

PIOTR GIZA

*Czy komputerowe systemy odkryć dostarczają
argumentów na rzecz realizmu?*

Do the Automated Discovery Systems provide arguments
for scientific realism?

WSTĘP

W latach 70. XX w. kilku badaczy sztucznej inteligencji w USA skierowało swoje zainteresowania na obszar uważany jak dotąd jedynie za domenę geniuszu odkrycia naukowego. Chodziło o zaprojektowanie i uruchomienie systemów komputerowych, które miały modelować rzeczywisty historyczny proces odkrycia naukowego w dziedzinach takich jak matematyka, fizyka, chemia, czy biologia. Wysiłki koncentrowały się głównie na modelowaniu odkryć praw empirycznych takich jak równanie gazu doskonałego, prawo Coulomba, prawo załamania światła czy prawo bilansu cieplnego na podstawie danych eksperymentalnych. Najbardziej znane systemy tego typu to system indukcji funkcyjnej Gerwina (Gerwin, 1974), BACON (Bradshaw, Langley i Simon, 1980), FAHRENHEIT (Żyt-kow, 1987) czy IDS (Langley i Nordhausen, 1986).

Systemy odkryć empirycznych, wspomniane wyżej, posiadają pewne wspólne, niezależne od konkretnej dziedziny, metody heurystyczne wzorowane na zachowaniu poznawczym ludzkich badaczy w laboratorium. Są one nie tylko użytecznymi narzędziami w wykrywaniu regularności w „surowych” danych, lecz

niektóre z nich są w stanie samodzielnie zbierać te dane, przeprowadzając proste eksperymenty. Niemniej jednak systemy tego typu nie mają do czynienia z tym, co w normalnym znaczeniu zwykliśmy określać jako *teorie czy terminy teoretyczne* i jako takie nie posiadają istotnego znaczenia dla sporu o realizm w nauce.

Równolegle z rozwojem systemów dokonujących odkryć empirycznych trwały prace nad komputerową rekonstrukcją odkrywania ukrytej struktury materii. Zaowocowały one powstaniem już na początku lat 80. XX w. pierwszych systemów dokonujących odkryć w dziedzinie chemii, fizyki i genetyki. Systemy te, jak postaram się wykazać, są znacznie bardziej interesujące z punktu widzenia filozofii nauki niż systemy odkryć empirycznych.

Pierwszym z tych systemów był DENDRAL (Lindsay, Buchanan, Feigenbaum i Lederverg, 1980). Zajmował się on rekonstrukcją struktury molekuł związków organicznych, tworząc dla danego wzoru sumarycznego związku chemicznego wszystkie możliwe izomery.

Kolejny system, STAHL (Żytkow i Simon, 1986) opracowany w 1986 roku, analizował reakcje chemiczne i stwierdzał, które substancje są pierwiastkami, a które związkami chemicznymi oraz starał się ustalić ich skład. Ta sama grupa badaczy w rok później dokonała kolejnego kroku na drodze komputerowej analizy ukrytej struktury. Opracowany przez nich system DALTON (Langley, Simon, Bradshaw i Żytkow, 1987) był już w stanie zaproponować skład atomowy molekuł substancji chemicznych. Metody wypracowane przy konstrukcji tych systemów zostały następnie zastosowane do fizyki cząstek elementarnych. Udoskonalona wersja STAHL-a oraz system REVOLVER (Rose, 1989) zajmowały się odkrywaniem struktury kwarkowej cząstek elementarnych.

Jednak najdoskonalszym oraz najważniejszym poznawczo systemem generującym modele kwarkowe jest opracowany w 1990 r. system GELL-MANN (Fisher i Żytkow, 1990), któremu ze względu na jego znaczenie poznawcze poświęć więcej uwagi. System ten wyróżnia bogactwo reprezentowania modeli kwarkowych. Jako jedyny wprowadza on bowiem atrybuty dla postulowanych cząstek subelementarnych. Przede wszystkim jednak, system dokonuje wyczerpującego sprawdzania wszystkich możliwych modeli kwarkowych w poszukiwaniu najprostszego modelu adekwatnego do danych. Tym samym możemy tu mówić nie tylko o poszukiwaniu, ale i pewnym uzasadnieniu słuszności znalezionej wersji modelu kwarkowego.

Co więcej, twierdzą, że zaawansowane systemy, jak GELL-MANN, dostarczają nowych, niezależnych i mocnych argumentów na rzecz realizmu w odniesieniu do przedmiotów przez nie postulowanych. Aby móc bronić tej tezy, muszą najpierw pokazać, że nawet najbardziej zaawansowane systemy odkrywające ukrytą strukturę materii „rozumują” *na innym poziomie teorii*, niż czynili to naukowcy w analogicznej sytuacji problemowej. Owe dwa poziomy teorii od-

powiadają rozróżnieniu na *teorie* i *prawa fenomenologiczne*, wprowadzonemu przez Nancy Cartwright w znanej książce *How the Laws of Physics Lie?* (1983) w miejsce tradycyjnego rozróżnienia na teorię i obserwację.¹

Część druga artykułu zawiera krótką charakterystykę stanu wiedzy w fizyce cząstek elementarnych we wczesnych latach 60. ubiegłego stulecia. Pokazuję, w jaki sposób fizycy teoretycy sformułowali hipotezę kwarkową na drodze wysoce zaawansowanych rozważań teoretycznych na temat symetrii w świecie cząstek elementarnych.

W części trzeciej pokazuję, w jaki sposób system GELL-MANN formułuje model kwarkowy na podstawie analizy ogromnej liczby danych fenomenologicznych, w rozumieniu Cartwright.

Wreszcie w konkludującej części czwartej podejmuję próbę skonstruowania argumentacji na rzecz realizmu w odniesieniu do przedmiotów submikroskopowych w sposób analogiczny do znanego „argumentu o koincydencji” sformułowanego przez Iana Hackinga w odniesieniu do przedmiotów mikroskopowych w jego książce *Representing and Intervening* (1983).

W JAKI SPOSÓB KWARKI POJAWIŁY SIĘ W FIZYCE TEORETYCZNEJ?

Do połowy roku 1930 obraz „elementarnych cegiełek”, z których składała się materia, był jasny i prosty. Atomy składały się z jądra i okrążających je elektronów. Jądro zbudowane było z protonów i neutronów. Jednak wraz z rozwojem akceleratorów cząstek osiągających energię rzędu setek MeV oraz postęпами w badaniach nad promieniowaniem kosmicznym liczba wykrytych cząstek zaczęła gwałtownie rosnąć. W roku 1947 znano już 16 cząstek elementarnych i ich rola wydawała się jasna, lecz w tym właśnie roku Rochester and Butler odkryli pierwsze cząstki niepasujące do dotychczasowego obrazu, obecnie znane jako mezon K^0 i cząstka Λ . Tym i innym nowo odkrytym cząstkom nadano wspólne miano „dziwnych” (Norwood, 1975). Liczba odkrytych cząstek zaczęła gwałtownie rosnąć i gdy wraz z pojawieniem się akceleratorów o energii rzędu GeV przekroczyła 100, fizycy zaczęli doszukiwać się jakiegoś prostszego porządku stojącego poza frustrującą liczbą cząstek „elementarnych”. Niektórzy zaczęli nawet kwestionować „elementarny” charakter znanych cząstek, wierząc, że składają się one z mniejszej liczby prostszych składników.

¹ Autorka jest antyrealistką w odniesieniu do teoretycznych praw wyjaśniających a jednocześnie broni realizmu w odniesieniu do pewnych przedmiotów teoretycznych oraz praw niskiego poziomu opisujących konkretne zjawiska. Obszernie omawiam stanowisko Cartwright w pracy Giza (1991). W tym miejscu ograniczę się jedynie do stwierdzenia, że stanowisko jej jest dobrze uzasadnione dogłębną analizą realnej nauki (głównie fizyki) i stanowi dogodny punkt odniesienia dla naszych rozważań.

Już w roku 1950 Eugene Wigner² pokazał, że abstrakcyjny dział algebry, teoria grup, okazał się bardzo przydatny w fizyce, a dokładnie w mechanice kwantowej opisującej widma atomów. Wkrótce formalizm teoriogrupowy został rozszerzony na analizę pewnych oddziaływań w fizyce jądrowej i fizyce cząstek elementarnych.³ Być może pierwszym, udanym zastosowaniem teorii grup do fizyki cząstek elementarnych była koncepcja izospinu. Analiza własności jąder atomowych pokazała, że ich składniki, protony i neutrony mogą być traktowane jako dwa różne stany tej samej cząstki – nukleonu, który posiadałby pewną wewnętrzną własność, izospin czy spin izotopowy, przyjmującą dwie możliwe wartości. Koncepcja izospinu została następnie skutecznie uogólniona na inne grupy znanych cząstek silnie oddziałujących (tzw. hadronów). Cząsteczki danej grupy posiadały prawie identyczne wszystkie liczby kwantowe, a różniły się tylko ładunkiem, związanym z oddziaływaniami elektromagnetycznymi. Matematyczny formalizm izospinu oparty był na tzw. grupie symetrii $SU(2)$.

Do roku 1963 wiele znanych cząstek zostało pogrupowanych w większe „rodziny” według takich własności jak ładunek, izospin, liczba barionowa i dziwność. Najbardziej znana z nich to tzw. oktet barionowy, składający się z dwóch dubletów izospinowych, jednego singletu i jednego tripletu, różniących się dziwnością. Wszystkie cząstki w okciecie miały bardzo podobne masy, spiny i parzystości. Inne grupy to mezony pseudoskalarne, mezony wektorowe i tzw. dekuplet rezonansów barionowych.⁴ Nasunęło to fizykom podejrzenie, że mamy tu do czynienia z szerszą grupą symetrii obejmującą dziwność i izospin, opisującą jakieś supersilne oddziaływanie niewykrytych jeszcze cząstek subelementarnych. Dokładna analiza pokazała, że grupą symetrii właściwą do opisanego wspomnianych rodzin cząstek jest grupa $SU(3)$ – trójwymiarowa grupa symetrii unitarnej.

Po wielu bezowocnych poszukiwaniach naukowcom udało się znaleźć prawidłowe reprezentacje wszystkich znanych grup (tzw. multipletów) cząstek w ramach grupy $SU(3)$. Gell-Mann i Ne’eman (1964) wprowadzili do teorii zupełnie nowe cząstki o ułamkowym ładunku, obsadzające podstawową reprezentację tej grupy – nazwano je *kwarkami*. Rozkład znanych reprezentacji na reprezentacje najprostsze pokazał, że bariony składają się z trzech kwarków, a mezony – z pary kwark antykwark.

² Patrz klasyczna praca w dziedzinie zastosowań teorii grup do fizyki, Wigner (1958).

³ Użyteczność tego formalizmu związana jest z faktem, że tzw. hamiltonian oddziaływania – podstawowa wielkość opisująca system kwantowy – jest niezmienniczy względem pewnych transformacji grupowych (np. przesunięcia w przestrzeni, czasie czy obroty), a to z kolei pociąga za sobą pewne fundamentalne prawa zachowania (np. energii, pędu, ładunku, spinu czy tzw. izospinu). Patrz np. Hammermesb (1963).

⁴ Odkrycie symetrii cząstek elementarnych i ich struktura kwarkowa zostały obszernie opisane w pionierskiej pracy Gell-Mann i Ne’eman (1964).

Początkowo do teorii wprowadzono trzy kwarki, *górną, dolną i dziwną*. Ich liczby kwantowe jednoznacznie wynikały z teorii i wyjaśniały właściwości znanych hadronów. Wkrótce jednak, wraz z odkryciem nowych cząstek, trzeba było wprowadzić trzy nowe kwarki – *powabny, piękny i prawdziwy*.

Reasumując, należy stwierdzić, iż kwarki pojawiły się w efekcie prób zrozumienia, wyjaśnienia i uproszczenia różnorodności coraz większej liczby „elementarnych” cząstek pojawiających się po II wojnie światowej. Wybór właściwego modelu kwarkowego, w tym również kompozycji kwarkowej hadronów i liczb kwantowych kwarków, był zdeterminowany przez matematyczny formalizm kwantowej teorii pola. Kryteria użyte przy porównywaniu różnych modeli kwarkowych związane były z wewnętrzną spójnością formalizmu matematycznego, funkcjonowały więc na poziomie, który Nancy Cartwright określiłaby jako teoretyczne prawa wyjaśniające. Kryterium spójności z obserwacjami (w wystarczająco szerokim rozumieniu), tzn. z własnościami zaobserwowanych cząstek odegrało rolę drugorzędą.

JAK GELL-MANN ODKRYŁ KWARKI?

Zadaniem systemu GELL-MANN-a było zanalizowanie danych na temat cząstek elementarnych (dokładniej: hadronów) znanych w 1964 roku i sformułowanie na tej podstawie hipotezy (lub hipotez) na temat istnienia prostszej, ukrytej w nich struktury materii. Jednak pomimo całkowitej zgodności wyników, GELL-MANN dochodzi do hipotezy o istnieniu kwarków na zupełnie innej drodze, niż zrobili to fizycy teoretycy w roku 1964.

Jak stwierdziłem w poprzedniej części pracy, rozważania, które doprowadziły fizyków do modelu kwarkowego, były przeprowadzane na poziomie modeli teoretycznych. Chodziło o znalezienie najprostszej reprezentacji grupy symetrii SU(3), przy pomocy której udało się uporządkować odkryte hadrony. Ustalenie liczb kwantowych kwarków było już sprawą względnie prostą, podyktowaną wymogami formalizmu teorii.

GELL-MANN „rozumuje” natomiast na poziomie praw fenomenologicznych. Zamiast stosować wyrafinowany formalizm relatywistycznej, kwantowej teorii pola i teorii grup, system przeszukuje ogromną przestrzeń możliwych modeli kwarkowych, starając się znaleźć najprostszy model pasujący do danych wejściowych, tzn. liczb kwantowych „symetrycznych” rodzin cząstek elementarnych.

Opiszę teraz pokrótce wejście, wyjście i funkcjonowanie systemu oraz rezultaty, które udało się przy jego pomocy uzyskać.

Wejście. Na wejściu system wymaga podania listy obiektów scharakteryzowanych przez te same atrybuty. W klasycznym przypadku wejście systemu

stanowią „symetryczne rodziny” cząstek elementarnych (hadronów) znane w roku 1964.

Wyjście. Na wyjściu system generuje listę modeli kwarkowych. Każdy model składa się z listy kwarków, ich własności (liczb kwantowych) oraz unikalnej kompozycji kwarkowej dla każdej wejściowej cząstki elementarnej.

Funkcjonowanie. GELL-MANN rozumuje w kilku krokach poprzez kolejne stosowanie pięciu operatorów, z których każdy wnosi konkretny wkład w konstrukcję ostatecznego modelu kwarkowego:

Pierwszy z nich postuluje istnienie N rodzajów kwarków, z których składałyby się wszystkie cząsteczki z rodziny danej na wejściu. Drugi operator postuluje istnienie struktury kwarkowej hadronów. Zakłada on, że każdy z hadronów w rodzinie wejściowej składa się z M kwarków, poczynając od najprostszej nietrywialnej hipotezy dla $M=2$. Kolejny, trzeci operator generuje wszystkie możliwe struktury kwarkowe, czyli kombinacje $C(N, M)$. W jego funkcjonowanie ingerują dwie istotne reguły heurystyczne ograniczające przestrzeń poszukiwań. Pierwsza z nich wprowadza wymaganie jednoznacznej dekompozycji cząstek wejściowych na kwarki, druga odrzuca te rozwiązania, dla których liczba potencjalnych kombinacji kwarkowych byłaby zbyt duża. Jako graniczną wartość autorzy przyjmują (być może nieco *ad hoc*) wartość $2K$, gdzie K jest liczbą cząsteczek w danej na wejściu rodzinie. Niemniej warunek ten wystarcza, jak się okazuje, by system znalazł unikalny, najprostszy model kwarkowy. Operator trzeci opiera się na wynikach uzyskanych przez dwa poprzednie.

Czwarty operator jest najbardziej skomplikowany w całym systemie. Postuluje on wartości atrybutów dla kwarków, dokonując przeszukiwania w przestrzeni wyznaczonej przez iloczyn kartezyjski trzech list: kwarków, atrybutów i możliwych wartości dla każdego atrybutu. Lista kwarków wyznaczona jest przez operator pierwszy, atrybuty ograniczają się wyłącznie do występujących dla cząstek wejściowych. Zakres wartości dla każdego atrybutu wyznaczony jest przez wartości dla cząstek wejściowych oraz wartości „odziedziczone” z poprzednio znalezionych modeli kwarkowych. Ilość możliwych sposobów, na jakie różnym kwarkom można przyporządkować wartości ich atrybutów, staje się, już przy niewielkiej nawet ich liczbie, na tyle duża, że bezpośrednio, pełne przeszukiwanie jest praktycznie niewykonalne. Stąd też autorzy stosują skomplikowany układ reguł heurystycznych umożliwiający oddzielne przeszukiwanie przestrzeni wyznaczonych przez poszczególne atrybuty, a następnie unifikację tak znalezionych modeli.

Ostatni wreszcie, piąty operator przyporządkowuje każdej cząstce na wejściu jedną i tylko jedną kombinację kwarkową. Modele generowane przez ten operator podlegają weryfikacji przy użyciu zasady addytywności: wartość danego atrybutu dla każdej cząstki jest równa sumie odpowiednich wartości dla kwarków składowych.

Rezultaty. GELL-MANN może pracować na dwa sposoby. W zwykłym trybie pracy system rozważa każdą rodzinę hadronów oddzielnie, za każdym razem budując model kwarkowy od zera. W trybie działania stopniowego (*incremental mode*) system, rozważając kolejno rodziny hadronów dane mu na wejściu, stopniowo uzupełnia i modyfikuje poprzednio otrzymane modele kwarkowe oraz odrzuca modele, które nie pasują do nowych danych.

Fisher i Żytkow (1990) testowali GELL-MANN-a na trzech rodzinach hadronów: oktecie barionowym, dekupletcie rezonansów barionowych i oktecie mezonowym. Program automatycznie kończy działanie dla pierwszych liczb N i M , dla których znajdzie model kwarkowy zgodny z danymi wejściowymi. Nie jest to w sposób automatyczny równoznaczne z sukcesem. Twórcy GELL-MANN-a piszą:

„[...] nie w każdym przypadku znalezienie modelu jest równoznaczne z sukcesem. Jeśli GELL-MANN [...] znajdzie wiele modeli lub jeśli zakończy pracę nie znajdując żadnego modelu, to musimy przyznać, że poniósł on porażkę. [...] Jeżeli otrzymujemy wiele równie skomplikowanych hipotez kwarkowych w jednakowym stopniu zgodnych z danymi wejściowymi, to nie mamy powodu wybrać jednej z nich, gdyż nie możemy orzec, że którakolwiek z nich jest bliższa rzeczywistości niż pozostałe”. (Fisher i Żytkow, 1990, s. 367)

Dla oktetu barionowego i dekupletu rezonansów barionowych system znalazł jedno rozwiązanie: model składający się z trzech kwarków w grupach po trzy. Rozwiązanie to dokładnie odpowiada modelowi kwarkowemu zaproponowanemu przez fizyka Gell-Manna w 1964 roku. Jest on jedynym modelem w swojej klasie prostoty (*simplicity class*).

System miał natomiast poważne problemy z oktetem mezonowym. Zgodnie z zaakceptowanym przez fizyków modelem, mezony składają się z pary kwark antykwark. GELL-MANN powinien więc przez kolejne zwiększanie liczb N i M dojść do modelu składającego się z sześciu kwarków w grupach po dwa. Jednak przy takiej liczbie kwarków przestrzeń możliwych modeli była zbyt duża i autorzy musieli wyłączyć program po około 5 dniach bezowocnych poszukiwań jednoznacznego rozwiązania.

W wypadku działania stopniowego, a więc udoskonalania i uzupełniania kolejnych modeli, system, po znalezieniu jednoznacznego modelu dla oktetu barionowego i dekupletu rezonansów barionowych, próbował zastosować go do przypadku oktetu mezonowego. Po stwierdzeniu niepowodzenia takiej próby uzupełnił go do czterech, pięciu, a następnie sześciu kwarków. Tym razem przestrzeń poszukiwań była już znacznie mniejsza, gdyż dotyczyła jedynie atrybutów trzech nowych kwarków i w krótkim czasie GELL-MANN znalazł jednoznaczne, najprostsze rozwiązanie dokładnie odpowiadające modelowi zaakceptowanemu w fizyce.

Z powyższej, pobieżnej analizy wynika, że GELL-MANN przy uzasadnianiu sformułowanych przez siebie hipotez posługuje się jedynie kryteriami pro-

stoty i zgodności z danymi. System nie jest w stanie rozumować na tak wysokim poziomie abstrakcji i zaawansowanego formalizmu matematycznego, jak twórcy modelu kwarkowego. Jednak nawet tak „ubogi” warsztat teoretyczny wystarczy mu do znalezienia jednoznacznego modelu kwarkowego, całkowicie zgodnego z przyjętym przez fizyków. Człowiek nie miałby raczej szans na uzasadnienie tą drogą jakiegokolwiek modelu kwarkowego. Przeszukanie tak ogromnej przestrzeni wszystkich możliwych modeli byłoby dla ludzkiego badacza nie do pomyslenia.

KONKLUZJE

Powyżej opisałem krótko system, który drogą wyczerpującego przeszukiwania ogromnej przestrzeni możliwych modeli kwarkowych znalazł tylko jedno, najprostsze rozwiązanie spójne z danymi – dokładnie model kwarkowy zaakceptowany przez fizyków. Fakt ten jest na tyle znaczący, że jak piszą autorzy systemu, możemy tu mówić o pewnego rodzaju uzasadnieniu, opierając się na kryteriach prostoty i zgodności z danymi, bez odwoływania się do wyrafinowanych teorii (Fisher i Żytkow, 1990, s. 370).

Rozważania, które doprowadziły fizyków do właściwego modelu kwarkowego, prowadzone były na poziomie modeli teoretycznych i formalizmu teoriogrupowego kwantowej teorii pola. Większość możliwych modeli kwarkowych rozważanych przez system GELL-MANN zostałyby *a priori* odrzuconych jako niepasująca do reprezentacji grupy symetrii $SU(3)$. Głównym kryterium stosowanym tu przy porównywaniu różnych modeli kwarkowych była wewnętrzna matematyczna spójność formalizmu. Po jego zastosowaniu wybór właściwego modelu kwarkowego oraz wartości atrybutów samych kwarków był już sprawą prostą.

Zarazem jednak żaden poważny współczesny badacz nie postępowałby jak system GELL-MANN. Łatwo jest bowiem postulować ukrytą strukturę, lecz bardzo trudno jest ją uzasadnić właśnie dlatego, że możliwych jest tak wiele modeli. Problem ten określany jest w filozofii nauki jako *niedookreślenie teorii przez dane*. Badacz–człowiek, chcąc uzasadnić konkretny model kwarkowy, rozumując jedynie na poziomie praw fenomenologicznych opisujących własności cząstek, musiałby pokazać nie tylko, że jest on zgodny z danymi, ale że jest również *najprostszy*. To zaś wymagałoby dokładnego przeanalizowania setek tysięcy możliwych modeli, co jest zadaniem przerastającym ludzkie możliwości. Jednak system GELL-MANN postępuje właśnie tak, jakby postąpił chory na umyśle naukowiec–mamiak, tyle tylko że mu się udaje. Fakt ten, jak sądzę, da się zresztą uogólnić na inne zaawansowane systemy odkrywające ukrytą strukturę.

Owa dziwna koincydencja wyników uzyskanych na dwu, zupełnie różnych drogach stanowi jeden z koronnych argumentów na rzecz realizmu wysuwanych przez wspomnianego już filozofa nauki Iana Hackinga (1983).

„Argument o koincydencji” Hacking odnosi przede wszystkim do przedmiotów mikroskopowych. Można go streścić następująco:

Byłoby nieprawdopodobnym zbiegiem okoliczności, gdyby dwa przyrządy, działające na zupełnie różnych zasadach, (np. mikroskop optyczny i mikroskop elektronowy) ujawniły w preparacie tę samą strukturę mikroskopową, a mimo to struktura ta byłaby jedynie zniekształceniem (artefaktem), a nie czymś co w preparacie realnie istnieje.

Hacking jest wprawdzie realistą w odniesieniu do niektórych przedmiotów teoretycznych takich jak przedmioty mikroskopowe czy tzw. przedmioty eksperymentatora (jak np. elektrony), lecz przynajmniej na obecnym etapie rozwoju nauki, nie uznałby za wystarczające argumentów przemawiających za istnieniem kwarków.

Sądzę jednak, że przez analogię do jego argumentu można by sformułować inny, choć oczywiście słabszy argument na rzecz hipotezy kwarkowej:

Jeśli dwa, prowadzone na zupełnie różnych poziomach, rozumowania teoretyczne doprowadzają nas do zbieżnych wyników dotyczących zarówno kompozycji kwarkowej hadronów, jak i liczb kwantowych samych kwarków, to stanowi to znacznie mocniejsze potwierdzenie hipotezy kwarkowej niż każdy argument z osobna. Ponadto, hipoteza kwarkowa jest tym lepiej uzasadniona, im bardziej owe dwa argumenty są od siebie niezależne.

W oczywisty sposób, powyższy argument ma mniejszą „siłę przekonywania” niż argument Hackinga: teorie wyjaśniające wysokiego poziomu, jak chromodynamika kwantowa i prawa fenomenologiczne opisujące własności hadronów nie są od siebie aż tak niezależne jak zasady opisujące różne mikroskopy. Myślę jednak, że jest w tym „coś”, że do hipotezy kwarkowej można dojść na dwa niezależne sposoby, a to byłoby niemożliwe bez automatycznych systemów odkryć.

LITERATURA

- Bradshaw G. L., Langley P., Simon H. (1980), BACON.4: *The Discovery of Intrinsic Properties*, [in:] *Proceedings of the Third Biennial Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence*, Victoria, BC, pp. 19–25.
- Cartwright N. (1983), *How the Laws of Physics Lie?*, Oxford, Clarendon Press.
- Fisher P., Żytkow J. M. (1990), *Discovering Quarks and Hidden Structure*, [in:] Z. Ras, M. Zemankova, M. L. Emrich, [eds.], *Methodologies for Intelligent Systems 5*, New York, Elsevier Science Publishing Co., pp. 362–370.
- Gell-Mann M., Ne’eman Y. (1964), *The Eightfold Way*, N. Y., Benjamin.
- Gerwin D. G. (1974), *Information Processing, Data Inferences, and Scientific Generalization*, „Behavioral Sciences”, 19, pp. 314–325.

- Giza P. (1987), *How to Defend Realism?*, [in:] *Proceedings of the 11th International Wittgenstein Symposium*, Kirchberg, Austria, pp. 39–43,
- Giza P. (1990), *Realizm I. Hackinga a konstruktywny empiryzm Bas C. van Fraassena*, RRR, t. 23, Lublin, Wyd. UMCS,
- Giza P. (1995), *Intelligent Computer Systems and Theory Comparison*, [in:] L. Koj [ed.] *On Theory Comparison*, Rodopi Publishing House, Austria (w przygotowaniu).
- Hacking I. (1983), *Representing and Interyening*, Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Hammermesh M. (1963), *Group Theory*, NY, Addison–Wesley.
- Langley P. and Nordhausen B. (1986), *A framework for empirical discovery*, [in:] *Proceedings of the International Meeting on Advances in Learning*, Les Arcs, France.
- Langley R., Simon H., Bradshaw G. L., Żytkow J. M. (1987), *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Processes*, MA, the MIT Press.
- Langley P., Żytkow J. M. (1989), *Data-Driven Approaches to Empirical Discovery*, *Artificial Intelligence*, 40, pp. 283–312.
- Lenat D. B. (1977), *Automated Theory Formation in Mathematics*, [in:] *Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 833–842.
- Lindsay R., Buchanan G. M., Feigenbaum E. A., Lederberg R. (1980), *Applications of Artificial Intelligence for Organic Chemistry; The DENDRAL Project*, New York, McGraw-Hill.
- Newell A., Simon H. A., (1972), *Human Problem Solving*, NY, Prentice Hall.
- Norwood J. (1975), *Twentieth Century Physics*, NY, Prentice Hall.
- Piatetsky-Shapiro G., (ed.), (1991), *Proc. of AAAI-91 Workshop on Knowledge Discovery in Databases*, San Diego, CA.
- Rose D. (1989), *Using Domain Knowledge to Aid Scientific Theory revision*, [in:] *Proceedings of the Sixth International Workshop on Machine Learning*, San Mateo, CA, Morgan Kaufmann Publishers, pp. 272–277.
- Wigner E. (1958), *Group Theory and its Application to Quantum Mechanics of Atomic Spectra*, NY.
- Żytkow J. M., Simon H. A. (1986), *A Theory of Historical Discovery: The Construction of Componential Models*, „Machine Learning”, 1, pp. 107–136.
- Żytkow J. M. (1987), *Combining many searches in the FAHRENHEIT discovery system*, [in:] *Proceedings of the Fourth International Workshop on Machine Learning*, Irvine CA, pp. 281–287.
- Żytkow J. M. [ed.] (1992), *Proc. of the ML-92 Workshop on Machine Discovery*, National Institute for Aviation Research, Wichita, KS.
- Żytkow J. M. (1993), *Automatyzacja odkrycia naukowego: stan i perspektywy*, *Filozofia Nauki*, 4, s. 38–54.

SUMMARY

In the paper I explore the relations between a relatively new and quickly expanding branch of Artificial Intelligence the Automated Discovery Systems and some new views

advanced in the old debate over scientific realism. I focus my attention on one such system, GELL-MANN, designed in 1990 at Wichita State University. The program's task was to analyze elementary particle data available in 1964 and formulate an hypothesis (or hypotheses) about a „hidden”, more simple structure of matter, or to put it in contemporary terms the discovery of quarks. The central thesis of my paper is that systems like GELL-MANN not only discover (or rediscover) the hidden structure of matter, but also provide independent strong evidence in favor of scientific realism about entities involved in that structure.