięcie metody precyzyjnych pomiarów rezonansu magnetycznego i dokonane w związku z tym odkrycia” (tamże, s. 584). W związku z jądrowym rezonansem magnetycznym przyznano w sumie pięć Nagród Nobla.

¹¹ Czasami stosuje się także termin „indukcja jądrowa” (*nuclear induction*). Por. E. R. Andrew, *A Historical Review of NMR and Its Clinical Applications*, „British Medical Bulletin” 40 (1984), s. 115.

¹² P. Lauterbur ukuł termin „Zeugmatography” (*zeugmatografia*, od. gr. rzeczownika [dzéugma] – spojenie, pomost), który jednak się nie przyjął (por. tamże, s. 118).

¹³ Techniki badawcze oparte na zjawisku jądrowego rezonansu magnetycznego szczególne znaczenie mają przy testowaniu działania nowych leków, w szczególności przy próbach określenia ich roli w metabolizmie człowieka. Techniki te są szczególnie efektywne w połączeniu z

snego człowieka odkrycie zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego ma przez jego wykorzystanie w diagnostyce medycznej.

APLIKACJE METODY
JĄDROWEGO REZONANSU MAGNETYCZNEGO
W DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ

Aplikacje metody jądrowego rezonansu magnetycznego (wysokiej rozdzielczości spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego) w medycynie stały się oczywiste, kiedy w 1973 udało się zarejestrować widmo rezonansu magnetycznego fosforu pochodzące z czerwonych krwinek¹⁴. Kalibrując urządzenie, przyporządkowano poszczególne pasma widma różnym substancjom, zawierającym w swej strukturze atomy fosforu¹⁵ (w tym także ATP). Niezależnie udało się wykazać, że metodą spektroskopii rezonansu magnetycznego można zmierzyć stężenia niektórych substancji chemicznych wewnątrz żywych komórek. W tym samym roku P. Lauterbur zbudował prototyp urządzenia¹⁶, które umożliwiło obrazowanie wnętrza ludzkiego ciała¹⁷, zaś P.

innymi metodami analitycznymi. Por. S. S. i T. Pochapsky, *Nuclear Magnetic Resonance as a Tool in Drug Discovery, Metabolism and Disposition*, „Current Topics in Medicinal Chemistry” 1 (2001) nr 5, s. 427–441.

¹⁴ Zob. R. B. Moon, J. H. Richards, *Determination of Intercellular pH by ³¹P Magnetic Resonance*, „The Journal of Biological Chemistry” 248 (1973), s. 7276–7278.

¹⁵ W następnym roku udało się zarejestrować rezonansowe widmo atomów fosforu pochodzących z materiału organicznego (mięsień z nogi szczura). Zob. D. I. Hoult [i in.], *Observation of Tissue Metabolites Using ³¹P Nuclear Magnetic Resonance*, „Nature” 252 (1974), s. 285–287.

¹⁶ Twórcą pierwszego urządzenia do badania metodą rezonansu magnetycznego całego ciała człowieka był Raymond Damadian. Zastosował on znaną wcześniej w dziedzinie chemii technologię do zobrazowania ludzkiego ciała i określił (1971) różnice w obrazach zdrowych i chorych (na raka) tkanek. Zob. R. Damadian, M. Goldsmith, L. Minkoff, *NMR in Cancer. Fonar Image of the Live Human Body*, „Physiological Chemistry and Physics” 9 (1977), s. 97–108. Pierwsza próba wykorzystania tego urządzenia do diagnostyki ludzkiego ciała odbyła się 2 VII 1977 r. i trwała 7 godzin (w badaniu tym zobrazowano serce, płuca oraz ścianę klatki piersiowej). Damadian nazwał swoje dzieło *Indomitabl* (nieustraszony). Za swoje osiągnięcia Damadian otrzymał w 1988 r. National Medal of Technology — najwyższe odznaczenie państwowe w dziedzinie technologii. Por. S. Kleinfeld, *A Machine Called Indomitable*, New York 1985.

¹⁷ Z początku urządzenie rejestrowało tylko takie heterogeniczne obiekty, jak dwa cylindry z wodą. Zaslugą Paula C. Lauterbura było odkrycie, w jaki sposób można tworzyć dwuwymiarowe przekroje tkanek. P. C. Laterbur, *Image Formation by Induced Local Interactions. Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance*, „Nature” 242 (1973), s. 190–191.

Mansfield w 1976 za pomocą rezonansu magnetycznego uzyskał pierwszy obraz fragmentu ludzkiego ciała¹⁸ (palca ręki).

W roku 1980 angielska firma Oxford Instrument Company wyprodukowała bardzo silny (1,9 T) nadprzewodnikowy magnes o takiej średnicy (20 cm), że można było do niego włożyć ludzką kończynę albo głowę niemowlęcia – i zmierzyć w niej średnie stężenia niektórych substancji, np. ATP. W połowie lat 80. XX wieku produkowano nadprzewodzące magnesy o średnicy 1m. Rozwój technologii informatycznych oraz coraz doskonalsze (nadprzewodzące) magnesy umożliwiły udoskonalenie tych urządzeń oraz zmniejszenie kosztów ich wytwarzania¹⁹. Wykładniczy wzrost liczby diagnoz stawianych za pomocą urządzeń wykorzystujących magnetyczny rezonans magnetyczny sprawił, że w 2003 roku liczba tych urządzeń na świecie przekroczyła 22 tysiące. Każdego roku korzysta z nich ponad 60 mln osób.

UWAGI PODSUMOWUJĄCE

Należy zauważyć, że nowe metody diagnostyczne oparte na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego dostarczają nie tylko spektakularnych wglądów we wnętrze człowieka, ale i artefaktów. W szczególności odnosi się to do metody tzw. funkcjonalnego magnetycznego rezonansu jądrowego²⁰ – metody wykorzystywanej do obserwacji pracy mózgu w czasie rzeczywistym.

¹⁸ Peter Mansfield dokonał takich modyfikacji metody MRJ, dzięki którym możliwe stało się zastosowanie jej w praktyce, tzn. w diagnostyce i terapii. Metody obrazowania innych fragmentów ludzkiego ciała opisali E. R. Andrew, P. A. Bottomley, W. S. Hinshaw, G. N. Holland, W. S. Moore oraz C. Simaraj w artykule *NMR Images by the Multiple Sensitive Point Methode. Application to Large Biological Systems*, „Physics in Medicine and Biology” 22 (1977), s. 971–974. P. C. Lauterbur i P. Mansfield zostali w 2003 r. laureatami Nagrody Nobla z dziedziny medycyny. W uzasadnieniu swojego werdyktu członkowie Komitetu Noblowskiego napisali: „Obrazowanie ludzkich narządów wewnętrznych za pomocą dokładnych i nieważnych metod jest bardzo ważne dla diagnozy lekarskiej, terapii i dalszej obserwacji stanu pacjenta”. Decyzja ta była jednak przedmiotem kontrowersji w związku z wkładem, jaki wniósł w rozwój tych metod Damadian.

¹⁹ Szerzej na ten temat zob. P. Mansfield, P. G. Morris, *NMR Imaging in Biomedicine*, New York 1982. Por. także Andrew, art. cyt., s. 115–119.

²⁰ Rozwój metod MRJ pozwolił nie tylko na poszerzenie możliwości diagnostyki strukturalnej (anatomicznej). Współcześnie został opracowany tzw. funkcjonalny magnetyczny rezonans jądrowy (najnowszą /2005/ modyfikacją tej metody jest tzw. obrazowanie molekularne dające możliwość znakowania komórek macierzystych), który służy nie tylko do obrazowania strukturalnego, ale także czynnościowego (funkcjonalnego), ujawniając patologię na poziomie komórki, a nawet genomu (teza, że leczenie zmian chorobowych wykrytych na poziomie mi-

Istnieją jednak metody pozwalające na odróżnieniu artefaktów od rzeczywistości. Doskonalenie tych metod jest ważnym etapem na drodze budowania pomostów między mikrokosmosem i makrokosmosem ciała człowieka, nie musi jednak równocześnie prowadzić do wiązania poziomu makro- z interpretacją fenomenalistyczną. Rzeczywisty może być zarówno mikrokosmos, jak i makrokosmos ludzkiego ciała.

Kolejna uwaga sprowadza się do wskazania ograniczeń rozumowania, zgodnie z którym sukces poznawczy teorii T_1 opartej na określonym modelu rzeczywistości, jest argumentem na rzecz ontologii, którą zakłada teoria T_1 . Decydującym argumentem na rzecz takiej ontologii mogłaby być bardziej ogólna teoria T_2 (o bogatszej ontologii), za którą przemawiałyby niezależne racje teoretyczne i która w jeszcze większym stopniu byłaby heurystycznie płodna, ale równocześnie teoria T_1 byłaby szczególnym przypadkiem teorii T_2 .

Można jednak próbować argumentować, że współczesne przyrodnicze teorie materii mają właśnie te kwalifikacje w stosunku do wcześniejszych (historycznych) fizykalnych koncepcji materii. Wówczas ciąg takich teorii stanowiłby mocny argument na rzecz (ontologicznej) tezy, głoszącej, że człowiek jest agregatem cząstek materialnych. Jednak dopiero z punktu widzenia przyszłej fizyki (zunifikowanej teorii wszystkich pól fizycznych), w której nie byłoby dwóch różnych opisów rzeczywistości (klasycznego i kwantowego), argument ten byłby w pełni konkluzywny.

kroskopowym /zaburzeń metabolicznych, neuroprzeżywania czy mikrokrążenia/ jest nieporównywalnie bardziej skuteczne niż w przypadku zmian strukturalnych jest dość oczywista). Nowe techniki przez swoją skuteczność prowadzą do wzrostu liczby osób zajmujących się diagnostyką. W 2005 r. zjazd Radiologicznego Towarzystwa Ameryki Północnej (Radiological Society of North America – RSNA) zgromadził ponad 62 000 osób, stając się największą medyczną konferencją na świecie. Zob. m.in.: S. D. Forman [i in.], *Improved Assessment of Significant Change in Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). Use of a Cluster Size Threshold*, „Magnetic Resonance in Medicine” 33 (1995), s. 636–647; C. R. Genovese, D. C. Noll, W. F. Eddy, *Estimating Test-Retest Reliability in Functional MR Imaging I. Statistical Methodology*, tamże, 38 (1997), s. 497–507; R. Bogusławska [i in.], *An Introduction to Functional Magnetic Resonance Imaging*, „Medical Science Monitor” 5–6 (1999), s. 1179–1186; W. F. Eddy [i in.], *The Challenge of Functional Magnetic Resonance Imaging*, „Journal of Computational and Graphical Statistics” 8 (1999) nr 3, s. 545–558.