

Adrian Sulich

ORCID 0000-0002-0008-3737

Polska Akademia Nauk
Instytut Fizyki
Uniwersytet Warszawski
Wydział Neofilologii

Polish Academy of Sciences
Institute of Physics
University of Warsaw
Faculty of Modern Languages

O JĘZYKU MAP SIECI ODWROTNEJ

Toward the Language of Reciprocal Space Maps

Słowa kluczowe: język specjalistyczny, mapa sieci odwrotnej, znak ikoniczny, tekst mieszany, optymalizacja znaku, system semiotyczny

Key words: specialist language, reciprocal space map, iconic sign, mixed text, sign optimization, semiotic system

Streszczenie

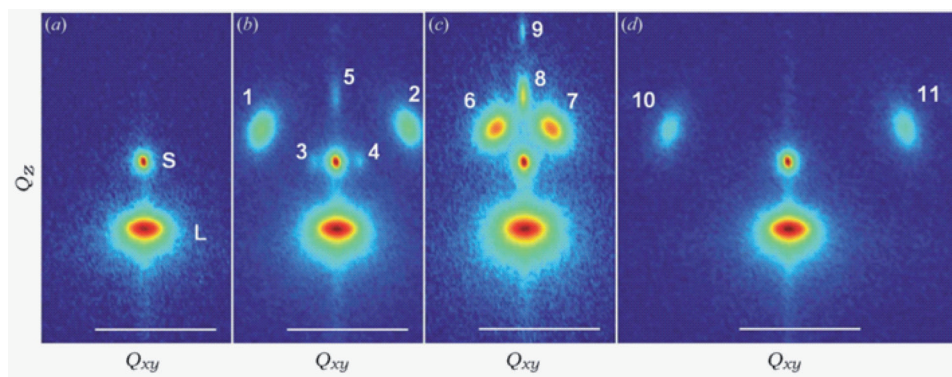
Artykuł jest semiotycznym studium map sieci odwrotnej – wykresów stosowanych w naukach przyrodniczych do reprezentacji dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na kryształach. Źródłem badanego materiału są artykuły z dziedziny krytalografii. W analizie wykorzystano narzędzia pojęciowe językoznawstwa. Wykazano, że rozważane obiekty znakowe to nieliniarne teksty mieszane. Opisano system semiotyczny używany do ich tworzenia. Scharakteryzowano złożone procesy ich dekodowania, uwzględniające odbiór informacji o charakterze presupozycyjnym oraz implikacyjnym. Zwrócono uwagę na istnienie dużej różnorodności form badanych wykresów i sformułowano postulaty dotyczące ich kodyfikacji. Zaprezentowano przykłady innych typów dwuwymiarowych znaków ikonicznych stosowanych w krytalografii, które razem z mapami sieci odwrotnej mogą tworzyć makrosystem semiotyczny wart dalszych studiów.

Abstract

The article is a semiotic study of reciprocal space maps – the figures applied in natural sciences to depict X-ray diffraction in crystals. The sources of a researched material were crystallographic articles. In the analysis linguistic concepts were used. It was exhibited that investigated signs have a non-linear mixed text structure. The semiotic system for their production was described. Complex process of their decoding, involving recognition of presuppositions and implications was characterized. A variety of reciprocal space map forms was discussed with a proposal for their standardization. There were also presented some examples of other kinds of two-dimensional iconic signs used for X-ray diffraction imaging. They are intended to constitute, along with reciprocal space maps, a semiotic macro system worthy of separate studies.

Wstęp

Mapa sieci odwrotnej to rodzaj wykresu opisującego właściwości strukturalne kryształu i tworzony na podstawie wyników badań wykonanych techniką dyfrakcji rentgenowskiej bądź symulowanych przy użyciu programów komputerowych opartych na teorii dyfrakcji. Z reguły jest dwuwymiarowa i przedstawia charakterystyczne punkty o rozmytych brzegach. Na podstawie ich kształtu, wymiarów i lokalizacji w przyjętym układzie współrzędnych specjalista może ocenić jakość krystalograficzną badanego materiału. Przykładowe wykresy omawianego typu zamieszczone są na rys. 1.:



Rys. 1. Mapy sieci odwrotnej zaczerpnięte z pracy: Morelhão and Domagala 2007. Rysunki przedrukowano za zgodą Międzynarodowej Unii Krystalografii, <http://journals.iucr.org>.

Z semiotycznego punktu widzenia mapy sieci odwrotnej są komunikatami sformułowanymi w języku sztucznym, który – choć od języka naturalnego różni się zarówno pod względem formy znaków, jak i przekazywanych przez nie treści – stanowi jednak tak samo system¹ posiadający słownik i gramatykę oraz reguły semantyki i pragmatyki.

Artykuł poświęciłem semiotyczno-lingwistycznemu opisowi tego systemu, ponieważ w świetle mojej aktualnej wiedzy nie był jeszcze rozpatrywany w takim ujęciu, a jest tego wart. Stanowi bowiem część języka nauki, więc zjawisko społecznie istotne w nie mniejszym stopniu niż inne kody i znaki, poznane już i zajmujące poczesne miejsce w tradycji badań humanistycznych – takie jak na przykład systemy liczbowe i kalendarzowe (Wójcik 1969), mapy kartograficzne (Ostrow-

¹ Swoje rozumienie języka jako systemu opieram na tradycji strukturalistycznej wywodzącej się od de Saussure'a (1961).

ski 2013, Kuna i Rzuciło 2015), notacja muzyczna (Posner 1990), znaki drogowe (Bojar 1987), język rachunkowości (Masztalerz 2013) czy obiekty znakowe spotykane w przestrzeni miejskiej (Mozer 2001).

Materiał ilustrujący wywód pochodzi ze współczesnych publikacji specjalistycznych z dziedziny krystalografii oraz innych nauk, w których stosuje się technikę dyfrakcji rentgenowskiej², jak również z zasobów nieopublikowanych opracowań danych doświadczalnych uzyskanych przez zespół naukowców ze Środowiskowego Laboratorium Badań Rentgenostrukturalnych i Elektrono-mikroskopowych Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk (SL1. IF PAN). Spis materiałów źródłowych podany jest na końcu pracy – po bibliografii.

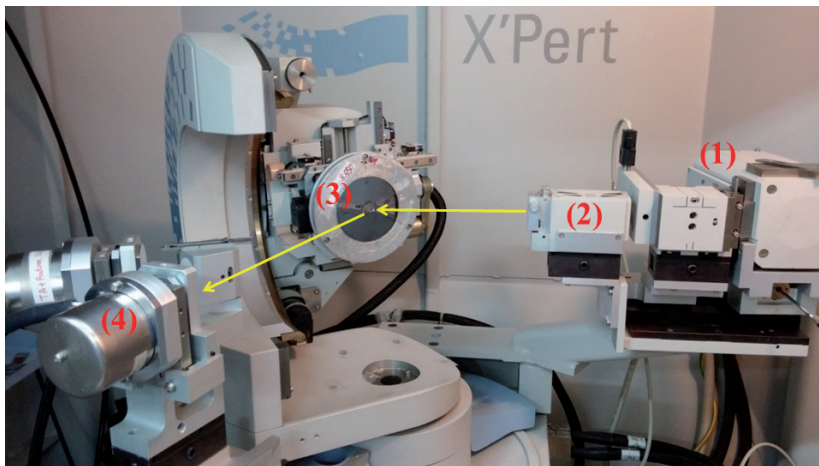
Ze względu na specyfikę badanych obiektów znakowych konieczne jest wstępne objaśnienie, do czego się odnoszą oraz sposobu, w jaki powstają, gdyż wiedza ta będzie potrzebna Czytelnikowi podczas śledzenia zasadniczej części analizy przeprowadzonej z użyciem aparatu pojęciowego lingwistyki. Dlatego artykuł składa się z dwóch części, z których pierwsza poświęcona została podstawom eksperymentu dyfrakcyjnego oraz procedurom opracowywania uzyskanych wyników, umożliwiającym ich prezentację w formie mapy sieci odwrotnej, druga zaś dopiero – analizie systemu i semantyki języka tego typu obiektów znakowych oraz ich funkcjonowania w dyskursie specjalistycznym³.

1. Przebieg eksperymentu dyfrakcyjnego i sposób opracowywania map sieci odwrotnej

Badania kryształów techniką dyfrakcji rentgenowskiej prowadzi się przy użyciu synchrotronów bądź laboratoryjnych dyfraktometrów. Jedno z takich urządzeń przedstawia rys. 2.:

² Źródłem wspomnianych publikacji są głównie czasopisma wydawane przez Międzynarodową Unię Krystalografii – ze względu na możliwość uzyskania od Wydawcy zgody na bezpłatny przedruk rysunków przedstawiających mapy sieci odwrotnej; jakkolwiek w analizie wykorzystane zostały także materiały od innych Wydawców, na które powołuję się przy pomocy samych odsyłaczy bibliograficznych.

³ Aby nie wydłużać nadmiernie tekstu, uwzględniłem w części krystalograficznej wyłącznie kwestie kluczowe z punktu widzenia rozumienia map sieci odwrotnych jako znaków. Jeśli Czytelnik będzie zainteresowany zdobyciem pełniejszej wiedzy o podstawach dyfrakcji rentgenowskiej, w bibliografii podałem adresy wydawnicze przykładowych podręczników, w których omówiono dokładniej te zagadnienia (Ashcroft i Mermin 1986, Bobrowski 1999, Cullity 1964, Pietsch i inni 2004); wymieniłem też jedną z historycznych publikacji pionierów powyższej dziedziny badań (Bragg i Bragg 1913).

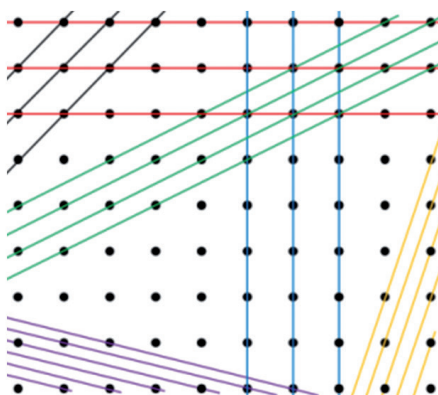


Rys. 2. Wysokorozdzielczy dyfraktometr rentgenowski (SL1. IF PAN) – główne części aparatu: (1) lampa rentgenowska, (2) układ optyczny, (3) ruchoma tarcza z przymocowaną próbką badanego kryształu, (4) ruchomy detektor rejestrujący intensywność promieniowania X uginanego na próbce podczas eksperymentu; żółte strzałki pokazują kierunek rozchodzenia się promieniowania. Autor zdjęcia: Jarosław Z. Domagała.

Widoczna na fotografii lampa rentgenowska (1) służy do wytwarzania promieniowania używanego w eksperymencie. Jest ono korygowane w układzie optycznym (2) tak, aby uzyskać wiązkę odpowiednio intensywną, w przybliżeniu płaską i złożoną tylko z jednej długości fali elektromagnetycznej.

Skorygowana wiązka promieniowania, zwana *wiązką pierwotną*, opuszcza układ optyczny (zgodnie z kierunkiem pierwszej strzałki po prawej stronie rys. 2), przemieszcza się w stronę badanej próbki, a następnie wnika do jej sieci krystalicznej, która stanowi uporządkowaną strukturę z periodycznie powtarzającymi się *węzłami* – atomami, jonami lub cząsteczkami danej substancji, oddalonymi od siebie o odległości rzędu pojedynczych Å (czyli 10^{-10} metra). Węzły te ułożone są na wspólnych płaszczyznach, zwanych *płaszczyznami krystalograficznymi*⁴, które tworzą całe rodziny i dają się wyodrębnić na różne sposoby, por. rys. 3:

⁴ Dokładniejsze omówienie zagadnień związanych z geometrią kryształów można znaleźć na przykład w podręczniku, którego autorem jest Cullity (1964: 49–68).



Rys. 3. Przykłady różnych sposobów wyodrębniania płaszczyzn krystalograficznych w kryształach (na schemacie widać model sieci uproszczony do dwóch wymiarów). Kropki symbolizują węzły, a kolorowe linie pokazują przebieg wybranych rodzin płaszczyzn (część linii została pominięta – dla uzyskania większej przejrzystości graficznej rysunku).

Płaszczyzn krystalograficznych jest potencjalnie nieskończenie wiele i opisuje się je tzw. *wskaźnikami Millera*, oznaczanymi przy pomocy liter h , k , l , którym przyporządkowane są 3 liczby. Wartości tych liczb określają dokładnie lokalizację przestrzenną danej rodziny płaszczyzn w sieci kryształu – podobnie, jak na przykład współczynniki liczbowe równania prostej pozwalają jednoznacznie odtworzyć jej przebieg w układzie współrzędnych⁵.

Ponieważ odległości między płaszczyznami krystalograficznymi mają wymiary porównywalne z długością fali promieniowania X, następuje *dyfrakcja (ugięcie)* wiązki. Mechanizm tego zjawiska jest dosyć złożony. Najpierw każdy węzeł znajdujący się na drodze fali pochłania jej energię, a potem oddaje ją jako promieniowanie tego samego rodzaju, co wiązka pierwotna, stając się nowym źródłem fali (Cullity 1964: 148–155). Z tą różnicą, że nowo wyemitowane fale są kuliste, podczas gdy wiązka pierwotna była płaska. Fale te, biegnąc z wielu identycznych, przesuniętych o jednakowe odległości źródeł, nakładają się na siebie, wskutek czego część z nich ulega wzmocnieniu, a część wygaszeniu – zachodzi tzw. *interferencja* (Ibidem: 112–116). Można to zobrazo-

⁵ Analogia ta jest nie do końca ścisła, ale daje dobre wyobrażenie o ogólnej idei opisu płaszczyzn krystalograficznych za pomocą wskaźników Millera bez konieczności omawiania tego zagadnienia. Kompletny wywód przedstawił Cullity (1964: 61–65).

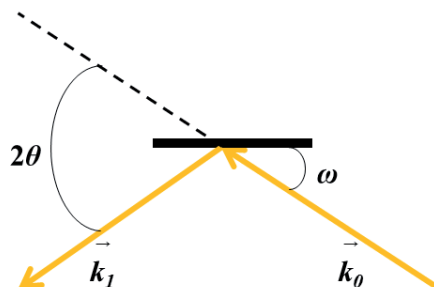
wać przy pomocy analogii do interferencji fal rozchodzących się po wodzie: gdy spotykają się ich jednakowe części – tzw. *fazy* – na przykład dwa wypiętrzenia lub dwa „rowki”, powstaje fala wypadkowa o jeszcze większej amplitudzie, a gdy spotyka się wypiętrzenie i „rowek” (fazy przeciwne) – fala ulega wygaszeniu. W zależności od kąta, pod jakim ułożona jest próbka w stosunku do padającego na nią promieniowania, wyemitowane przez węzły sieci fale wtórne nakładają się na siebie nieco inaczej, co powoduje, że ostateczne efekty interferencji są różne. Ta zależność to podstawa zaobserwowanego przez Williama Henry’ego Bragga i Williama Lawrence’a Bragga zjawiska polegającego na tym, że przeprowadzając dyfrakcję promieniowania X na próbce ustawionej w stosunku do wiązki pierwotnej pod pewnymi ściśle określonymi kątami, uzyskuje się wiązkę ugiętą o dużej intensywności – tzw. *refleks*, podczas gdy pod innymi kątami intensywność wiązki ugiętej jest bardzo niska (Ibidem: 115–117). Oczywiście wiąże się to bezpośrednio z przewagą interferencji wzmacniającej bądź wygaszającej. Kąty, pod którymi obserwuje się refleksy, nazywane są *kątami Bragga* i oznaczone literą θ , a warunek uzyskania interferencji wzmacniającej opisany jest wzorem znanym jako prawo Bragga lub Braggów:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

gdzie: λ – długość fali promieniowania, n – liczba naturalna, d – odległość między sąsiednimi płaszczyznami krystalograficznymi, na których zachodzi dyfrakcja, θ – kąt ugięcia wiązki na płaszczyznach krystalograficznych.

Ponieważ kierunek emisji wiązki pierwotnej z układu optycznego jest jednakowy i stały w trakcie każdego pomiaru, stanowi nieruchomy układ odniesienia, względem którego określa się kąt padania promieniowania na powierzchnię próbki oraz kąt jego ugięcia na sieci krystalicznej. Należy zauważyć, że jeśli refleks pochodzi od płaszczyzn krystalograficznych równoległych do powierzchni próbki, wówczas kąt padania i ugięcia są sobie równe, a jeśli od usytuowanych inaczej – wartości tych kątów będą się różnić. Dlatego w badaniach rentgenostrukturnalnych ważne jest, aby ustalić, od której rodziny płaszczyzn krystalograficznych pochodzi refleks (czyli trzeba znać jej wskaźniki Millera); ponadto kąt padania i ugięcia wiązki traktuje się jako osobne parametry i wyraża odmiennymi symbolami. Przyjęta konwencja w oznaczaniu wspomnianych kątów oraz wiązki pierwotnej i ugiętej, to: ω – kąt między wiązką pierwotną a powierzchnią próbki, 2θ – kąt między wiązką ugiętą a kierunkiem emisji wiązki pierwotnej, \vec{k}_0 –

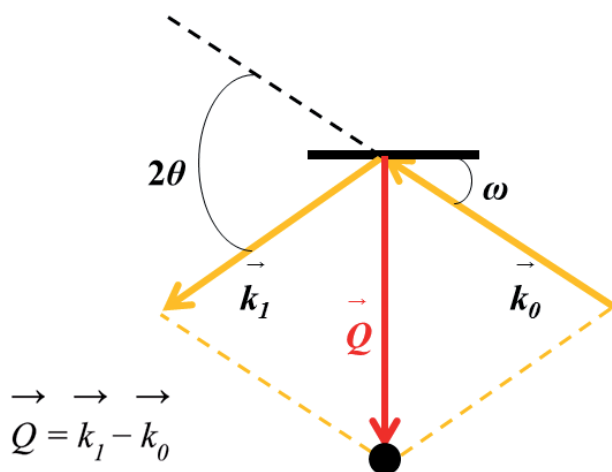
wiązka pierwotna, \vec{k}_1 – wiązka ugięta. Kąt 2θ odpowiada dwukrotności kąta Bragga z przytoczonego wyżej wzoru. Schematyczne przedstawienie tych kierunków i kątów można prześledzić na rys. 4.:



Rys. 4. Konwencja oznaczania kątów i wiązek promieniowania X w układzie do pomiaru dyfrakcji rentgenowskiej na kryształach. Pogrubiona czarna linia pozioma symbolizuje widzianą od góry tarczę z przymocowaną próbką badanego materiału, a żółte strzałki – kierunki rozchodzenia się fal promieniowania – podobnie, jak na zdjęciu dyfraktometru z rys. 2.

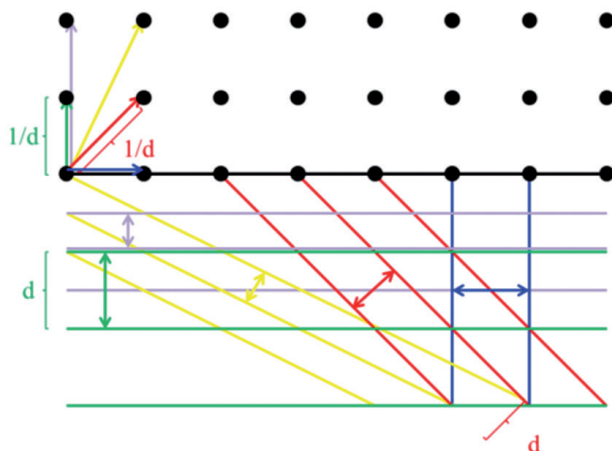
Jak już wspominałem, zjawisko opisane przez prawo Bragga umożliwia badanie struktury wewnętrznej materiałów krystalicznych, jednak wyniki eksperymentów dyfrakcyjnych nie odzwierciedlają jej bezpośrednio – nie da się w ten sposób wykonać „zdjęcia” sieci krystalicznej, zobrazować jej węzłów etc. W celu ułatwienia interpretacji danych doświadczalnych została więc wprowadzona przez Paula Petera Ewalda koncepcja *sieci odwrotnej* kryształu (Ibidem: 672). Koncepcja ta umożliwia pośredni opis właściwości strukturalnych kryształu, wykorzystujący dane o różnicach między kierunkami wiązki pierwotnej i ugiętej na jego płaszczyznach krystalograficznych. Obie wiązki traktowane są jak wektory.

Sieć odwrotna nie jest obiektem materialnym, lecz abstrakcyjnym modelem. Wyznaczana jest przez tzw. *wektory dyfrakcji* (\vec{Q}) – każdy z nich stanowi wynik odejmowania wiązki pierwotnej od wiązki ugiętej na kryształach. Otrzymany w ten sposób wektor dyfrakcji jest zawsze prostopadły do rodziny płaszczyzn krystalograficznych, od których pochodzi dany refleks (co wynika z matematycznych własności odejmowania wektorów), a jego koniec wskazuje punkt zwany umownie *węzłem sieci odwrotnej*, por. rys. 5:



Rys. 5. Schematyczne wyobrażenie wektora dyfrakcji \vec{Q} (czerwona strzałka) oraz węzła sieci odwrotnej wyznaczanego przez ten wektor (czarny punkt).

Ponieważ kryształ posiada wiele rodzin płaszczyzn, z którymi potencjalnie związany jest jakiś refleks (por. rys. 3), sieć odwrotna składa się z wielu węzłów. Aby pokazać, jak jest zbudowana, można skonstruować ją metodą geometryczną – schemat takiego eksperymentu myślowego przedstawia rys. 6:



Rys. 6. Geometryczna konstrukcja sieci odwrotnej kryształu (na schemacie widać model sieci uproszczony do dwóch wymiarów). Kolorowe linie reprezentują przykładowe płaszczyzny krystalograficzne w sieci rzeczywistej (jak na rys. 3., tylko bez zaznaczenia węzłów, przez które przechodzą) a czarne kropki – odpowiadające im węzły sieci odwrotnej.

Pierwszy etap budowania sieci odwrotnej to wytyczenie umownej płaszczyzny granicznej oddzielającej ją od sieci rzeczywistej kryształu. Granica ta może przebiegać w dowolnym miejscu – ważne jest, aby była stałym układem odniesienia i miała określony punkt początkowy. Na rys. 6. symbolizuje ją czarna pogrubiona pozioma linia z punktem początkowym znajdującym się na lewym końcu schematu.

Drugim etapem jest wybór jednej z rodzin płaszczyzn krystalograficznych w sieci rzeczywistej i zmierzenie odległości d między dwiema sąsiednimi płaszczyznami (odległości te pokazują kolorowe dwustronne strzałki). Następnie wyznacza się wektor o długości równej odwrotności d (czyli $1/d$), skierowany prostopadłe do odpowiadającej mu rodziny płaszczyzn krystalograficznych – jest on ekwiwalentem wektora dyfrakcji. Należy przesunąć go do początku płaszczyzny granicznej. Po takim przesunięciu koniec wektora wskazuje miejsce przypisanego do tej rodziny płaszczyzn węzła w sieci odwrotnej kryształu (czarny punkt). Analogicznie wyznacza się wektory prostopadłe do innych rodzin płaszczyzn krystalograficznych – po wykonaniu wielu takich operacji otrzymuje się sieć odwrotną z periodycznie powtarzającymi się w przestrzeni węzłami. Tworzą one coś w rodzaju abstrakcyjnego „kryształu płaszczyzn krystalograficznych” kodującego zależności przestrzenne sieci rzeczywistej, a więc umożliwiającego jej odtworzenie, mimo że nie jest jej bezpośrednim wizerunkiem. Każdemu węzłowi sieci odwrotnej można przyporządkować wskaźniki Millera odpowiadającej mu rodziny płaszczyzn sieci rzeczywistej.

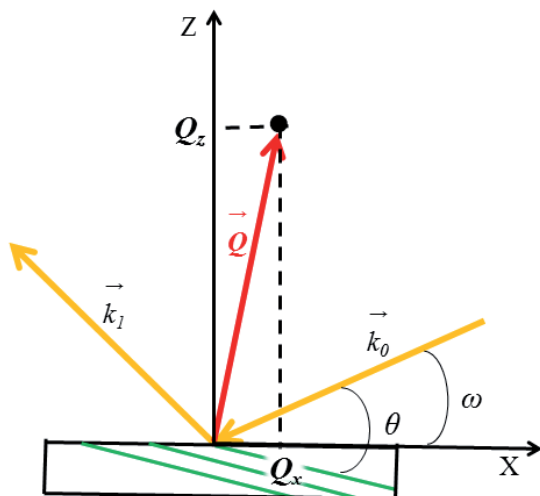
Chcąc opisać matematycznie wybrany węzeł sieci odwrotnej, umieszcza się go w związanym z kryształem trójwymiarowym układzie współrzędnych posiadającym osie X, Y i Z. Kryształ najwygodniej jest ułożyć w płaszczyźnie XY. Na rys. 7. można obejrzyć dwuwymiarowy rzut takiego układu od strony osi XZ.

Opis węzła sieci odwrotnej polega na znalezieniu jego współrzędnych Q_x i Q_z w układzie współrzędnych – jak na rys. 7. Współrzędne te, zwane *składowymi wektora dyfrakcji*, można obliczyć przy pomocy następujących wzorów⁶:

$$Q_x = K [\cos(\omega) - \cos(2\theta - \omega)]$$

$$Q_z = K [\sin(\omega) + \sin(2\theta - \omega)],$$

⁶ Wzory te można wyprowadzić i udowodnić, wykorzystując zależności geometryczne między wektorami wiązki padającej i ugiętej, prostopadłość wektora dyfrakcji do płaszczyzn krystalograficznych oraz prawa matematyczne znane z trygonometrii. Wyprowadzenie to pominąłem jednak, gdyż zajęłoby dużo miejsca w tekście a nie będzie wykorzystywane w części językoznawczej artykułu.



Rys. 7. Węzeł sieci odwrotnej w układzie współrzędnych związanym z kryształem. Oś X jest równoległa do płaszczyzny kryształu (pokazanego w przekroju) a oś Z – prostopadła. Osi Y nie widać, gdyż biegnie „w głąb” rysunku. Zielone linie symbolizują wybraną rodzinę płaszczyzn krystalograficznych. Q_x i Q_z to współrzędne wyznaczające położenie węzła sieci odwrotnej (czarny punkt).

gdzie K to długość wektora wiązki pierwotnej lub ugiętej promieniowania. W obliczeniach przyjmuje się konwencjonalnie, że wynosi ona $\frac{2\pi}{\lambda}$, gdzie λ to długość fali promieniowania używanego w eksperymencie. Ponieważ λ nie zmienia się podczas eksperymentu, uznaje się, że wektor wiązki pierwotnej i ugiętej są równe pod względem długości, różnią się wyłącznie kierunkiem. Tak więc do obliczeń potrzebne są kąty ω i 2θ , przy których występuje refleks pochodzący od danej rodziny płaszczyzn krystalograficznych.

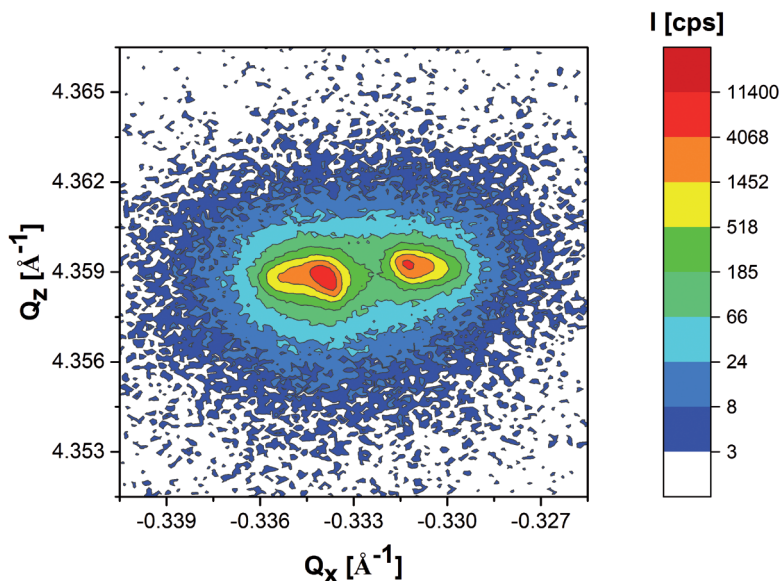
Eksperymentalne wyznaczanie mapy sieci odwrotnej kryształu jest proste. W trakcie pojedynczego doświadczenia charakteryzuje się na ogół jeden jej węzeł. Procedura polega na znalezieniu refleksu pochodzącego od wybranej rodziny płaszczyzn krystalograficznych próbki i na pomiarze jego zasięgu względem kątów ω i 2θ . Później wartości tych kątów przelicza się na współrzędne węzła Q_x i Q_z (w literaturze i programach komputerowych spotyka się też czasem oznaczenie Q_z jako Q_y , co wynika z przyjęcia odmiennej niż na rys. 7. konwencji opisu osi układu współrzędnych).

W przypadku modelowo zbudowanego monokryształu dla każdego refleksu istniałby tylko jeden zestaw kątów ω i 2θ , przy którym inten-

sywność wiązki ugiętej byłaby duża, gdyż tylko wówczas zostałyby spełnione prawo Bragga. Tym samym węzeł sieci odwrotnej miałby postać niewielkiego punktu. W przypadku rzeczywistych materiałów refleks obejmuje także pewien zakres kątów bliskich tym optymalnym kątom, co wiąże się m.in. z obecnością w próbce różnorodnych defektów. Tak więc węzeł jest znacznie większy, może mieć też nieregularny kształt lub być podzielony, co spowodowane jest na przykład obecnością w kryształach osobnych bloków, których sieci są przesunięte względem siebie o pewien kąt, a więc refleks pochodzący od tej samej rodziny płaszczyzn występuje przy nieco innym kącie ω .

Podczas eksperymentu maszyna w systematyczny sposób zmienia ustawienia próbki względem wiązki padającej (czyli kąt ω) oraz (niezależnie) pozycję detektora (czyli kąt 2θ), rejestrując za każdym razem intensywność promieniowania ugiętego na sieci krystalicznej. Zmiany ustawień próbki oraz detektora odbywają się skokowo – każda kolejna pozycja różni się od poprzedniej o wartość kąta wybraną przez badacza tak, by uzyskać rozdzielczość wyników optymalną z punktu widzenia celów danego eksperymentu.

Dane z całego cyklu pomiarów, po przeliczeniu kątów ω i 2θ na Q_x i Q_z , łączone są w jeden wykres opisujący zależność zmierzonej intensywności (I) wiązki ugiętej od tych współrzędnych. Ponieważ jest to funkcja trzech zmiennych (I , Q_x i Q_z), wykres tworzy powierzchnię utkaną z gęsto ułożonych punktów i posiadającą wypiętrzenie, które odpowiada maksymalnym zmierzonym wartościom intensywności. Maksimum to stanowi środek węzła. Aby uniknąć problemu odwzorowania trzeciego wymiaru, różnice wysokości tej powierzchni wyraża się skalą kolorystyczną – wówczas mapa sieci odwrotnej może zostać przedstawiona na płaszczyźnie jako rzut; dla uzyskania bardziej klarownego obrazu obszary o tym samym kolorze bywają rozgraniczane liniami o charakterze warstwic, por. rys. 8:



Rys. 8. Mapa sieci odwrotnej krysztalu $\text{Ca}_3\text{Gd}_2(\text{BO}_4)_3$, refleksu od płaszczyzny o wskaźnikach Millera 006. Intensywność wiązki ugiętej wyrażona jest jako średnia liczba zarejestrowanych przez detektor impulsów na sekundę (ciąg I [cps] składa się z akronimów utworzonych od: *intensity, counts per second*). Skala intensywności refleksu, przyporządkowanych do poszczególnych kolorów znajduje się po prawej stronie rysunku. Pomiar własny, wykonany przy użyciu dyfraktometru w SL1. IF PAN.

2. Analiza systemu językowego i semantyki map sieci odwrotnej

2.1. Mapa sieci odwrotnej jako obiekt znakowy

Po lekturze części 1. Czytelnik wie już, że mapa sieci odwrotnej obejmuje przeważnie jeden jej wybrany węzeł i jest wizualną reprezentacją zmian intensywności wiązki promieniowania X ugiętej na określonej rodzinie płaszczyzn krystalograficznych próbki w funkcji zmian wektora dyfrakcji \vec{Q} , czyli – innymi słowy – opisuje zasięg przestrzennej dyfrakcji zachodzącej na tych płaszczyznach.

Na etapie wykonywania pomiaru mapa sieci odwrotnej to komunikat nadawany przez maszynę, jednakże później, na etapie publikacji wyników badań, nadawcą tego samego znaku, z reguły dodatkowo zmodyfikowanego pod kątem określonych celów komunikacyjnych (na przykład wzbogaconego o komentarze metatekstowe, co zostanie poka-

zane w toku dalszych rozważań), jest człowiek. Z punktu widzenia analizy semiotycznej bardziej interesujący jest ten drugi etap, gdy ostatecznie opracowana mapa funkcjonuje jako część zdarzenia komunikacyjnego – złożonego *aktu mowy*⁷, jaki stanowi dzieło naukowe lub ustna prezentacja połączona z demonstracją tego wykresu. Dlatego też zreferowane przeze mnie w tej części pracy badania należy odnosić do map sieci odwrotnej rozumianych jako znaki nadawane przez człowieka w procesie komunikacji specjalistycznej. Ilekroć będzie mowa o nich jako o znakach-typach, będę je ujmował jako znaki-typy stanowiące część systemu języka specjalistycznego, obecnego w kompetencji semiotycznej krytalografów. Rekonstrukcja modelu tych znaków-typów oraz opis ich funkcjonowania w literaturze na podstawie dostępnego materiału językowego to główny cel rozważań.

Na uwagę zasługuje fakt, że używany jako nazwa analizowanego typu znaków termin *mapa sieci odwrotnej* jest *metonimią*⁸, gdyż nie odnosi się do obiektu semiotycznego reprezentującego całą sieć odwrotną kryształu, a jedynie jej część, i to bardzo niewielką. Pozbawiona metonimii wersja wspomnianego wyrażenia musiałaby mieć postać: *mapa węzła sieci odwrotnej*⁹. Podobne zjawisko metonimiczności można zaobserwować w przypadku anglojęzycznego odpowiednika: *reciprocal space map* – dosł. ‘mapa przestrzeni odwrotnej’. Oprócz pełnej nazwy w literaturze używa się skrótowca *RSM* (stanowiącego akronim wersji angielskiej terminu, czyli *reciprocal space map*).

Jak zostało wyżej pokazane, węzły na mapie sieci odwrotnej nie są wizerunkiem materialnych węzłów sieci kryształu – mimo że także nazywane są *węzłami* i także wykazują periodyczne uporządkowanie, a gdyby zrekonstruować całą sieć odwrotną, stanowiłaby ona abstrakcyjny trójwymiarowy „kryształ płaszczyzn krytalograficznych”, będący kodem rzeczywistej sieci krytalicznej. Kod ten przekazywałby jednak informacje o jej budowie nie wprost. Chcąc określić status semiotyczny badanych obiektów znakowych, należałoby zaklasyfikować je jako *zna-*

⁷ W klasycznym ujęciu znanym z teorii Austina, według którego mówienie to nie tylko samo użycie kodu, ale czyn dokonywany w kontekście jakiejś rzeczywistości społecznej i mający (przynajmniej potencjalnie) wpływ na odbiorcę (Austin 1993: 638–639).

⁸ Pisząc o metonimii mam na myśli zastąpienie nazwy jakiegoś obiektu X nazwą innego obiektu Y, przy czym oba te obiekty łączy relacja część-całość. Jakkolwiek trzeba podkreślić, że problem metonimii bywa różnie ujmowany, zwłaszcza na gruncie literaturoznawczym, gdzie opisane zjawisko językowe może być klasyfikowane jako synekdocha, stanowiąca odrębny trop stylistyczny (Ziomek 1984: 185).

⁹ Takie nazewnictwo znalazłem w pracy doktorskiej (Serafińczuk 2006), jednak nie jest ono standardowo stosowane w literaturze krytalograficznej.

ki ikoniczne¹⁰, ale ich ikoniczność ma znacznie bardziej wyrafinowany charakter niż ikoniczność obrazów, zdjęć czy map kartograficznych.

To jednak jeszcze nie wszystko. Mapy sieci odwrotnej są bowiem także szczególnego rodzaju *tekstami mieszanymi*¹¹ / *multimodalnymi*¹² – w dodatku wykazującymi nielinarne uporządkowanie – jako że niezależnie od kierunku ich odczytywania odbiorca otrzymuje zawsze informacje relewantne. Każdy punkt w układzie współrzędnych komunikuje, jaki był wynik określonego pomiaru cząstkowego wykonanego w trakcie eksperymentu, a więc stanowi na poziomie semantycznym *zdanie*¹³. Przyporządkowanie intensywności wiązki ugiętej do współrzędnych wektora dyfrakcji w przestrzeni sieci odwrotnej w takim zdaniu jest aktem przypisania mu *modalności asertorycznej*¹⁴, czyli orzekania o jakimś stanie rzeczy. Zdania te są powiązane semantycznie w jednakowym stopniu ze wszystkimi innymi zdaniami-punktami tworzącymi

¹⁰ W rozważaniach przyjmuję szerokie rozumienie *znaku ikonicznego*, bliskie definicji *obrazu* z pracy Ossowskiego (1967: 35–36), a więc będzie to znak, którego relacja z obiektem wyobrażonym polega na podobieństwie pod jakimś względem (niekoniecznie wizualnym). Podobieństwo to należy rozumieć jako rodzaj funkcji – takiej, że można podzielić *obraz* i obiekt wyobrażony na dwa zbiory elementów, między którymi występuje wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość, na przykład analogiczny układ przestrzenny lub czasowy. Jakkolwiek trzeba dodać, że istnieje bogata literatura poświęcona ikoniczności, w której zaproponowano różne ujęcia tego zjawiska – przejrzał i porównanie wybranych koncepcji można znaleźć m.in. w pracach: Horeckiej (2010) oraz Pelca (1981: 147–155).

¹¹ Termin *tekst* w szerokim rozumieniu odnosi się nie tylko do komunikatów w języku naturalnym, ale także w innych systemach znakowych (Polański 1995: 549) – a więc wyrażeniem *tekst mieszany* można określić teksty zawierające elementy zaczerpnięte z różnych systemów znakowych.

¹² W literaturze można spotkać obie przytoczone wersje terminu oznaczającego tekst, w którym występują różne kody (Żebrowska 2012: 147–148).

¹³ Termin *zdanie* doczekał się w językoznawstwie licznych definicji, opartych na rozmaitych kryteriach (Polański 1995: 617–623); na potrzeby analizy wykorzystuję koncepcję *zdania elementarnego* w ujęciu semantycznym – więc chodzi o wyrażenie złożone, będące samodzielną jednostką używaną jako komunikat, który przekazuje pełną informację o wybranym fragmencie pozatekstowej rzeczywistości (Ibidem: 621–623). Trzeba jednak zastrzec, że informacja ta nie musi być pełna z punktu widzenia całokształtu celów komunikacyjnych tekstu, w skład którego wchodzi dane zdanie. Należy także dodać, że zdanie jako jednostka semantyczna oprócz treści ma określoną wartość logiczną, co wiąże się z faktem, że orzeka coś o czymś.

¹⁴ *Modalność asertoryczna* lub *asercja* to w niektórych ujęciach językoznawczych składnik treści zdania przypisujący pozytywną wartość logiczną (prawdziwość) charakterystyce przedmiotu, o którym mowa w zdaniu, lub relacji wiążącej go z innymi przedmiotami; składnik ten przeważnie jest implicytny (Polański 1995: 57–58). Jakkolwiek trzeba stwierdzić, że definicja terminu *asercja* jest przedmiotem kontrowersji i doczekała się różnych wariantów (Pagin 2016). Dlatego ostatecznie zdecydowałem się użyć terminu *modalność asertoryczna*.

obszar wykresu, nie tylko z najbliższymi sąsiadującymi. Co więcej, pełna z punktu widzenia całokształtu celów komunikacji specjalistycznej interpretacja znaczenia każdego z nich ma charakter kontekstowy – jest możliwa dopiero w odniesieniu do całości mapy jako tekstu. Pojedyncza informacja o tym, jaką intensywność promieniowania ugiętego zarejestrował detektor dla danego wektora dyfrakcji, sama w sobie nie dostarcza krytalografowi tej wiedzy, na której mu zależy, mimo, że jest informacyjnie kompletna jako wynik danego pomiaru. Dopiero porównanie ze sobą wszystkich punktów pomiarowych ujawnia kształt, wielkość i miejsce badanego węzła sieci odwrotnej w przyjętym układzie współrzędnych. Analizowany typ obiektów znakowych bazuje więc na opozycjach.

2.2. System językowy do kodowania map sieci odwrotnej

Język map sieci odwrotnej jest *kodek mieszanym* – to znaczy takim, który zawiera elementy zaczerpnięte z różnych istniejących niezależnie kodów (Bojar 1987: 238). Można zaobserwować istnienie wewnętrznego podziału tych elementów na:

- a) samodzielny podsystem języka graficznego do kodowania głównej części analizowanych obiektów znakowych – tej, która stanowi tzw. *wypowiedź z poziomu przedmiotowego* (to znaczy bezpośrednio o świecie pozatekstowym);
- b) *metatekst* i *metajęzyk*¹⁵, posiadający odrębne wykładniki, pochodzące między innymi z języka naturalnego.

¹⁵ *Metatekst* rozumiem podobnie, jak Wierzbicka (1971) – czyli jako część tekstu odnoszącą się do bieżącej wypowiedzi, z tą tylko różnicą, że rozszerzam zakres stosowania tej koncepcji na elementy znakowe inne niż jednostki leksykalne lub zdania języka naturalnego, jednak spełniające analogiczną metatekstową funkcję w tekstach. *Metajęzykiem* będą części tekstu spełniające funkcję metajęzykową zdefiniowaną przez Jakobsona (1960) – w tak samo rozszerzonym rozumieniu.

2.2.1. Jednostki i reguły składniowe języka z poziomu przedmiotowego

System języka na poziomie przedmiotowym zawiera dwa typy jednostek o charakterze słownikowym (analogicznych do leksemów w języku naturalnym) wyrażanych na płaszczyźnie formalnej przez:

a – pozycje punktów w dwuwymiarowym układzie współrzędnych, reprezentującym badany wycinek przestrzeni sieci odwrotnej;

b – kolory tych punktów.

*Desygnatami*¹⁶ wszystkich jednostek typu **a** są wektory dyfrakcji przypisane do pojedynczych pomiarów, zaś desygnatami **b** – rejestrowane przez detektor intensywności ugiętej wiązki promieniowania. Każda jednostka typu **a** zbudowana jest z dwóch *morfemów*¹⁷. Te morfemy to odległości danej pozycji od początku układu współrzędnych w kierunkach wyznaczanych przez poszczególne osie. Stanowią nośniki informacji o składowych położeniu wektora dyfrakcji w płaszczyźnie rzutu.

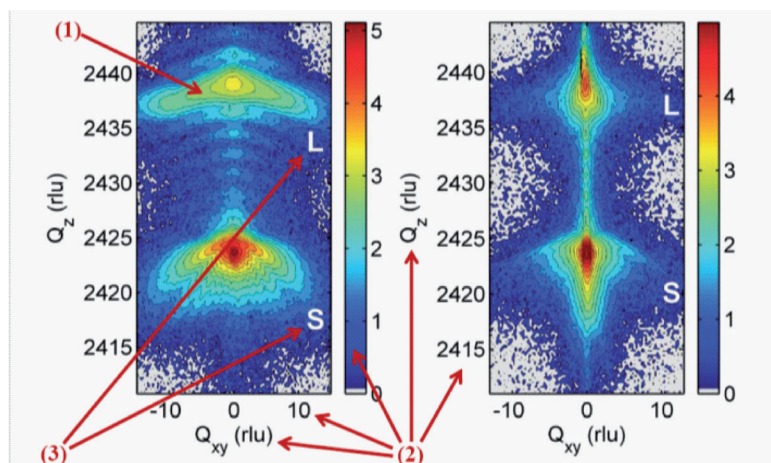
Reguły składni opisujące tworzenie zdania w języku mapy sieci odwrotnej obejmują przyporządkowanie punktowi odwzorowującemu dany wektor dyfrakcji odpowiedniego koloru symbolizującego intensywność ugiętej wiązki promieniowania. Jest to realizacja struktury predykatowo-argumentowej, w której leksem typu **a** pełni funkcję predykatu, natomiast **b** – argumentu. Ogólny schemat semantyczny pojedynczego zdania jest następujący: ‘dla wektora dyfrakcji \vec{Q}_i zarejestrowano intensywność wiązki ugiętej I_i ’.

2.2.2. Elementy metajęzykowe i metatekstowe występujące w mapach sieci odwrotnej

Istotną częścią map sieci odwrotnej jest – obok języka z poziomu przedmiotowego – metajęzyk i metatekst:

¹⁶ Termin *desygnat* stosuję zgodnie z definicją podaną przez Pelca (1981: 287).

¹⁷ *Morfem* jest definiowany w językoznawstwie jako najmniejsza jednostka znacząca języka – w przypadku języka naturalnego chodzi o połączenie fonemu lub ciągu fonemów z określonym znaczeniem (Grzegorzczakowa 2007: 90). Na potrzeby analizy przyjmuję rozumienie analogiczne – *morfem* jako najmniejsza jednostka znacząca języka – tyle, że w przypadku wizualnego kodu zbudowana z elementów graficznych a nie z fonemów. Takie rozszerzone ujęcie *morfemu* jest zresztą znane z literatury – zastosowano je do opisu języka znaków drogowych (Bojar 1987: 241).



Rys. 9. Mapy sieci odwrotnej zaczerpnięte z pracy: Domagała et al. 2016 z oznaczonymi za pomocą strzałek typowymi elementami strukturalnymi (strzałki dodane do skopiowanych wykresów przez AS): (1) tekst z poziomu przedmiotowego, (2) komentarze metajęzykowe, (3) komentarze metatekstowe. Rysunki przedrukowano za zgodą Międzynarodowej Unii Krystalografii, <http://journals.iucr.org>.

Dowodem na to, że elementy strukturalne (2) i (3) z powyższego rysunku należą do metajęzyka i metatekstu jest fakt, że nie wchodzą w relacje syntaktyczne ze zdaniami-punktami ani z leksykalnymi, morfologicznymi czy ponadzdaniowymi składnikami tekstu z poziomu przedmiotowego. Gdyby pozbawić mapę sieci odwrotnej wszystkich wykładników z poziomu meta, nadal stanowiłaby spójny tekst opisujący strukturę kryształu – tyle że uboższy informacyjnie. Krystalograf odczytałby z niej wyłącznie informacje o charakterze jakościowym i relacyjnym.

2.2.2.1. Wykładniki metajęzyka

Wykładniki metajęzyka stanowią klasę zamkniętą z wewnętrznym podziałem na:

1. elementy definiujące morfemy do budowy jednostek leksykalnych przynależących do opisanego w punkcie 2.2.1. zbioru **a**;
2. elementy definiujące jednostki leksykalne ze zbioru **b**.

Do podklasy **1.** zalicza się cyfry wyznaczające wartości współrzędnych położenia punktów na wykresach, czyli na przykład -10 na osi Q_{xy} lub 2415 na osi Q_z z rys. 9. Podklasa **2.** składa się ze skal objaśniających kolory na wykresie, a więc stanowiących słowniki leksemów.

Trzeba wspomnieć o przyjętych przez krystalografów konwencjach dotyczących jednostek takich skal. Najczęściej wyrażają one średnią liczbę impulsów zarejestrowanych przez detektor w określonym odcinku czasu (zwykle w ciągu sekundy) albo wartość logarytmu dziesiętne- go bądź naturalnego tej liczby. W niektórych pracach badacze podają explicite, na przykład w opisie rysunku, czy zastosowana przez nich skala jest liniowa, czy logarytmiczna (Mariager et al. 2009: Fig. 6), jednak nie stanowi to reguły. Jeśli typ jednostek skali nie został podany, należy je interpretować na podstawie wartości przypisanych im liczb. Jeśli są one wyłącznie jednocyfrowe, jak na wykresie z rys. 9, oznacza to, że skala musi być logarytmiczna. Jeśli natomiast rozpiętość skali jest większa lub uwzględniono wyższe liczby, skala musi być liniowa, jak w przypadku wykresu z rys. 8.

Podobnie jak język z poziomu przedmiotowego, metajęzyk map sieci odwrotnej także jest komentowany przez wyrażenia z poziomu meta- czyli, w tym przypadku, meta-metajęzyk¹⁸. Elementy te tworzą klasę zamkniętą, do której należą:

a – nazwy osi współrzędnych – takie, jak Q_{xy} lub Q_z bądź skal kolorystycznych, na przykład I (od ang. *intensity*) – będący pierwszą literą ciągu I [*cps*] z rys.8;

b – nazwy jednostek obu tych typów skal – czyli między innymi ciąg $r_l u$ z rys. 9 (stanowiący akronim angielskiego wyrażenia *reciprocal space units* – ‘jednostki przestrzeni sieci odwrotnej’) czy cps z rys. 8.

O meta-metajęzykowości omawianej klasy wyrażen świadczy to, że definiują znaczenie metajęzyka – na przykład ciąg Q_{xy} informuje, jakiej składowej wektora dyfrakcji trzeba przypisać metajęzyk definiujący wartość morfemów reprezentowanych przez odległości punktów wykresu leżących równolegle do osi o tej nazwie. Gdyby usunąć z mapy sieci odwrotnej wyrażenia meta-metajęzykowe (dajmy na to – nazwy osi), a pozostawić metajęzyk, to nadal opisywałby on w sposób spójny język z poziomu przedmiotowego, choć oczywiście byłby to opis informacyjnie zredukowany (w tym przypadku: do samego przyporządkowania wartości liczbowych morfemom języka przedmiotowego, bez określenia, o jaki typ wartości liczbowych chodzi).

¹⁸ Zdecydowałem się na używanie terminu *meta-metajęzyk* aby podkreślić, że chodzi o specyficzną klasę wyrażen metajęzykowych – takich, które komentują metajęzyk, nie zaś język z poziomu przedmiotowego, funkcjonują zatem na innym poziomie organizacji systemu semiotycznego niż pozostała część metajęzyka.

2.2.2.2. Wykładniki metatekstu

Wykładniki metatekstu tworzą zasadniczo klasę otwartą. Są to różnorodne wyrażenia dodawane do mapy sieci odwrotnej w celu skomentowania jej wybranych obszarów, na przykład na wykresach z rys. 9 metatekst stanowią białe litery *L* i *S*. Są to skróty od angielskich wyrazów: *layer* ('warstwa') oraz *substrate* ('substrat, podłoże') i wskazują, do których części badanej próbki odnoszą się poszczególne węzły (próbka składała się z kryształu użytego jako podłoże i z wyhodowanej na nim warstwy innego materiału krystalicznego, dlatego na wykresie są dwa węzły). W literaturze spotyka się mapy sieci odwrotnej zawierające również odmienne typy elementów metatekstowych – na przykład opisy składu chemicznego warstwy, od której pochodzi uwidoczniony węzeł sieci odwrotnej, czy graficzne wyróżnienia wybranych przez autora obszarów wykresu, por. rys. 10 b. Podpisy pod mapami sieci odwrotnej (tytuły rysunków i komentarze do nich) oczywiście także stanowią metatekst.

W tym miejscu należy dodać, że do metatekstu należą też często spotykane na mapach sieci odwrotnej warstwice, które mogą być gęsto rozmieszczone lub rozgraniczać większe obszary wykresu, jak na rys. 8. Argumentem na rzecz takiej tezy jest fakt, że linie tego typu są czymś więcej niż tylko bezpośrednie odzwierciedlenie wyników pomiarów („pierwotna” mapa stanowiąca takie odzwierciedlenie byłaby po prostu zbiorem kolorowych punktów) – są mianowicie nośnikami dodatkowych informacji nadbudowanych nad zasadniczym tekstem i stanowiących jego interpretację. Interpretacja ta ma charakter porównawczy i dotyczy modalności asertorycznej poszczególnych zdań-punktów połączonych daną linią, a ściślej: ujmuje je jako ciąg zdań orzekających ten sam stan rzeczy w odniesieniu do pewnej strefy węzła sieci odwrotnej. Innymi słowy: warstwica jest komunikatem o tym, że wszystkie punkty znajdujące się w wyznaczanym przez nią obszarze informują o zarejestrowaniu identycznej intensywności wiązki ugiętej. Brak związków syntaktycznych między warstwicami a punktami-zdaniami, które łączą, da się wykazać podobnie jak w przypadku elementów opisu osi – dowodem jest fakt, że ich usunięcie nie zaburzy spójności tekstu z poziomu przedmiotowego (mapa złożona z samych punktów będzie nadal poprawnie skonstruowana i czytelna).

Jak łatwo zauważyć, język służący do tworzenia map sieci odwrotnej to system stosunkowo prosty, zwłaszcza w porównaniu z językiem naturalnym, w którym istnieje wiele typów jednostek, znacznie bardziej złożone reguły składniowe i bogatszy repertuar wyrażen metatekstowych.

Jednak informacje, jakie można kodować i odczytywać za pomocą badanych obiektów znakowych, są bogate, a przebieg procesów dekodowania – skomplikowany, co zostanie pokazane w następnym punkcie.

2.3. Mechanizmy kodowania i dekodowania map sieci odwrotnej

Proces dekodowania map sieci odwrotnej odbywa się na trzech poziomach:

- (1) pragmatycznym¹⁹;
- (2) semantycznym:
 - a) systemowym – na podstawie samej znajomości kodu graficznego;
 - b) implikacyjnym²⁰ – na podstawie logicznego wnioskowania opartego na znajomości złożonych relacji między poszczególnymi cechami wyglądu węzła na wykresie a strukturą kryształu.

2.3.1. Informacje dekodowane pragmatycznie

Informacji dekodowanych pragmatycznie jest wiele i odgrywają fundamentalną rolę w procesie odbioru mapy sieci odwrotnej, mimo że nie wyraża się ich *explicite*. Są postrzegane jako coś, co wynika z samego faktu prezentacji mapy jako obiektu znakowego, niezależnie od wiedzy przekazywanej za pomocą kodu.

Informacje, o których mowa, są następujące:

- (1) istnieje kryształ-okaz (w przypadku badań eksperymentalnych)

¹⁹ Definicja pragmatyki oraz jej relacji do semantyki jest przedmiotem dyskusji oraz wielu rozmaitych koncepcji w językoznawstwie – krótki przegląd można znaleźć na przykład w opracowaniach encyklopedycznych (takich, jak: Polański 1995, Korta i Perry 2015). Na potrzeby artykułu do sfery pragmatyki zaliczam to, co jest dekodowane na podstawie samego użycia znaku i nie należy do jego znaczenia – to bowiem jest zdeterminowane przez semantykę (Bojar 1987: 238). Wprawdzie taka definicja może być postrzegana jako nieco uproszczona z punktu widzenia nowszych koncepcji, jednak stanowi wygodne narzędzie do przeprowadzenia analizy badanego materiału, gdyż pozwala na jednoznaczne i precyzyjne rozgraniczenie tych dwóch sfer funkcjonowania znaków. Ponadto, wydaje się spójna z zaproponowanym przez de Saussure'a rozróżnieniem *langue* ('język jako system') vs. *parole* ('mówienie'), a zatem pasuje do przyjętego przeze mnie strukturalistycznego aparatu opisu.

²⁰ Termin *implikacja* rozumiem jako *implikację ścisłą* w ujęciu zaprezentowanym przez Lyonsa (1984: 166) – chodzi zatem o logiczną zależność: $(p \Rightarrow q) \equiv \sim\text{poss} (p \ \& \ \sim q)$, czyli 'q wynika z p'.

- bądź kryształ-typ (w przypadku symulacji komputerowych), do którego odnosi się zaprezentowana przez nadawcę mapa sieci odwrotnej;
- (2) znany jest skład chemiczny tego kryształu;
 - (3) znana jest symetria jego sieci krystalicznej;
 - (4) znana jest orientacja krystalograficzna jego powierzchni (wiadomo, jakimi wskaźnikami Millera należy opisać rodzinę płaszczyzn krystalograficznych równoległych do powierzchni);
 - (5) promieniowanie użyte w eksperymencie było (w przybliżeniu) monochromatyczne i miało znaną długość fali;
 - (6) wiązka pierwotna była (w przybliżeniu) płaska;
 - (7) znaleziono właściwy refleks – odpowiadający rodzinie płaszczyzn, dla której został wykonany pomiar węzła sieci odwrotnej;
 - (8) znaleziono optymalne ustawienia aparatury, przy których osiąga się maksymalną intensywność wiązki ugiętej w warunkach danego pomiaru;
 - (9) wybrano właściwy zakres detekcji;
 - (10) detektor był prawidłowo ustawiony;
 - (11) jego odpowiedź była liniowo zależna od intensywności mierzonej wiązki promieniowania ugiętego;
 - (12) wynik pomiaru dotyczy tylko fragmentu próbki objętego powierzchnią padającej wiązki i głębokością, na jaką może wnikać promieniowanie;
 - (13) uzyskane informacje mają charakter statystyczny – są prawdziwe jako rezultat uśrednionej, wypadkowej dyfrakcji wiązki na wybranym, objętym przez nią obszarze materiału, który może nie być strukturalnie jednolity;
 - (14) eksperyment przeprowadzono w stabilnych i stałych warunkach temperatury, ciśnienia atmosferycznego oraz parametrów pracy lampy rentgenowskiej (napięcie i natężenie prądu).

Nadawca pomija w opisie mapy sieci odwrotnej wyżej wymienione informacje, gdyż przyjmuje, że w procesie komunikacji naukowej są oczywiste dla odbiorcy posiadającego podobną jak on wiedzę specjalistyczną. Z kolei odbiorca myśli o nich jako o wstępnych warunkach, które musiały zostać spełnione, aby nadawca zrealizował zasadę kooperacji, czyli aby dokonany przez niego złożony akt mowy, jakim było zaprezentowanie wykresu, był aktem fortunnym.

Dowodem na to, że omawiane informacje nie należą do semantyki, lecz są uwarunkowane pragmatycznie, jest fakt, że na podstawie cech samej mapy sieci odwrotnej jako znaku nie zawsze można ocenić, czy warunki 1–14 zostały spełnione, czy nie. Czasami na podstawie wyników niepoprawnie wykonywanego eksperymentu można uzyskać wy-

kres nie budzący zastrzeżeń co do wyglądu, spójny jako tekst i nadal stanowiący mapę sieci odwrotnej – tyle że nie odzwierciedlającą faktycznych cech danej próbki. Tak więc dopiero akt użycia go w komunikacji specjalistycznej jest równoznaczny z deklaracją nadawcy, że omawiane warunki zostały spełnione.

Ciekawie przedstawia się realizacja *maksymy ilości* P. Grice'a²¹ w tym kontekście – to znaczy w odniesieniu do wyżej wymienionych informacji. Gdyby nie zostały pominięte w akcie mowy należącym do standardowej komunikacji naukowej, np. w artykule, byłyby to odebrane przez społeczność krytalografów jako nadmiar redundancji informacyjnej. W przypadku tekstu artykułu naukowego mogłoby to być postrzegane jako błąd redakcyjny, a w przypadku wypowiedzi ustnej – jako czynnik potencjalnie prowadzący do implikatury konwersacyjnej. Implikatura ta sugerowałaby na przykład niski poziom wiedzy odbiorcy bądź domniemaną przez nadawcę możliwość niesłusznego kwestionowania wiarygodności wyników jego badań przez odbiorcę (w związku z takim domniemaniem nadawca czułby się zobowiązany do podkreślenia, że warunki, o które chodzi, jednak zostały spełnione). Jedyne w specyficznych sytuacjach komunikacyjnych, takich jak pisanie pracy dydaktycznej lub rozmowa z początkującym krytalografem, informacje 1–14 bywają wyrażane *explicite* bez efektu pragmatycznego nacechowania wypowiedzi.

2.3.2. Informacje dekodowane semantycznie

2.3.2.1. Informacje dekodowane na podstawie znajomości kodu mapy sieci odwrotnej (gramatyki i słownika)

Informacje dekodowane na podstawie samej znajomości kodu graficznego mapy sieci odwrotnej są stosunkowo ubogie. Mapy te odwzorowują bezpośrednio tylko zależność intensywności refleksu wiązki ugiętej promieniowania rentgenowskiego od współrzędnych wektora dyfrakcji w przestrzeni wektorów falowych. Właściwy proces interpretacji angażuje wiedzę semantyczną dotyczącą złożonych relacji między poszczególnymi cechami wyglądu węzła na mapie a strukturą kryształu.

²¹ Zgodnie z tą maksymą ilość informacji przekazywana odbiorcy powinna być stosowna do aktualnie przyjętego celu konwersacji (Grice 1977: 89).

2.3.2.2. Informacje dekodowane implikacyjnie

Informacje omawianego typu są w procesie odczytywania mapy sieci odwrotnej najważniejsze – ich zakodowanie i przekazanie odbiorcy to zasadniczy cel jej tworzenia.

W odbiorze tych informacji bierze udział abstrakcyjny model odpowiadający wyglądowni idealnego węzła tej sieci, który powinien być pojedynczy dla danego refleksu (przy jednorodnym składzie chemicznym kryształu), mieć relatywnie niewielką szerokość (określoną dla danego typu materiału) i ostro zarysowane granice, a także (w większości przypadków) symetryczny, okrągły kształt. Model ten jest częścią kompetencji semiotycznej krystalografa, nabytej w trakcie edukacji. Na podstawie odstępstw wizerunku wyznaczonego węzła sieci odwrotnej od tych spodziewanych idealnych parametrów określa się defekty strukturalne próbki. Dlatego można stwierdzić, że mapa sieci odwrotnej oprócz cech ikoniczności wykazuje także indeksowość²², opartą na związku przyczynowo-skutkowym (wystąpienie określonych defektów w kryształach powoduje odpowiadające im deformacje danego węzła sieci odwrotnej).

Informacje dekodowane implikacyjnie na podstawie mapy sieci odwrotnej są różnorodne i – jak już pisałem – dotyczą małego obszaru próbki objętego wiązką promieniowania. Opis wszystkich ich rodzajów wykraczałby poza ramy tematyczne i metodologiczne tej pracy, dlatego wymienię tylko przykładowe spośród nich, często spotykane w praktyce zawodowej specjalistów od dyfrakcji rentgenowskiej. Są to między innymi:

- 1) ogólny stopień zdefektowania struktury krystalicznej – szacowany na podstawie szerokości węzła i częściowo jego kształtu – w ogólności im większy węzeł, tym więcej defektów; obecność licznych defektów może też przejawiać się wydłużonym kształtem części peryferyjnych węzła;
- 2) udział różnych typów defektów lub dominujący kierunek ich lokalizacji – określany na podstawie kierunków deformacji węzła;
- 3) odległość między sąsiednimi płaszczyznami krystalograficznymi uginającymi promieniowanie – obliczana ze wzoru Bragga na podstawie wartości kąta θ dla maksimum węzła; z odległości tej można wyznaczać rozmaite inne parametry, nawet określić skład chemiczny próbki;

²² Znaki indeksowe rozumiem zgodnie z koncepcją Peirce'a zreferowaną w pracy Pelca (1981: 103–104).

- 4) brak lub obecność bloków krystalicznych w danym miejscu próbki – węzeł pojedynczy lub zwielokrotniony (jak na przykład na rys. 8. – są tam uwidocznione dwa węzły, za których obecność odpowiadają dwa bloki).

Co warto podkreślić, dla doświadczonych specjalistów od dyfrakcji rentgenowskiej mapa sieci odwrotnej stanowi znak odczytywany całościowo. Procesy jej dekodowania na poziomie implikacyjnym – mimo dużego stopnia ich złożoności – odbywają się w świadomości odbiorcy równocześnie z dekodowaniem systemowym, co stwierdziłem na podstawie wywiadów z badaczami. Jakkolwiek należy dodać, że w sporadycznych przypadkach zdarzają się też mapy sieci odwrotnej, których jednoznaczna interpretacja nastrocza trudności, a nawet jest niemożliwa.

2.4. Różne warianty map sieci odwrotnej w literaturze

Generalnie, nie istnieje znormalizowana forma mapy sieci odwrotnej, która byłaby rekomendowana przez International Union of Crystallography (IUCr), czyli Międzynarodową Unię Krystalografii (instytucja ta pełni w środowisku krystalografów funkcje koordynacyjne, normatywne i edukacyjne) lub przyjęta zwyczajowo przez naukowców jako obowiązujący na całym świecie standard. Przegląd materiału semiotycznego ujawnia, że badacze posługują się różnorodnymi konwencjami. Zróznicowanie dotyczy między innymi sposobów odwzorowania relacji między zdaniem kodowanymi przez poszczególne punkty płaszczyzny wykresu, użycia kolorów, typów układu współrzędnych i jednostek opisujących osie, ilości metatekstu i metajęzyka oraz ilości informacji relevantnych reprezentowanych przez wykres.

2.4.1. Sposoby odwzorowywania relacji między zdaniem w języku z poziomu przedmiotowego

Jeśli chodzi o sposoby odwzorowywania relacji między poszczególnymi punktami-zdaniem na płaszczyźnie mapy sieci odwrotnej, to najczęściej spotyka się wykresy skonstruowane jako zbiór ciągłych, barwnych płaszczyzn, między którymi występują mniej lub bardziej płynne przejścia kolorystyczne (Gorfman et al. 2015: Fig. 4, Schick et al. 2013: Fig. 4 a i b, Hu et al. 2012: Fig. 3 a–d, 5 a–d oraz 6) lub jako zbiór takich płaszczyzn oddzielonych dodatkowo warstwicami (Zaumseil 2017: Fig. 4 b, Yang et al. 2014: Fig. 4, Vergentev et al. 2016: Fig. 3) przy czym war-

stwie te mogą być w różnym stopniu zagęszczone. Płynność przejść kolorystycznych zależy od przyjętej przez autora skali rozdzielczości odwzorowania zmierzonych intensywności wiązki, a kontrast – od interpretacji stopnia ich zróżnicowania. Małe różnice między kolorami przekazują informację o tym, że różnice między odpowiadającymi im intensywnościami należy oceniać jako niewielkie, zaś duży kontrast – że trzeba uznać je za znaczne. Stopień skonstrastowania barw poszczególnych obszarów wykresu jest zatem także istotnym elementem kodu.

W strukturze semantycznej każdy z powyższych wariantów mapy sieci odwrotnej zawiera nieco inny przekaz metatekstowy. Jak już pisałem, warstwy łączące punkty-zdania stanowią komunikat o identyeczności orzekanych przez nie stanów rzeczy, czyli zmierzonych intensywności wiązki ugiętej. Pominięte zostają informacje o drobnych różnicach tej intensywności, uznanych przez eksperymentatora za nieistotne. W przypadku map odwzorowanych za pomocą ciągłej płaszczyzny pominięta jest także informacja o dyskretnej strukturze zakodowanego przez płaszczyznę zbioru danych doświadczalnych, co na poziomie czysto semantycznym mogłoby sugerować, że wykonano nieskończenie wiele pomiarów. Taki sposób odczytu wykresu wyklucza jednak wiedza odbiorcy o świecie – a ściślej rzecz ujmując: świadomość, że jest to niemożliwe. Poprzez wybór omawianej formy znakowej dokonuje się zatem ekstrapolacja wyników badań z płaszczyzny dyskretnej na ciągłą, oparta na wysokim prawdopodobieństwie, że w danym obszarze wektorów dyfrakcji uzyskano by zbliżone wartości intensywności zmierzonej wiązki, gdyby wykonano nieskończenie wiele pomiarów. I tak też jest to rozumiane przez odbiorców mapy. Tym samym wyraźnie widać, że *mapa sieci odwrotnej stanowi obiekt znakowy będący zawsze zapośredniczoną kodowo interpretacją wyników doświadczeń, u podstaw której leży językowe przetwarzanie informacji, nie zaś ich bezpośrednim, mechanicznym odzwierciedleniem.*

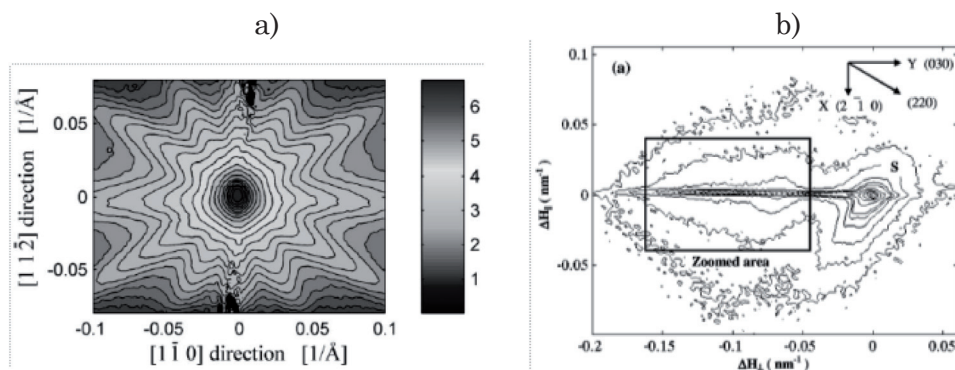
Jeszcze wyraźniej widać to w przypadku map sieci odwrotnej skonstruowanych jako zbiór ciągłych i jednolitych kolorystycznie płaszczyzn oddzielonych warstwicami. Tu bowiem mamy do czynienia nie tylko z pominięciem na płaszczyźnie formy znaku informacji o dyskretnej strukturze zbioru zakodowanych w nim danych eksperymentalnych, lecz także ze zwiększeniem redundancji jego zawartości semantycznej. Chodzi oczywiście o fakt wprowadzenia przez warstwy dodatkowego rozgraniczenia między płaszczyznami, które już same w sobie zostały rozróżnione poprzez zastosowanie odmiennych kolorów. Jest tu dwukrotnie zakodowana ta sama informacja o opozycji pomiędzy stanami rzeczy komunikowanymi przez określone grupy zdań-punktów. Cel

wprowadzenia takiej redundancji to podkreślenie faktu występowania wspomnianej opozycji – tak aby nie mogła pozostać niezauważona przez odbiorcę. Warstwice bywają stosowane też do wyznaczania wewnętrznego podziału jednolitej kolorystycznie płaszczyzny (Yang et al. 2014: Fig. 5 a–c) co może wprowadzać nową informację – że zarejestrowane intensywności były w ramach wspólnego zakresu jednak nieco zróżnicowane.

2.4.2. Użycie kolorów jako nośnika informacji

Co do kolorów jako nośnika informacji w omawianych wykresach, to ich używanie nie jest obligatoryjne, choć wydaje się najpopularniejsze we współczesnej literaturze krystalograficznej²³. W zbadanym materiale, oprócz map kolorowych, występują również mapy czarno-białe (por. rys. 10), w których różnice intensywności ugiętej wiązki promieniowania oznacza się przy użyciu waloru – z dodanymi warstwicami (Mariager et al. 2009: Fig. 6, Lomov et al. 2014: Fig. 3 i 4) lub bez (Fewster 1991: Fig. 3 i 6). W wersji minimalistycznej intensywność traktowana jest zerojedynkowo, tzn. prezentuje się samą opozycję refleks-brak refleksu, bez definiowania skali szarości (Fewster 1997: Fig. 14). Spotyka się też mapy czarno-białe pozbawione waloru i złożone z samych warstwic (Lankinen et al. 2009: Fig. 3 i 4, Shilo et al. 2001: Fig. 3, 4, 6 i 7, van der Sluis 1994: Fig. 5–7, Birch et al. 1995: Fig. 3, Kim et al. 1999: Fig. 1 i 3, por. też rys. 10 b). Ze względu na ubogą formę takiego znaku proces jego dekodowania angażuje w większym stopniu wiedzę o świecie – najważniejsza część interpretacji opiera się na świadomości, że punkt centralny węzła na mapie sieci odwrotnej musi mieć zawsze przyporządkowaną najwyższą relatywną intensywność wiązki ugiętej. Niekiedy badacze podają w opisie rysunku informację, jakim intensywnościom przypisano poszczególne warstwice (van der Sluis 1994: Fig. 5–7).

²³ Jako współczesną literaturę krystalograficzną przyjmuję w tym kontekście prace wydane na przestrzeni ostatnich 30 lat. W tym czasie mierzenie map sieci odwrotnej było już ogólnie przyjętym standardem w badaniach strukturalnych, a naukowcy uzyskali dostęp do aparatury umożliwiającej tworzenie kolorowych wykresów, co oznacza duży stopień prawdopodobieństwa, że brak kolorów w badanym materiale semiotycznym nie jest kwestią ograniczeń technicznych, lecz świadomym wyborem autora.



Rys. 10. Przykłady czarno-białych map sieci odwrotnej: a – mapa z węzłem zaznaczonym przy użyciu waloru i warstwic, zaczerpnięta z pracy: Mariager et al. (2009), b – mapa z węzłami zaznaczonymi przy pomocy samych warstwic, zaczerpnięta z: Shilo et al. 2001. Rysunki przedrukowano za zgodą Międzynarodowej Unii Krystalografii, <http://journals.iucr.org>.

2.4.3. Typy układu współrzędnych

Badacze stosują zróżnicowane sposoby opisu osi układu współrzędnych mapy sieci odwrotnej – pod tym względem w literaturze da się wyodrębnić trzy typy analizowanych obiektów znakowych:

1 – mapy „kanoniczne”, w których zasięg dyfrakcji na wybranej rodzinie płaszczyzn krystalograficznych odwzorowuje się w przestrzeni wektorów dyfrakcji;

2 – mapy, w których układem odniesienia dla zasięgu dyfrakcji jest przestrzeń wskaźników Millera płaszczyzn przyporządkowanych do węzłów sieci odwrotnej²⁴;

3 – mapy z zasięgiem dyfrakcji pokazanym bezpośrednio w przestrzeni kątów ω i 2θ (bez przeliczania na Q_z i Q_x).

W mapach reprezentujących typ **1**, poszczególne osie bywają oznaczane najczęściej jako Q bądź ΔQ (od wektora dyfrakcji) z literami x , y , z w indeksie dolnym (Lomov et al. 2014: Fig. 3 i 4, Bauer et al. 2015: Fig. 2 b i d), czasem łączonymi ze sobą – na przykład xy , co oznacza, że dana mapa ma tę samą postać w dwóch kierunkach przestrzeni sieci odwrotnej (Domagała et al. 2016: Fig. 6 i 7, Lankinen et al. 2009: Fig. 3 i 4). Litery te pełnią więc funkcję morfemów-wyznaczników kierunku osi. Odniesienie takiego zapisu do lokalizacji płaszczyzn krystalogra-

²⁴ Ten typ układu odniesienia bywa stosowany zwłaszcza przez użytkowników synchrotronów.

ficznych sieci rzeczywistej oraz węzła sieci odwrotnej kryształu w układzie współrzędnych pokazane zostało na rys. 7. Niekiedy autorzy prac umieszczają w indeksie dolnym przy literze Q zamiast liter x, y, z matematyczne znaki równoległości lub prostopadłości (Fewster 1997: Fig. 14) bądź wskaźniki Millera w nawiasach kwadratowych (Fewster 1997: Fig. 8).

Znak prostopadłości jest w takich przypadkach ekwiwalentem znaczeniowym z , (gdyż chodzi o oś prostopadłą do powierzchni kryształu, por. rys. 7), zaś znak równoległości – ekwiwalentem x lub y (gdyż chodzi o oś równoległą do płaszczyzny, w której leży kryształ, a więc i do jego powierzchni). Trzeba jednak wspomnieć, że znaki te mogą też być używane w inny sposób, wiążąc kierunek prostopadły bądź równoległy na przykład z powierzchnią (tzw. *interfejsem*) między podłożem próbki a osadzoną na nim warstwą kryształu (por. wywód w pracy: Shilo et al. 2001: 716 oraz, przykładowo, Fig. 3 i 4 z tego samego artykułu). Wskaźniki Millera w nawiasach kwadratowych informują z kolei, że oś opisująca daną składową wektora dyfrakcji leży wzdłuż oznaczanego za ich pomocą *kierunku krystalograficznego* – czyli jest prostopadła do przypisanej im płaszczyzny krystalograficznej.

Ponadto w literaturze można znaleźć mapy sieci odwrotnej, w których ciąg reprezentujący składową wektora dyfrakcji nie zawiera litery Q – jest zredukowany do samych wskaźników Millera ujętych w nawiasy kwadratowe (por. rys. 10 a oraz: Hu et al. 2012: Fig. 3 a–d, Fig. 5 a–d i Fig. 6) bądź zamiast Q występuje tam inna litera, na przykład k (od wektora falowego, por. van der Sluis 1994: Fig. 5–7), H (Rys. 10 b; trudno określić jej etymologię, niewykluczone, że była literą wybraną arbitralnie przez autorów pracy) lub S (Birch et al. 1995: Fig. 3, Wang et al. 2015: Fig. 6). W takim przypadku składowe samego wektora mogą być też nieco inaczej zdefiniowane – na przykład $S_x = Q_x/2\pi$, $S_z = Q_z/2\pi$ (Fewster 2003: 108).

Jeśli chodzi o mapy typu **2.**, to osie układu współrzędnych są opisywane za pomocą wskaźników bądź różnic wskaźników Millera płaszczyzn krystalograficznych – literami h, k, l lub $\Delta h, \Delta k, \Delta l$. Wartości tych wskaźników lub ich różnic względem wartości przyjętych jako bazowe (np. wskaźników analogicznego węzła sieci odwrotnej podłoża, na którym badany materiał krystaliczny osadzony jest jako warstwa) podawane są na osi jako liczby (Vergentev et al. 2016: Fig. 3 b, Kim et al. 1999: Fig. 1 i 3, Sasaki et al. 2011: Fig. 2).

Trzeba zauważyć, że wskaźnik Millera k jest homonimiczny względem oznaczenia wektora falowego, ponieważ reprezentuje go ta sama litera. To niekiedy może prowadzić do formalnej dwuznaczności mapy

sieci odwrotnej (van der Sluis 1994: Fig. 5–7). Dwuznaczność ta jest rozstrzygana kontekstowo – na podstawie wartości liczbowych na osiach, informacji podanych w tekście artykułu oraz formy metafizycznego opisu osi. Ilekroć chodzi o wskaźnik Millera, badacze nie dodają do niego żadnych morfemów-wykładników kierunku w indeksie dolnym, gdyż są one niepotrzebne – wskaźnik taki wraz ze swoimi wartościami podanymi na osi sam dostarcza informacji dotyczących jej kierunku w układzie odniesienia badanego kryształu. Analogiczna homonimia występuje w przypadku wskaźnika Millera h i oznaczenia wektora dyfrakcji literą H (Sasaki et al. 2011: Fig. 2 vs. rys. 10 b).

W wariacie 3. układu współrzędnych mapy sieci odwrotnej osie odnoszą się do jednostek kątowych ω , 2ω i/lub 2θ bądź ich różnicy, np. $\Delta\omega$ (Hu et al. 2001: Fig. 3 c., 4 c i 5 c, Fewster 1997: Fig. 4 i 11).

Jak łatwo zauważyć, przyjmowana przez autora konwencja dotycząca układu współrzędnych mapy sieci odwrotnej ma wpływ na proces jej odczytu przez odbiorcę – nie zawsze może on zobaczyć na wykresie bezpośrednio odwzorowanie składowych wektora dyfrakcji bądź odwzorowanie to może nie być jawnie sygnalizowane.

Jednostki na osiach mapy sieci odwrotnej wyrażają zwykle odwrotności wymiarów przestrzennych – są to $1/\text{Å}$ (Mariager et al. 2009: Fig. 6, Shick et al. 2013: Fig. 2 a, 3, 4 a i b), $1/\text{nm}$ (Kopp et al. 2014: Fig. 1, 4 i 6), $1/\mu\text{m}$ (Lomov et al. 2014: Fig. 3, 4 i 7). Zdarzają się jednak także alternatywne jednostki. W przypadku map z węzłem w przestrzeni kątowej ω i 2θ są to wartości tych kątów – wyrażane wprost lub pośrednio (por. rys. 11), zaś w mapach we wskaźnikach Millera – bezwymiarowe wartości tych wskaźników. Niekiedy liczby na osi wyrażają też różnie definiowane przez badaczy jednostki sieci odwrotnej, oznaczane samym ciągiem rlu (Domagała et al. 2016: Fig. 6 i 7). Może to być na przykład odwrotność odległości między płaszczyznami krystalograficznymi ($1/d$) sieci rzeczywistej kryształu (związek takiej jednostki ze strukturą sieci odwrotnej pokazany jest na rys. 6), długość fali użytego promieniowania podzielona przez dwukrotność odległości między płaszczyznami krystalograficznymi ($\lambda/2d$) etc. Przeprowadzając rozmowy ze specjalistami od dyfrakcji rentgenowskiej dowiedziałem się, że to zróżnicowanie konwencji znakowych bywa kłopotliwe w praktyce zawodowej, gdyż może utrudniać odbiór i interpretację wyników badań wykonanych przez innych naukowców.

Warto dodać, że wybór stosowanych w mapach sieci odwrotnej jednostek odwrotności wymiarów przestrzennych nie jest dowolny – ogranicza się do zamkniętej klasy jednostek wymiarów w skali mikro. Znalezienie wykresu opisanego jednostkami w skali makro, czyli na

przykład cm^{-1} , m^{-1} czy km^{-1} , jest mało prawdopodobne, mimo że nie istnieją żadne oficjalne przepisy, które by narzucały badaczom taki sposób postępowania. Wiąże się on bezpośrednio z psychologią procesów komunikacyjnych – a ściślej rzecz biorąc, z intuicyjnym dążeniem do tego, aby miara wielkości przyjęta do opisu danego układu (w tym przypadku: wiązki rentgenowskiej ugiętej na sieci kryształu) była adekwatna do jego skali. Ponieważ odwrotność wymiarów przestrzennych opisujących składowe wektora dyfrakcji pochodzi od odwrotności długości fali użytego promieniowania, a długość ta jest wielkością w skali mikro, tę samą skalę zachowuje się w opisach wykresów. Można by się tu w jakimś stopniu dopatrywać działania *maksymy sposobu*²⁵ Grice’a.

Niewykluczone, że oprócz scharakteryzowanych wyżej trzech wariantów opisu osi układu współrzędnych mapy sieci odwrotnej badacze stosują także inne, jeszcze nie odkryte przeze mnie konwencje, aczkolwiek te wydają się najpopularniejsze. O używaniu przez autorów publikacji różnych skal do odwzorowywania zmierzonej intensywności promieniowania ugiętego wspominałem już w punkcie poświęconym metatekstowi.

Z istnieniem wariantów **1–3** układu odniesienia mapy sieci odwrotnej wiąże się pewien paradoks semantyczny. Otóż w świetle koncepcji sieci odwrotnej kryształu jako modelu istniejącego w przestrzeni wektorów dyfrakcji (czyli wektorów falowych), status prawdziwej mapy sieci odwrotnej posiadają w zasadzie tylko obiekty znakowe typu **1.**, określone przeze mnie jako „kanoniczne”. Jak już stwierdziłem, jednostkom leksykalnym ich języka z poziomu przedmiotowego wyrażanym przez pozycje punktów w dwuwymiarowym układzie współrzędnych przypisane są jako desygnaty wektory dyfrakcji. A zatem w tym języku węzły sieci odwrotnej odwzorowywane są w przestrzeni wektorów dyfrakcji, czyli we właściwej przestrzeni sieci odwrotnej. Wykresy reprezentujące wariant **2.** wiążą układ odniesienia dyfrakcji z przestrzenią wskaźników Millera odnoszących się do poszczególnych węzłów sieci odwrotnej, gdyż desygnatami analogicznych jednostek leksykalnych są w omawianym przypadku określone kombinacje wartości tych wskaźników, nie zaś wektory dyfrakcji (choć oczywiście wektory dyfrakcji mogłyby być na tej podstawie obliczone). Z kolei wariant **3.** odzwierciedla węzeł w przestrzeni kątowej, związanej z geometrią układu aparatury podczas pomiarów, bowiem desygnatami leksemów-pozycji w układzie współrzędnych są tutaj kombinacje kątów ω i 2θ .

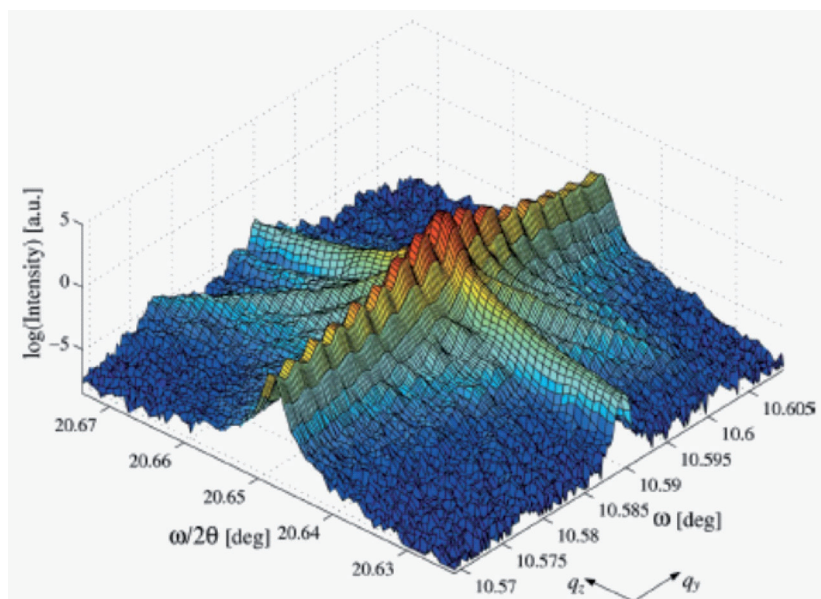
²⁵ Zgodnie z tą maksymą należy mówić zrozumiale i w sposób adekwatny do sytuacji (Grice 1977).

Tak więc w literaturze można znaleźć wiele obiektów znakowych niebędących bezpośrednim wizerunkiem węzłów sieci odwrotnej kryształu, a mimo to nazywanych zwyczajowo *mapami sieci odwrotnej* – ze względu na to, że kodują ekwiwalentną w stosunku do formy „kanonicznej” porcję informacji. Z punktu widzenia funkcjonowania w tekstach specjalistycznych spełniałyby (oczywiście jako znaki-typy) silne kryterium dystrybucyjne sformułowane przez Lyonsa dla synonimii wyrazów języka naturalnego – chodzi o tzw. *synonimię totalną*, polegającą na wymienności we wszystkich możliwych kontekstach (Lyons 1975: 490). Z tym, że w omawianym przypadku oczywiście nie chodzi o synonimy, tylko o ekwiwalenty znaczeniowe wyrażone w różnych systemach semiotycznych.

Oprócz dwuwymiarowych map sieci odwrotnej badacze tworzą niekiedy mapy trójwymiarowe, przy czym w literaturze występują dwa ich typy:

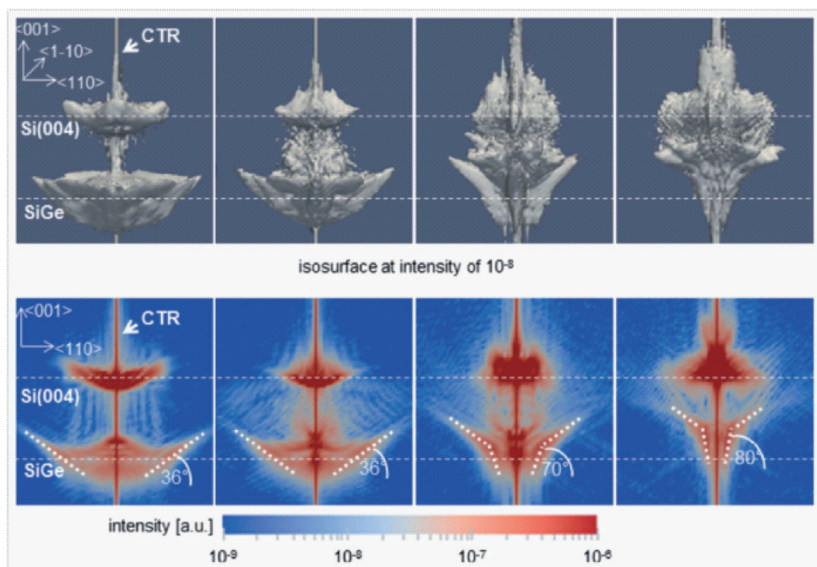
- a** – wykresy, na których obrazowany węzeł jest wypukłą powierzchnią;
- b** – wykresy, na których obrazowany węzeł jest bryłą.

Wykresy typu **a** to „klasyczne” mapy sieci odwrotnej, tylko że inaczej przedstawione – zamiast konstruować płaski rzut odwzorowywanej powierzchni, autorzy wyrażają jej trzeci wymiar perspektywą, por. zamieszczony niżej rys. 11 (a także: Vergentev et al. 2016: Fig. 3 a, Lyford et al. 2015: Fig. 4, 6 i 7).



Rys. 11. Mapa sieci odwrotnej odwzorowująca obrazowany węzeł jako wypukłą powierzchnię, zaczerpnięta z pracy: Lyford et al. 2015. Rysunek przedrukowano za zgodą Międzynarodowej Unii Krystalografii, <http://journals.iucr.org>.

Typ **b** map sieci odwrotnej to „właściwe” trójwymiarowe wykresy, odwzorowujące inne informacje niż mapy typu **a**. Obrazowo rzecz ujmując, mapy z węzłem wyrażonym jako bryła stanowią zbiór map sieci odwrotnej zmierzonych w tym samym punkcie próbki, ale obracanej wokół osi prostopadłej do jej powierzchni w zakresie kątowym 0–360 stopni (niezależnie od zmian kątów ω i 2θ). Pojedyncza mapa dwuwymiarowa stanowi zatem przekrój mapy trójwymiarowej, co widać, gdy prześledzi się rys. 12 (dalsze przykłady map typu **b** można obejrzeć w pracach: Fewster 1997: Fig. 12, 13 i 15, Cornelius et al. 2012: Fig. 4 – wykresy w środkowym szeregu oraz Fig. 5 – wykresy w trzecim szeregu od góry, Bauer et al. 2015: Fig. 2 a i c, 3 a i c oraz 5 a i c).



Rys. 12. Trójwymiarowe mapy sieci odwrotnej (górny szereg rysunków) zestawione z odpowiadającymi im mapami dwuwymiarowymi (dolny szereg rysunków), zaczerpnięte z pracy: Cornelius et al. 2012. Wyraźnie widać, że „klasyczna” dwuwymiarowa mapa sieci odwrotnej byłaby przekrojem mapy trójwymiarowej w wybranej płaszczyźnie. Rysunki przedrukowano za zgodą Międzynarodowej Unii Krystalografii, <http://journals.iucr.org>.

Należy zauważyć, że w przypadku mapy typu **b** nie da się odwzorować stopniowych zmian intensywności wiązki ugiętej, gdyż kolory musiałyby się zmieniać w kierunku w głąb bryły. Jej kształt jest więc określany przez powierzchnię reprezentującą arbitralnie wybraną pojedynczą intensywność traktowaną jako graniczna. Trzeci wymiar zaznacza się na takich rysunkach za pomocą cieniowania (Fewster 1997:

Fig. 12 i 13, Cornelius et al. 2012: Fig. 4 – wykresy w środkowym szeregu, Fig. 5 – wykresy w trzecim szeregu od góry) i/lub umieszczenia węzła w układzie współrzędnych z trzema osiami (Fewster 1997: Fig. 15, Bauer et al. 2015: Fig. 2 a i c, 3 a i c oraz 5 a i c). Trzeba jednak stwierdzić, że trójwymiarowe mapy sieci odwrotnej są raczej rzadziej spotykaną formą tego typu obiektu znakowego w porównaniu z mapami dwuwymiarowymi. Ponadto typ **b** jest dość skromny pod względem ilości zakodowanych informacji. Służy w zasadzie tylko do pokazania że dyfrakcja zachodząca na danej rodzinie płaszczyzn krytalograficznych próbki przebiega nieco inaczej w różnych kierunkach jej obrotu wokół osi prostopadłej do powierzchni.

2.4.4. Zróznicowanie ilościowe metajęzyka i metatekstu

W niektórych mapach sieci odwrotnej pomija się dużą część metajęzyka i metatekstu – na przykład skalę kolorów lub walorów (Hu et al. 2001: Fig. 3 c, 4 c oraz 5 c, Fewster 1997: Fig. 8, i 14). Dobitny przykład maksymalnej redukcji ilości informacji zakodowanych w formie mapy sieci odwrotnej to Fig. 15 z pracy: Fewster 1997. Na rysunku tym zaprezentowano trójwymiarową mapę typu **b**, w której brakuje zarówno jednostek układu współrzędnych, jak i nazw osi – relewantny jest wyłącznie kształt zobrazowanego węzła. Ilość wiedzy relewantnej odwzorowywana przez formę znaku zależy głównie od celu komunikacyjnego – cech zbadanego węzła, na które autor chce zwrócić uwagę odbiorcy, jak również od subiektywnego wyczucia ilości informacji niezbędnej odbiorcy do poprawnego odczytu mapy umieszczonej w kontekście danej pracy. Niekiedy część funkcji metajęzykowych związanych z mapą sieci odwrotnej może pełnić na przykład zamieszczony oddzielnie na początku publikacji schemat układu eksperymentalnego uwzględniający geometrię dyfrakcji z zaznaczeniem poszczególnych wektorów falowych, kątów ω i 2θ oraz węzła w wybranym przez autorów układzie odniesienia (Birch et al. 1995: Fig. 1 oraz van der Sluis 1994: Fig. 1). Taki schemat jest instruktażem, jak należy odczytywać wykresy, przedstawia też konwencje dotyczące oznaczenia wektora dyfrakcji, kierunków na osiach współrzędnych etc.

2.5. Cechy gatunkowe mapy sieci odwrotnej jako tekstu

Przegląd różnych wariantów map sieci odwrotnej w publikacjach specjalistycznych pozwala stwierdzić, że jedyny „wyznacznik gatunkowy” mapy sieci odwrotnej stanowi fakt odwzorowania za jej pomocą zasięgu przestrzennego dyfrakcji promieniowania na wybranym zbiorze płaszczyzn krystalograficznych w warunkach zmienianych kątów ω i 2θ . To są cechy konieczne i wystarczające, które pozwalają na zaklasyfikowanie obiektu semiotycznego do omawianego typu znaków. Należy zauważyć, że stanowią kryterium dość liberalne. Pod względem formalnym, to znaczy sposobu konstruowania wykresu, używanych w tym celu środków graficznych oraz ilości zakodowanych informacji panuje w literaturze duża dowolność i różnorodność – co zostało wyżej pokazane. Różnorodność ta jest zjawiskiem pokrewnym do posługiwania się *synonimicznymi środkami języka* w językach naturalnych²⁶. Stanowi też dowód braku kodyfikacji mapy sieci odwrotnej jako obiektu znakowego używanego w komunikacji specjalistycznej.

W ramach podsumowania tej części analizy można sformułować postulat przynajmniej częściowego znormalizowania stosowanej w publikacjach naukowych formy mapy sieci odwrotnej – zwłaszcza jeśli chodzi o typ układu odniesienia, jednostki na wykresach, używane skale oraz ilość metajęzyka. Wprowadzenie jednolitej konwencji dotyczącej tej formy (lub przynajmniej zwiększenie udziału metajęzyka objaśniającego wybraną przez badacza konwencję) ułatwiłoby lekturę publikacji naukowych, co mogłoby się przyczynić do usprawnienia procesów komunikacji specjalistycznej. Za najlepszą wersję dwuwymiarowej mapy sieci odwrotnej uważam wykres w postaci kolorowego płaskiego rzutu w układzie współrzędnych z osiami wyrażającymi składowe wektora dyfrakcji jako Q_z i Q_x podawane w jednostkach Å^{-1} oraz z intensywnością wiązki ugiętej podawaną jako średnia liczba zarejestrowanych przez detektor impulsów na sekundę, por. rys. 8. Ewentualnie oznaczenia składowych wektora dyfrakcji mogłyby być zapisywane ze wskaźnikami Millera w indeksach dolnych i w nawiasach kwadratowych (zamiast liter z i x) – taki zapis określałby dokładnie, z jakim kierunkiem krystalograficznym sieci badanej próbki sprzężona jest dana oś wykresu. Metajęzyk powinien uwzględniać pełny opis skali kolorów i składowych wektorów dyfrakcji – to jest informacje o tym,

²⁶ *Synonimiczne środki języka i synonimie wyrażen językowych* rozumiem podobnie, jak Apresjan (2000: 16 i 56).

jakim intensywnościom wiązki przypisane są poszczególne kolory, w jakich jednostkach wyrażono te intensywności, nazwy osi układu współrzędnych Q_z i Q_x (lub Q_y), liczby na tych osiach oraz w jakich jednostkach podano składowe wektorów dyfrakcji. Użyteczne byłoby także uwzględnianie informacji o wybranym typie skali kolorów (skala zwykła czy logarytmiczna) oraz podawanie bezpośrednio obok wykresu wskaźników Millera reprezentowanej przez węzeł rodziny płaszczyzn.

Taka forma mapy sieci odwrotnej wydaje się najbardziej kompletna informacyjnie i ekonomiczna pod względem komunikacyjnym. Płaski rzut umożliwia pełny i adekwatny ogląd kształtu węzła w całym zbadanym obszarze (bez deformacji wykresu typowej dla ukośnych ujęć perspektywicznych), zróżnicowanie kolorów to dobry sposób na precyzyjne zobrazowanie różnic zmierzonej intensywności promieniowania ugiętego, zaś układ współrzędnych w jednostkach odpowiadających składowym wektora dyfrakcji \vec{Q} odzwierciedla koncepcję Ewalda sieci odwrotnej, zdefiniowanej poprzez zbiór tych wektorów. Używanie jako miary \AA^{-1} odpowiada najlepiej skali opisywanego układu, jest też wygodniejsze dla odbiorcy niż niejednoznaczny i różnorako definiowany ciąg *rlu*. Tak samo uwzględnianie pełnego opisu metajęzykowego mapy ułatwia jej interpretację. Z kolei podawanie intensywności jako średniej liczby zarejestrowanych impulsów na sekundę uniezależnia interpretację wyniku pomiaru od czasu naświetlania kryształu i redukuje błędy wynikające z ewentualnych chwilowych wahań parametrów pracy lampy rentgenowskiej.

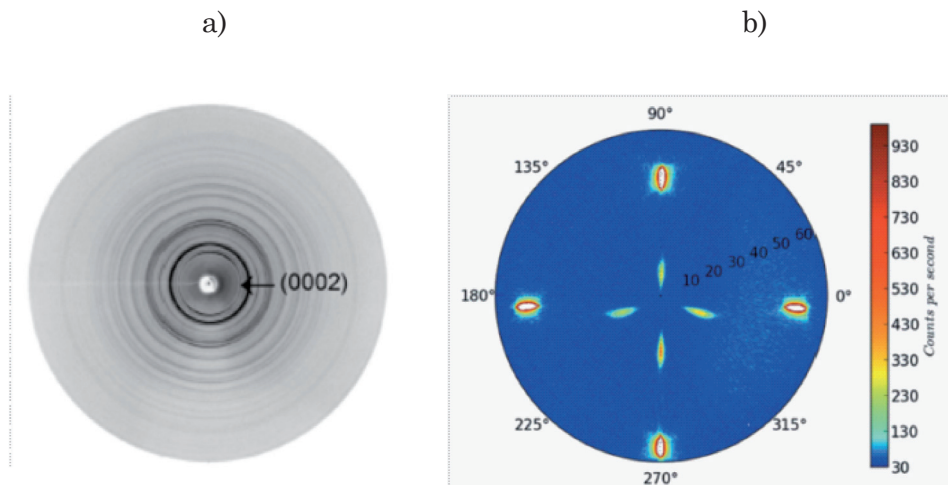
2.6. Inne typy dwuwymiarowych znaków ikonicznych do prezentacji wyników badań wykonywanych techniką dyfrakcji rentgenowskiej

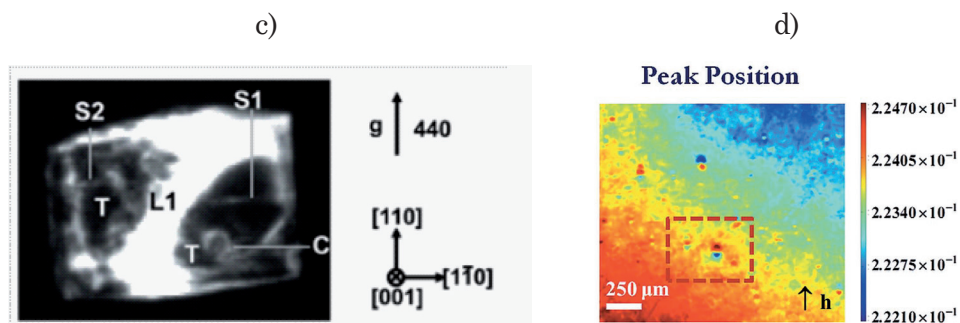
Na zakończenie analizy map sieci odwrotnej trzeba wspomnieć o istnieniu w języku specjalistycznym krystalografii innych typów dwuwymiarowych obiektów znakowych stosowanych do prezentowania wyników badań wykonywanych techniką dyfrakcji rentgenowskiej. Są dość liczne – tak więc na szczegółowy opis ich wszystkich zabrakłoby miejsca w tym artykule, jednak warto poświęcić im choćby krótką wzmiankę, gdyż stanowią istotny kontekst językowy, w którym osadzone są badane znaki. Te pozostałe obiekty znakowe to między innymi:

- a) tzw. *lauegramy* (Teplyakova and Bespalova 2015: Fig. 2 d–g i 3);
- b) *obrazy dyfrakcyjne* (*diffraction images*) (Lonardelli et al. 2005: Fig. 1);

- c) *zdjęcia topograficzne* (Wako et al. 2012: Fig. 3 i 4);
- d) *mapy krzywych dyfrakcji* (tłumaczenie własne terminów: *rocking curve maps, diffraction curve imaging*), prezentujące zbiór krzywych dyfrakcji zmierzonych kolejno w różnych punktach wzdłuż próbki (Domagała et al. 2007: Fig. 1 b, 2 oraz 4 b);
- e) *figury biegunowe* (Wang et al. 2015: Fig. 2, Wierzbicka et al. 2013: Fig. 4 i 7);
- f) *mapy pozycji pików* (tłumaczenie własne terminu *peak position map*) (Tsoutsouva et al. 2015: Fig. 3 – trzecia od lewej strony kolumna wykresów, Fig. 5 – wykres po prawej stronie, Fig. 7 – trzeci wykres od lewej strony, Fig. 11).

Większość z wymienionych typów znaków komunikuje, jakie są zależności między intensywnością ugiętej na kryształach wiązki promieniowania a jakimś wybranym innym parametrem związanym z przestrzenią i ułożeniem próbki. Wszystkie mają charakter ikoniczny i z reguły są tekstami mieszanymi. Można więc powiedzieć, że stanowią znaki pokrewne do map sieci odwrotnej. Odczytuje się z nich różnorodne informacje o kryształach – na przykład dotyczące symetrii sieci (lauegramy), zmienności wewnętrznej struktury sieci w różnych obszarach kryształu (krzywe dyfrakcyjne w funkcji współrzędnej opisującej miejsce wiązki padającej na próbkę), parametry ułożenia próbki, przy których można znaleźć refleksy od różnych rodzin płaszczyzn krystalograficznych (figury biegunowe) oraz wiele innych danych eksperymentalnych. Poniżej, na rys 13, zaprezentowanych jest kilka spośród wymienionych typów obiektów znakowych – jako skromna próbka tego bogatego i różnorodnego materiału:





Rys. 13. Przykłady dwuwymiarowych obiektów znakowych do prezentacji wyników badań wykonywanych techniką dyfrakcji rentgenowskiej: a) obraz dyfrakcyjny zaczerpnięty z: Lonardelli et al. 2005, b) figura biegunowa pochodząca z pracy: Wang et al 2015, c) topografia rentgenowska: Wako et al. 2012, d) mapa pozycji pików z: Tsoutsouva et al. 2015. Rysunki przedrukowano za zgodą Międzynarodowej Unii Krystalografii, <http://journals.iucr.org>.

Z punktu widzenia semantycznego istotny jest fakt, że każdy ze wspomnianych typów obiektów znakowych kodujących wyniki badań dyfrakcyjnych stanowi osobny „gatunek wypowiedzi”. Wykresy te służą bowiem do różnego sposobu zestawiania ze sobą i porównywania danych pomiarowych uzyskanych tą samą metodą (bądź w niewielkim stopniu zmodyfikowaną – różnice nie dotyczą jednak podstaw fizycznych eksperymentu, tylko szczegółów technicznych, na przykład używania różnych rodzajów aparatury optyczno-detekcyjnej lub odmiennych jej konfiguracji). Mamy więc do czynienia ze zbiorem gatunków tekstu mieszanego, realizowanych według określonych konwencji. Spośród tych gatunków krystalograf wybiera najbardziej odpowiedni dla swoich celów. Można wstępnie postawić hipotezę, że znaki te, same będąc tekstami złożonymi z właściwych dla siebie jednostek języka wizualnego kodu, są zarazem (oczywiście jako znaki-typy, a nie konkretne realizacje) „jednostkami językowymi” wyższego rzędu, należącymi do szerszego makrosystemu semiotycznego. Obejmuje on różnorodne dwuwymiarowe znaki ikoniczne reprezentujące dyfrakcję promieniowania rentgenowskiego na kryształach. Ten makrosystem sam w sobie też jest językiem, przynajmniej częściowo. Tworzy bowiem swojego rodzaju słownik, w którym znaczenia poszczególnych znaków-typów określane są przez ich wzajemne relacje, jakkolwiek gramatyka ogranicza się do reguł wyboru danego znaku spośród innych, bez zasad ich łączenia ze sobą nawzajem – jeśli w tekście współwystępuje obok siebie kilka takich obiektów semiotycznych, jak na przykład na rys. 12., to nie wiążą ich żadne związki syntaktyczne, a jedynie mechanizmy spójności tekstu. Jest to więc makrosystem

funkcjonujący na podobieństwo *pola semantycznego* opartego na relacjach paradygmatycznych²⁷.

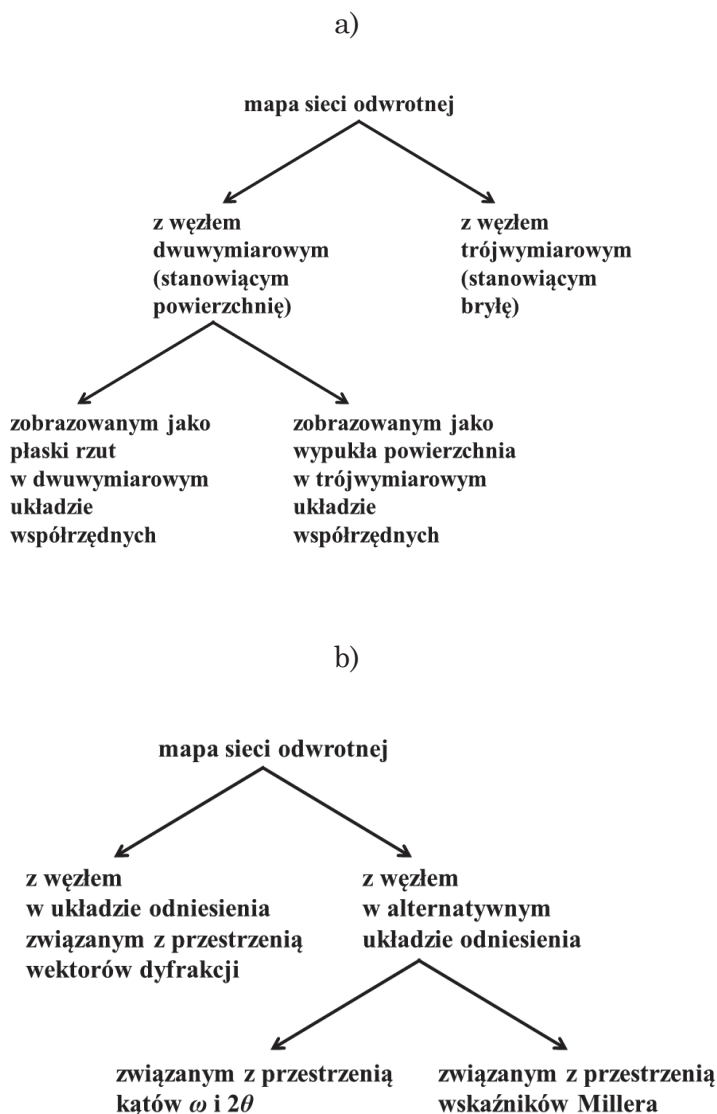
Podsumowanie

Przeprowadzona analiza map sieci odwrotnej pozwala stwierdzić, że są to ikoniczne obiekty znakowe o strukturze nielinearnego tekstu mieszanego, odwzorowujące zmiany intensywności wiązki promieniowania X uginanej na wybranej rodzinie płaszczyzn krystalograficznych próbki w funkcji zmian wektora dyfrakcji. Termin *mapa sieci odwrotnej*, używany jako nazwa tego rodzaju wykresów, ma charakter metonimiczny, gdyż nie reprezentują całej sieci odwrotnej kryształu, a jedynie jej niewielką część, stanowiącą z reguły pojedynczy węzeł. Oprócz pełnej nazwy w literaturze używany jest skrótowiec *RSM*, będący akronimem anglojęzycznej wersji omawianego terminu (*reciprocal space map*).

Mapy sieci odwrotnej kodowane są przy użyciu języka sztucznego, który można zaklasyfikować jako kod mieszany, oparty w dominującej mierze na środkach graficznych. Język ten jest stosunkowo prosty, ale mechanizmy odczytywania informacji są złożone i wielopoziomowe. W procesach dekodowania największy udział mają implikacje i presupozycje, informacje dekodowane systemowo są ubogie.

Przegląd materiału językowego ujawnia duże różnicowanie formalne map sieci odwrotnych, obejmujące praktycznie wszystkie możliwe ich aspekty – m.in. użycie środków graficznych, jednostek i skal opisujących osie oraz ilość metatekstu i metajęzyka. Główne typy tych obiektów znakowych spotykane we współczesnej literaturze specjalistycznej można podzielić według kryterium liczby wymiarów układu współrzędnych i odwzorowywanego w nim węzła oraz według kryterium przyjętego układu odniesienia:

²⁷ W lingwistyce wypracowano różne koncepcje *pola semantycznego*, niektóre z nich ufundowane są także na relacjach syntagmatycznych, por. przegląd dokonany w pracy: Bojar 2004.



Rys. 14. Próba klasyfikacji spotykanych w literaturze specjalistycznej map sieci odwrotnej: a) oparta na kryterium liczby wymiarów odwzorowywanego węzła i jego układu współrzędnych, b) oparta na kryterium typu układu współrzędnych użytego do prezentacji opisujących węzeł danych pomiarowych.

Wśród trzech wariantów rozważanych obiektów znakowych, przypisanych trzem różnym układom odniesienia, istnieje jeden, określony przeze mnie jako „kanoniczny”, który prezentuje węzeł bezpośrednio w przestrze-

ni wektorów dyfrakcji. Pozostałe warianty, także zaliczane przez krystalografów do map sieci odwrotnej, stanowią jego ekwiwalenty znaczeniowe.

Z punktu widzenia ekonomii językowej i usprawnienia procesów komunikacji specjalistycznej pożyteczne byłoby wprowadzenie jednolitej konwencji dotyczącej formy mapy sieci odwrotnej w publikacjach naukowych. Propozycję takiej konwencji wraz z uzasadnieniem przedstawiłem w punkcie 2.5.

Przestudiowane obiekty semiotyczne to nie jedyny typ dwuwymiarowych znaków ikonicznych używanych do opisu dyfrakcji rentgenowskiej. Oprócz nich istnieją inne znaki, konstruowane według odmiennych reguł. Funkcjonują podobnie do gatunków tekstów w języku naturalnym, a wszystkie razem tworzą makrosystem semiotyczny, którym posługują się krystalografowie. Wykazuje on cechy analogiczne do pola semantycznego opartego na relacjach paradygmatycznych.

Systematyczne zbadanie, porównanie i próba klasyfikacji wszystkich lub przynajmniej większości najpopularniejszych typów znaków ikonicznych stosowanych do prezentacji wyników eksperymentów dyfrakcyjnych oraz finalne pokazanie ich jako makrosystemu semiotycznego używanego we współczesnej krystalografii (z wydobyciem cech gatunkowych poszczególnych typów znaków oraz relacji semantycznych i formalnych między nimi) mogłoby być przedmiotem szerzej zakrojonych prac i tematem cyklu artykułów z dziedziny lingwistyki języków specjalistycznych współczesnej fizyki i chemii. Miałoby także potencjalny walor aplikacyjny – opublikowane wyniki takich analiz mogłyby w przyszłości zostać wykorzystane przez środowisko krystalografów do dalszego rozwoju i optymalizacji stosowanych przez nich konwencji tworzenia wspomnianych obiektów znakowych. Z punktu widzenia semiotyki zaś – mogłyby przyczynić się do pogłębienia wiedzy na temat ciekawego i nieczęsto badanego obszaru, jakim są systemy języków sztucznych współczesnych nauk ścisłych.

Podziękowania

Składam podziękowania Panu Doktorowi Jarosławowi Domagale z SL1. IF PAN za udostępnienie na potrzeby tego artykułu fotografii dyfraktometru rentgenowskiego, dostarczenie części publikacji z wykresami, które zostały wykorzystane jako materiał badany, przeszkolenie mnie w zakresie podstaw teoretycznych i procedur eksperymentalnych stosowanych w dyfrakcji rentgenowskiej oraz cenne uwagi i wskazówki dotyczące krystalograficznych aspektów tekstu.

Bibliografia

- Apresjan J. (2000), *Semantyka leksykalna. Synonimiczne środki języka*, przeł. Z. Kozłowska A. Markowski, oprac. Z. Kozłowska, E. Janus, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław–Warszawa–Kraków.
- Ashcroft N.W., Mermin N.D. (1986), *Fizyka ciała stałego*, przeł. J.M. Kowalski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Austin J.L. (1993), *Jak działać słowami*, [w:] Idem, *Mówienie i poznawanie*, przeł. B. Chwedeńczuk, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 545–708.
- Bobrowski C. (1999), *Fizyka – krótki kurs*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Bojar B. (1987), *O języku znaków drogowych*, [w:] *Od kodu do kodu: prace ofiarowane profesorowi Olgierdowi Adrianowi Wojtasiewiczowi na 70-lecie jego urodzin*, A. Bogusławski, B. Bojar (red.), Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa: 237–248.
- Bojar B. (2004), *Pole informacyjne, dokumentacyjne, tematyczne, semantyczne czy leksykalne?*, „Zagadnienia Informatyki Naukowej” 1 (83): 3–11.
- Bragg W.H., Bragg, W.L. (1913), *The Reflection of X-rays by Crystals*, „*Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*” 88 (605): 428–438.
- Cullity B.D. (1964), *Podstawy dyfrakcji promieni rentgenowskich*, przeł. B. Kołakowski, M. Lefeld-Sosnowska, L. Górski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Grice P. (1977), *Logika i konwersacja*, przeł. J. Wajszczuk, „Przegląd Humanistyczny” 6: 85–99.
- Grzegorzczkowska R. (2007), *Wstęp do językoznawstwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Horecka A. (2010), *Pojęcie znaku ikonizacyjnego w dziełach wybranych przedstawicieli szkoły lwowsko-warszawskiej: Kazimierza Twardowskiego, Tadeusza Witwickiego, Stanisława Ossowskiego, Mieczysława Wallisa i Leopolda Blausteina*, „*Studia Semiotyczne*” 27: 307–352.
- Jakobson R. (1960), *Poetyka w świetle językoznawstwa*, przeł. K. Pomorska, „Pamiętnik Literacki” 51 (2): 431–473.
- Korta K., Perry J. (2015), *Pragmatics*, [in:] *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2015 Edition)*, E.N. Zalta (ed.), URL=<https://plato.stanford.edu/archives/win2015/entries/pragmatics/> [accessed 30.09.2018].
- Kuna J., Rzućło A. (2015), *Jak zobaczyć informację, czyli różnorodne funkcje mapy w procesie wymiany informacji*, „*Folia Bibliologica*” 57: 87–97.
- Lyons J. (1975), *Wstęp do językoznawstwa*, przeł. K. Bogacki, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Masztalerz M. (2013), *Rachunkowość w świetle językoznawstwa*, „*Zeszyty Teoretyczne Rachunkowości*” 1 (127): 177–191.
- Mozer A. (2001), *Język informacyjny wielkiego miasta na przykładzie centrum Warszawy*, „*Studia Regionalne i Lokalne*” 2–3 (6): 127–148.
- Ossowski S. (1967), *Analiza pojęcia znaku*, [w:] Idem, *Dzieła, t. 4: O nauce*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 33–59.
- Ostrowski W. (2013), *Relacje semiotyczne w odniesieniu do kartografii*, „*Polski Przegląd Kartograficzny*” 45 (1): 5–14.
- Pagin P. (2016), *Assertion*, [in:] *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2016 Edition)*, E.N. Zalta (ed.), URL=<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/assertion/> [accessed 30.09.2018].

- Pelc J. (1981), *Wstęp do semiotyki*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Pietsch U., Holy V., Baumbach T. (2004), *High Resolution X-Ray Scattering from Thin Films to Lateral Nanostructures*, Springer-Verlag, New York.
- Polański K. (red.) (1995), *Encyklopedia językoznawstwa ogólnego*, Ossolineum, Wrocław.
- Posner R. (1990), *Równowaga złożoności hierarchii precyzji. Dwie zasady ekonomii w notacji językowej i muzycznej*, „Studia Semiotyczne” 16: 109–117.
- Saussure F. de (1961), *Kurs językoznawstwa ogólnego*, przeł. K. Kasprzyk, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Wierzbička A. (1971), *Metatekst w tekście*, [w:] *O spójności tekstu*, M.R. Mayenowa (red.), Ossolineum, Wrocław: 105–121.
- Wójcik T. (1969), *Prakseosemiotyka: zarys teorii optymalnego znaku*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Ziomek J. (1984), *Metafora a metonimia: refutacje i propozycje*, „Pamiętnik Literacki” 75 (1): 181–209.
- Żebrowska E. (2012), *Tekst w komunikacji zapośredniczonej komputerowo*, „Lingwistyka Stosowana” 5: 145–154.
- Źródła materiału do analizy
- Bauer S., Lazarev S., Bauer M., Meisch T., Caliebe M., Holý V., Scholz F., Baumbach T. (2015), *Three-dimensional reciprocal space mapping with a two-dimensional detector as a low-latency tool for investigating the influence of growth parameters on defects in semipolar GaN*, “Journal of Applied Crystallography” 48: 1000–1010, doi:10.1107/S1600576715009085.
- Birch J., Sundgren J.-E., Fewster P. F. (1995), *Measurement of the lattice parameters in the individual layers of single-crystal superlattices*, “Journal of Applied Physics” 78: 6562–6568; doi: 10.1063/1.360476.
- Cornelius T.W., Davydok A., Jacques V.L.R., Grifone R., Schüllli T., Richard M.-I., Beutier G., Verdier M., Metzger T.H., Pietsch U., Thomas O. (2012), *In situ three-dimensional reciprocal-space mapping during mechanical deformation*, “Journal of Synchrotron Radiation” 19: 688–694, doi:10.1107/S0909049512023758.
- Domagała J.Z., Czyżak A., Zytkiewicz Z.R. (2007), *Imaging of strain in laterally overgrown GaAs layers by spatially resolved x-ray Diffraction*, “Applied Physics Letters” 90: 241904 (3 pp), doi:10.1063/1.2748304.
- Domagała J.Z., Morelhão S.L., Sarzynski M., Mazdziarz M., Dłuzewski P., Leszczynski M. (2016), *Hybrid reciprocal lattice: application to layer stress determination in GaAlN/GaN(0001) systems with patterned substrates*, “Journal of Applied Crystallography” 49: 798–805, doi:10.1107/S1600576716004441.
- Fewster P.F. (1991), *Combining High-Resolution X-ray Diffractometry and Topography*, “Journal of Applied Crystallography” 24: 178–183, doi:10.1107/S0021889890013085.
- Fewster P.F. (1997), *Reciprocal space mapping*, “Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences” 22 (2): 69–110, doi:10.1080/10408439708241259.
- Fewster P.F. (2003), *X-ray Scattering from Semiconductors*, Imperial College Press, London.
- Gorfman S., Keeble D.S., Bombardi A., Thomas P.A. (2015), *Topology and temperature dependence of the diffuse X-ray scattering in $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ ferroelectric single crystals*, “Journal of Applied Crystallography” 48: 1543–1550, doi:10.1107/S160057671501571X.
- Hu Z.W., Thomas B.R., Chernov A.A. (2001), *Laboratory multiple-crystal X-ray topography and reciprocal-space mapping of protein crystals: influence of impurities on*

- crystal perfection*, "Acta Crystallographica Section D, Biological Crystallography" D57: 840–846, doi:10.1107/S0907444901005832.
- Hu W., Suzuki H., Sasaki T., Kozu M., Takahasi M. (2012), *High-speed three-dimensional reciprocal-space mapping during molecular beam epitaxy growth of InGaAs*, "Journal of Applied Crystallography" 45: 1046–1053, doi:10.1107/S0021889812036175.
- Kim Ch., Robinson I.K., Myoung J., Shim K.-H., Kim K. (1999), *Buffer layer strain transfer in AlN/GaN near critical thickness*, "Journal of Applied Physics" 85: 4040–4044, doi:10.1063/1.370308.
- Kopp V.S., Kaganer V.M., Jenichen B., Brandt O. (2014), *Analysis of reciprocal space maps of GaN(0001) films grown by molecular beam epitaxy*, "Journal of Applied Crystallography" 47: 256–263, doi:10.1107/S1600576713032639.
- Lankinen A., Knuuttila L., Kostamo P., Tuomi T.O., Lipsanen H., McNally P.J., O'Reilly L. (2009), *Synchrotron topography and X-ray diffraction study of GaInP layers grown on GaAs/Ge*, "Journal of Crystal Growth" 311: 4619–4627, doi:10.1016/j.jcrysgro.2009.08.032.
- Lomov A.A., Punegov V.I., Nohavica D., Chuev M.A., Vasiliev A.L., Novikov D.V. (2014), *High-resolution synchrotron diffraction study of porous buffer InP(001) layers*, "Journal of Applied Crystallography" 47: 1614–1625, doi:10.1107/S1600576714016392.
- Lonardelli I., Wenk H.-R., Lutterotti L., Goodwin M. (2005), *Texture analysis from synchrotron diffraction images with the Rietveld method: dinosaur tendon and salmon scale*, "Journal of Synchrotron Radiation" 12: 354–360, doi:10.1107/S1600576714016392.
- Lyford T.S., Collins S.P., Fewster P.F., Thomas P.A. (2015), *X-ray investigation of lateral hetero-structures of inversion domains in LiNbO₃, KTiOPO₄ and KTiOAsO₄*, "Acta Crystallographica" A71: 255–267, doi:10.1107/S2053273315001503.
- Mariager S.O., Lauridsen S.L., Dohn A., Bovet N., Sørensen C.B., Schlepütz C.M., Willmott P.R., Feidenhans R. (2009), *High-resolution three-dimensional reciprocal-space mapping of InAs nanowires*, "Journal of Applied Crystallography" 42: 369–375, doi:10.1107/S0021889809009145.
- Morelhão S.L., Domagala J.Z. (2007), *Hybrid reciprocal space for X-ray diffraction in epitaxial layers*, "Journal of Applied Crystallography" 40: 546–551, doi:10.1107/S002188980701521X.
- Sasaki T., Suzuki H., Takahasi M., Ohshita Y., Kamiya I., Yamaguchi M. (2011), *X-ray reciprocal space mapping of dislocation-mediated strain relaxation during InGaAs/GaAs(001) epitaxial growth*, "Journal of Applied Physics" 110: 113502 (7 pp), doi:10.1063/1.3664832.
- Schick D., Shayduk R., Bojahr A., Herzog M., von Korff Schmising C., Gaal P., Bargheer M. (2013), *Ultrafast reciprocal-space mapping with a convergent beam*, "Journal of Applied Crystallography" 46: 1372–1377, doi:10.1107/S0021889813020013.
- Serafińczuk J. (2006), *Modelowanie i symulacja węzłów sieci odwrotnej struktur o dużym niedopasowaniu sieciowym w stosunku do podłoża*, Wrocław (praca doktorska).
- Shilo D., Lakin E., Zolotoyabko E. (2001), *Measurement of subtle strain modifications in heterostructures by using X-ray mapping in reciprocal space*, "Journal of Applied Crystallography" 34: 715–721, doi:10.1107/S0021889801013759.
- Sluis P. van der (1994), *Determination of Strain in Epitaxial Semiconductor Structures by High-Resolution X-Ray Diffraction*, "Applied Physics A" 58: 129–134, doi:10.1007/BF00324367.

- Teplyakova L.A., Bespalova I.V. (2015), *Behavior of Macrofragmentation of Shear-induced Deformation and of Reorientation of Macroregions Formed in Aluminum Single Crystals Under Compression*, "Russian Physics Journal" 58 (4): 465–470, doi:10.1007/s11182–015–0522–9.
- Tsoutsouva M.G., Oliveira V.A., Baruchel J., Camel D., Marie B., Lafford T.A. (2015), *Characterization of defects in mono-like silicon for photovoltaic applications using X-ray Bragg diffraction imaging*, "Journal of Applied Crystallography" 48: 645–654, doi:10.1107/S1600576715004926.
- Vergentev T., Bronwald I., Chernyshov D., Gorfman S., Ryding S.H.M., Thompson P., Cernik R.J. (2016), *A rapid two-dimensional data collection system for the study of ferroelectric materials under external applied electric fields*, "Journal of Applied Crystallography" 49: 1501–1507, doi:10.1107/S1600576716011341.
- Wako K., Kimura K., Yamamoto Y., Sawaura T., Shen M., Tachibana M., Kojima K. (2012), *Digital topography with an X-ray CCD camera for characterizing perfection in protein crystals*, "Journal of Applied Crystallography" 45: 1009–1014, doi:10.1107/S0021889812032049.
- Wang Y.P., Letoublon A., Thanh T.N., Bahri M., Largeau L., Patriarche G., Cornet Ch., Bertru N., Le Corre A., Durand O. (2015), *Quantitative evaluation of microtwins and antiphase defects in GaP/Si nanolayers for a III–V photonics platform on silicon using a laboratory X-ray diffraction setup*, "Journal of Applied Crystallography" 48: 702–710, doi:10.1107/S1600576715009954.
- Wierzbička A., Zytewicz Z.R., Kret S., Borysiuk J., Dłuzewski P., Sobanska M., Klosek K., Reszka A., Tchutchulashvili G., Cabaj A., Lusakowska E. (2013), *Influence of substrate nitridation temperature on epitaxial alignment of GaN nanowires to Si(111) substrate*, "Nanotechnology" 24: 035703 (7 pp), doi:10.1088/0957–4484/24/3/035703.
- Yang P., Liu H., Chen Z., Chen L., Wang J. (2014), *Unit-cell determination of epitaxial thin films based on reciprocal-space vectors by high-resolution X-ray diffractometry*, "Journal of Applied Crystallography" 47: 402–413, doi:10.1107/S1600576713031191.
- Zaumseil P. (2017), *X-ray investigation of strained epitaxial layer systems by reflections in skew geometry*, "Journal of Applied Crystallography" 50: 475–480, doi:10.1107/S160057671700245X.