

Geometryczny aspekt symetrii

- estetyka czy epistemologia?

Kazimierz Stróż

Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach

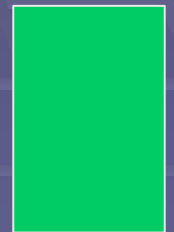
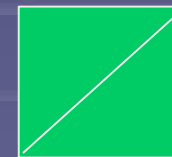
Uniwersytet Śląski

Zarys seminarium

- Aspekty geometryczne symetrii
 - Definicje
 - Estetyka (przykłady symetrii)
 - Źródła symetrii geometrycznej
 - Wartość poznawcza symetrii
- Krystalografia geometryczna
 - Formalizm algebraiczny a geometryczny operacji symetrii
 - Jednoznaczność opisu geometrycznego

Pojęcie symetrii

- Grecki termin *συμμετρία* oznacza ‘wspólną miarę’ – harmonię pomiędzy różnymi częściami obiektu, właściwą proporcję.
- Geometria euklidesowa (300 p.n.e.)
 - pierwszy dedukcyjny system matematyczny
 - bryły Platońskie
 - złoty podział odcinka
 - liczby niewymierne



Definicja symetrii

- **Obiekt** (bryła, kryształ, zjawisko fizyczne, równanie, r-nie różniczkowe) analizowany pod kątem symetrii.
- **Operacja symetrii** – operacja, która nie zmienia obiektu jako całości
- Symetria – zbiór wszystkich operacji symetrii

Rosen: $s x = y, y \sim x$

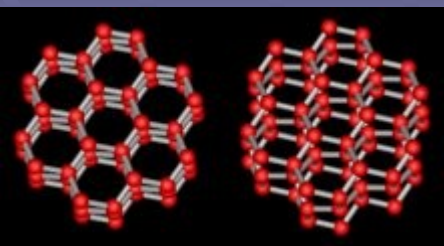
Grupa

Zbiór elementów $s_1, s_2, \dots, s_n$ tworzy grupę, gdy spełnione są następujące aksjomaty:

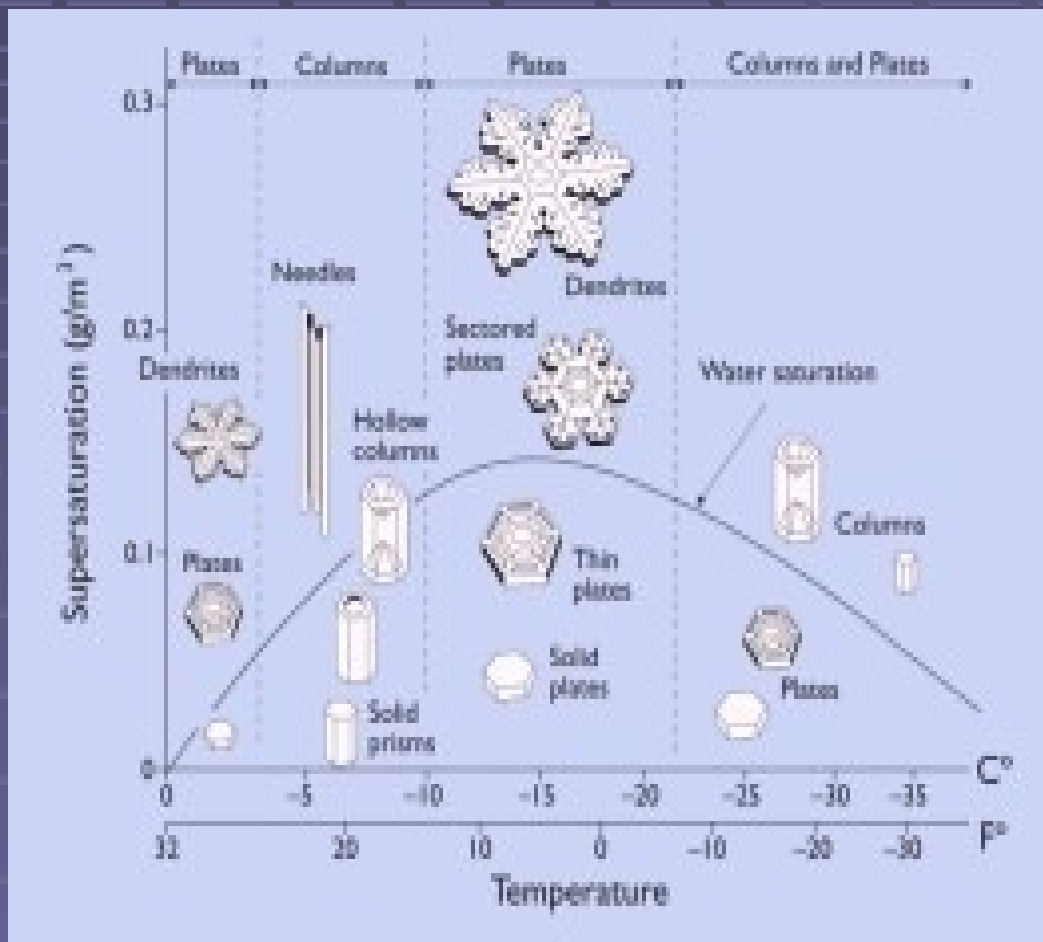
- **Zamkniętość:** $s_i s_k = s_l$
- **Prawo łączności:** $(s_i s_k) s_l = s_i (s_k s_l)$
- **Element neutralny:** $s_k e = e s_k = s_k$
- **Odwracalność:** $s_k s_k^{-1} = s_k^{-1} s_k = e$

Kamienie milowe

- **Galois Evarist (1811-1832)** wprowadził pojęcia: grupa, podgrupa, ciało, dzielnik normalny
- **Klein Felix Christian (1849-1925)** – wykład inaug. w Erlangen (1872) definiując różne geometrie jako teorie niezmienników
- **Noether Emmy (1888-1935)** – każda symetria fizycznego systemu prowadzi do zachowania jakiejś wielkości, np. energii
- **Einstein Albert (1879-1955)** wprowadził symetrię do podstawowych rozważań teoretycznych w fizyce



Symetria płatków śniegu



Izometrie

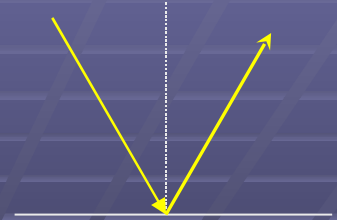
Przekształcenia nie zmieniające dwóch punktów przestrzeni nazywamy **izometriami**. Przestrzenie takie muszą być metryczne w odróżnieniu od przestrzeni fazowych. Wyróżniamy: **translacje, obroty, odbicia, inwersje**.

Transformacje Lorentza i Poincaré'go w czasoprzestrzeni Minkowskiego (STW)

Wektorowe pole Killinga zachowujące metryczną strukturę manifoldu w przestrzeni Riemanna (OTW)

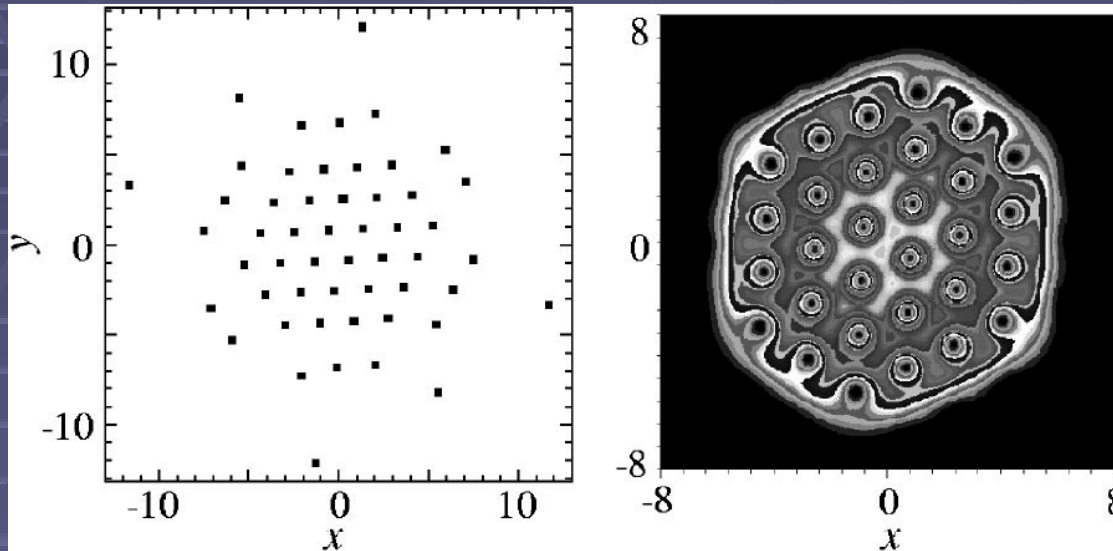
Steward Ian, Golubitsky Martin *Is a God a geometer ?*

Źródła symetrii (1)



- Prawa natury (np. jednorodność i izotropia przestrzeni)
- Symetria geometrycznych ograniczeń
- Ekstremalizacja funkcji opisujących układ
:największa gęstość upakowania, najmniejsza powierzchnia, najmniejsza energia, maksymalizacja entropii, najmniejsze działanie
- Potrzeby estetyczne człowieka (malarstwo, architektura, mozaiki Alhambry, itp.)

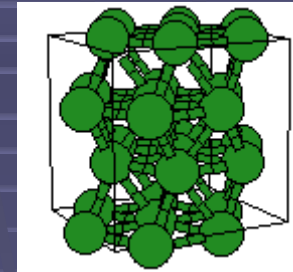
Źródła symetrii (2)



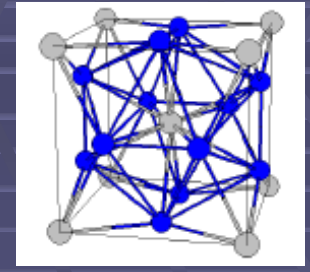
Rotacja kondensatu Bosego-Einsteina w potencjale o cylindrycznej symetrii



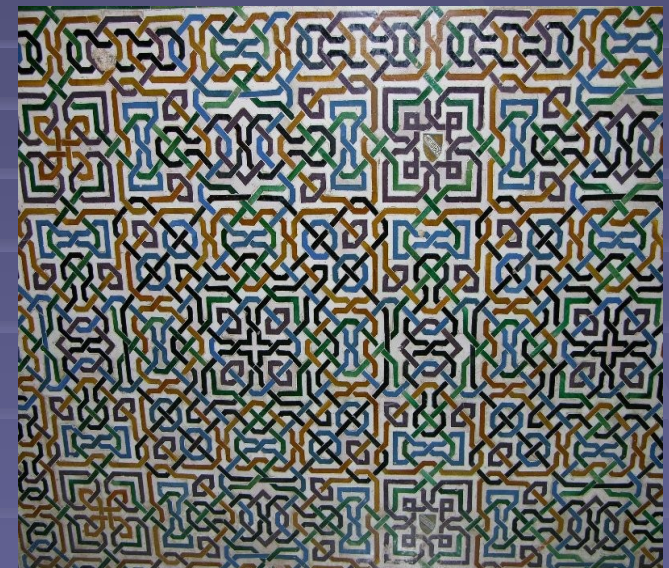
Plaster miodu



hcp (A3)



(A15) Cr_3Si , W



Mozaika z Alhambry, p4m

Wartości teoriopoznawcze (1)

- *Paul Dirac* – ważniejsze jest piękno w równaniu, niż dopasowanie do eksperymentu
- *Ginsparg & Glashow* – 1986, odnośnie teorii strun: spotkaliśmy się z rozbieżnością energii 16 rzędów... bez eksperymentu wewnętrzne atrybuty takie jak elegancja, jednoznaczność i piękno definiują prawdę.

Wartości gnozeologiczne symetrii(2)

- Brak jest relacji pomiędzy symetrią w ogóle a prawdą, rolę taką można przypisać szczególnej symetrii.

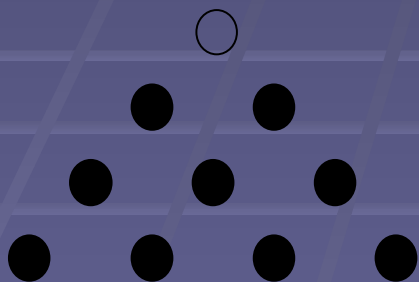
Rola teoriopoznawcza symetrii wynika z następującego schematu:

- **Obserwacja** symetrii w naturze (praktyka)
- **Eksploracja** tej symetrii: konsekwencje, natura niezmienników, opis matematyczny
- **Uogólnienie**: założenie, że wszystkie podobne zjawiska można opisać tak jak zaobserwowane

W takim kontekście powoływanie się na symetrię, to argumenty „przez analogię”, ze standardowym ryzykiem popełnienia błędu. Założona symetria z powodzeniem może służyć za drogowskaz dalszych badań.

Obserwacja hiperonu Ω^- (1964)

Spośród mnóstwa zaobserwowanych rezonansów $N_{3/2}^*(1238)$, $Y_1^*(1385)$ i $\Xi_{1/2}^*(1532)$ Gell-Mann na podstawie symetrii SU_3 ustawił je w decuplet z jednym brakującym stanem.



Analiza 100 000 zdjęć, udział
33 osób w eksperymencie

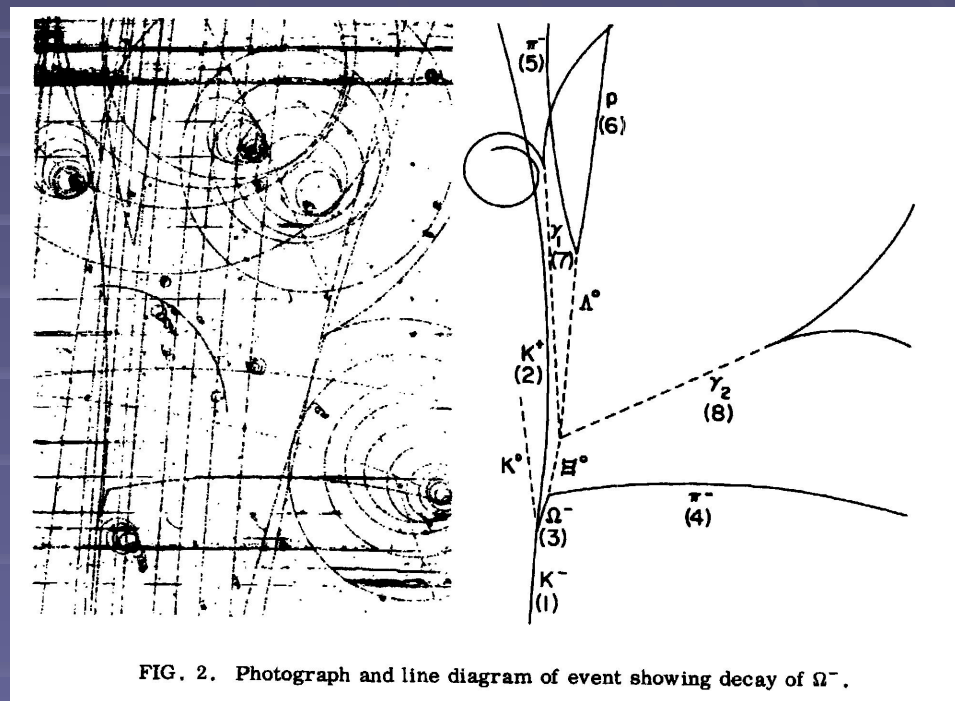


FIG. 2. Photograph and line diagram of event showing decay of Ω^- .

Struktury krystaliczne

Symetria struktur krystalicznych opisywana jest grupami przestrzennymi. Grupy te zostały wyprowadzone w sposób geometryczny przez J.S. Fiodorowa (1885-1891) i niezależnie na podstawie teorii grup przez A. Schoenfliesa.

Dla celów praktycznych najważniejszy jest opis macierzowy przekształceń symetrii, który zależy od wyboru układu osi. Drugą trudnością jest to, że grupy przestrzenne są grupami nieskończonymi i ich opis ograniczony jest do skończonej liczby tzw. *reprezentantów warstw*.

Tablice krystalograficzne

- **1935** – *Internationale Tabellen zur Bestimmung von Kristallstrukturen (1 Band)*, ed. C. Hermann
- **1952** – *International Tables for X-ray Crystallography (Vol. I)*, ed. N.F.M. Henry, K. Lonsdale
- **1983** – *International Tables for Crystallography (Vol. A)*, ed. Theo Hahn
 - 1995 – czwarte wydanie trzeciej serii (ITA83ed4)
 - 2002 – piąte wydanie trzeciej serii (ITA83ed5)

Generowanie grup przestrz.

- Wpisywanie operacji symetrii lub odczyt z plików Tables (Abad-Zapatero, 1987)
- Generowanie na podst. symbolu grupy:
 - s. H-M - Burzlaff, 1982 (SYM, Lazy Pulverix)
 - s. H-M - Larson, ? (programy DBWS, GSAS)
 - s. Halla - Grosse-Kunstleve, 1999 (SgInfo)
- Generowanie na podstawie podanych generatorów: Wondratschek (ITA83, serwer krystalograficzny w Bilbao, itp.)

Geneza

- Nedoma J, *Elementy Symetrii. Grupy punktowe*, skrypt AGH 921, Kraków 1987
- Bojarski, Gigla, Stróż, Surowiec, *Krystalografia. Podręcznik wspomagany komputerowo*, W-wa 1996.
- Stróż, J. Appl. Cryst., 1997, 30, 178.

Niekonsekwencje w ITA83ed4 podane w powyższej publikacji zostały zaakceptowane i uwzględnione w reedycji ITA83ed5.

Unifikacja opisów symetrii

W pracy „Algorytm unifikacji opisów symetrii ciał krystalicznych” postawiono następującą tezę:

Generatory Wondratschka i konwencje w ITA83 można rozciągnąć na dowolne opisy grup przestrzennych uzyskując jednoznaczność listy tripletów koordynacyjnych (macierzy symetrii), postaci geometrycznych oraz symboli elementów symetrii. W zapisie matematycznym

$$(W_{ij})_k = f(STG, k)$$

$$(W_{ij})_k \leftrightarrow (\text{opis geometryczny})_k \rightarrow EP,$$

gdzie: STG – symbol transformacyjny grupy (symbol grupy z podaniem *explicite* transformacji układu osi),

k – nr kolejny przekształcenia symetrii w komórce elementarnej,

EP – cząstkowy element symetrii.

Anatomia grupy przestrzennej

Warstwa 1		Warstwa 2		Warstwa 3		Warstwa 4	
G_0	G_1	H_0	H_1	I_0	I_1	J_0	J_1
l	$l+c_1$	h	$h+c_1$	...	...		
$l+t_1$	$l+t_1+c_1$	$h+t_1$	$h+t_1+c_1$	...	...		
...	...	...	...	...	...		
$l+t_n$	$l+t_n+c_1$	$h+t_n$	$h+t_n+c_1$	...	...		

Generowanie grupy

- (1) $m \leftarrow 0, n \leftarrow 1$
- $W_n = G_0$
- (2) $m \leftarrow m+1, k=1,2,\dots,n$
- $W_{n+k} = G_m W_k \bmod 1$
- $n \leftarrow 2n$
- if $\text{tr}(G_m) = 1$ then
- (3) $n \leftarrow n/2, k=1,2,\dots,n$
- $W_{2n+k} = G_m W_{n+k} \bmod 1$
- $n \leftarrow 3n$
- (4) repeat (2) until $m = r+1$ (r – liczba generatorów)

Wewnętrzny opis grupy i jej symbol

Zbiór generujący:

- 2) Generatory Wondratschka bez translacji
- 3) Wektory centrujące
- 4) Macierz metryczna

Przekształcenie do nowego układu to transformacja zbioru i generowanie grupy na nowo. Informacje o transformacji dodawane są do symbolu grupy H-M

- $R3m$ (160) - osie heksagonalne (opis standardowy)
- $R3m$ (160) $(-1/3, -2/3, 1/3; 2/3, 1/3, 1/3; -1/3, 1/3, 1/3)$ – osie romboedryczne
- $Fm-3m$ (225) – sieć regularna ściennie centr. (opis standardowy)
- $Fm-3m$ (225) $(0, 1/2, 1/2; 1/2, 0, 1/2; 1/2, 1/2, 0)$ – osie romboedryczne (prymitywna komórka elementarna)
- $Pn-3$ (201) $(1/4, 1/4, 1/4)$ – początek w środku inwersji (origin 2)
- $C2$ (5) $(-1, 0, -1; 0, 0, 1; 0, 1, 0)$ – wybrana oś c, komórka typu 3

Opis operacji symetrii

Macierz rozszerzona

$$\begin{bmatrix} \bar{1} & 1 & 0 & \vdots & 0 \\ \bar{1} & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \vdots & 1/3 \\ \hdashline 0 & 0 & 0 & \vdots & 1 \end{bmatrix}$$

Triplet współrzędnych

$$\bar{x} + y, \bar{x}, z + 1/3$$

Notacja geometryczna

$$3^{-} (0,0,1/3) 0,0,z$$

Notacja Wondratshka:

$$(W,w)$$

Notacja Seitza:

$$(3^2_{[001]} \mid 1/3c)$$

Element symetrii

$$3_1 [001] 0,0,0$$

Wektory własne macierzy(1)

$W\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x} \Rightarrow |W - \lambda I| = 0$ równanie charakteryś.

Dla izometrii $\lambda = 1, -1, e^{i\varphi}, e^{-i\varphi}$. W układzie w. własnych macierze przyjmują postać diagonalną, $\text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$:

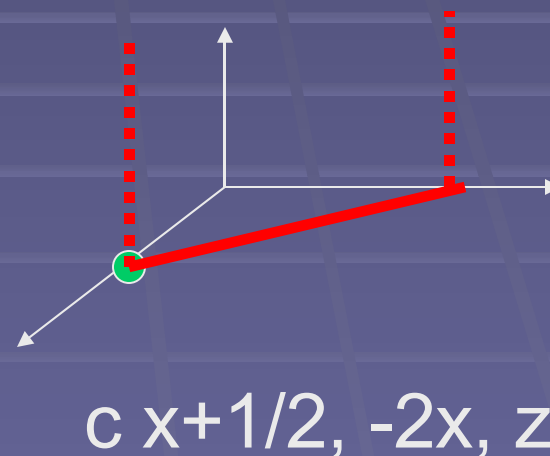
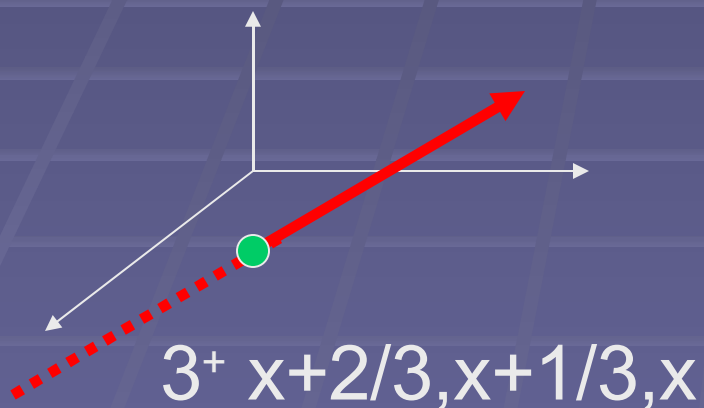
Tożsamość: $\text{diag}(1, 1, 1)$ **Odbicie:** $\text{diag}(1, 1, -1)$

Inwersja: $\text{diag}(-1, -1, -1)$ **Obrót:** $\text{diag}(1, e^{i\varphi}, e^{-i\varphi})$

$\text{tr}(W) = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$ i $\det(w) = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$ ($=1$ lub -1)
definiują typ operacji symetrii.

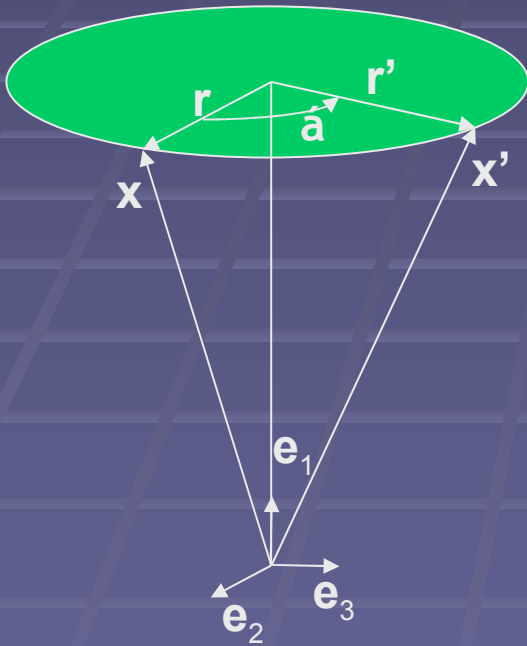
Wektory własne macierzy(2)

Wektory własne dla $\lambda=1$ lub $\lambda_j = \lambda_k=1$ definiują odpowiednio orientację osi obrotu lub płaszczyzny symetrii, w opisie parametrycznym. Położenie określa punkt tzw **punkt specjalny** na elemencie.



Macierz obrotu $R(1)$

Przekształcenie odwrotne opis geometryczny $\Rightarrow$ opis macierzowy wymaga konstrukcji obrotów właściwych dla dowolnego układu osi:



Dowolny obrót wokół wektora $\mathbf{l}$ o kąt α opisywany jest w ortonormalnej bazie:

$$\mathbf{e}_1 = \mathbf{e} = \mathbf{l}/|\mathbf{l}|, \quad \mathbf{e}_2 = \mathbf{r}/|\mathbf{r}|, \quad \mathbf{e}_3 = \mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2$$

$$\mathbf{x}' = (\mathbf{x} \cdot \mathbf{e}_1) \mathbf{e}_1 + |\mathbf{r}| \cos(\alpha) \mathbf{e}_2 + |\mathbf{r}| \sin(\alpha) \mathbf{e}_3$$

$$\mathbf{x}' = (1 - \cos(\alpha))(\mathbf{e} \cdot \mathbf{x})\mathbf{e} + \cos(\alpha)\mathbf{x} + \sin(\alpha)(\mathbf{e} \times \mathbf{x})$$

Macierz obrotu $R(2)$

Z równania wektorowego otrzymuje się zależność (Stróż, J.Appl. Cryst. (1996), 29, 736-737)

$$R_{ij} = e_i e_j^* (1 - \cos(\alpha)) + \delta_{ij} \cos(\alpha) + \text{vol}(G_{i(j+1)}^* e_{(j+2)} - G_{i(j+2)}^* e_{(j+1)}) \sin(\alpha)$$

gdzie $\text{vol} = \text{Det}(G)^{1/2}$.

Stąd $\text{Tr}(R) = 1 + 2\cos(\alpha)$ i ślad niezależny jest od kierunku obrotu. Ale

$$R_{21}e_3 - R_{31}e_2 = \text{vol}[G_{22}^*e_3^2 - 2G_{23}^*e_2e_3 + G_{33}^*e_2^2]\sin(\alpha)$$

i wyrażenie w nawiasie jest formą kwadratową dodatnio określoną, więc znak

$R_{21}e_3 - R_{31}e_2$ określa kierunek obrotu gdy e_2 lub e_3 jest różne od 0. Gdy obie współrzędne są zerowe, to kierunek obrotu określa znak $R_{32}e_1$.

W oparciu o ślad określa się krotkość osi

$$n = 2\pi / \arccos[(\text{Tr}(R) - 1) / 2]$$

SPACER - Space group selection



	GroupNo	ShortSymbol	FullSymbol	Schoenflies
▶	15	C 2/c	C 12/c1	C 6/2h
	16	P 222	P 222	D 1/2
	17	P 222 ₁	P 222 ₁	D 2/2
	18	P 2 ₁ 2 ₁ 2	P 2 ₁ 2 ₁ 2	D 3/2
	19	P 2 ₁ 2 ₁ 2 ₁	P 2 ₁ 2 ₁ 2 ₁	D 4/2
	20	C 222 ₁	C 222 ₁	D 5/2
	21	C 222	C 222	D 6/2

SG_No

15

Axis system

monoclinic

HM-S symbol

C 2/c

HM-F symbol

C 12/c1

Schoenflies

C 6/2h

Select

SG generators: 3

-1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	-1	1/2

2

Unit cell

a= 1,05 Å α= 90 ° 00 '

b= 0,83 Å β= 118 ° 00 '

c= 1,34 Å γ= 90 ° 00 '

Metric matrix

1,103	0,000	-0,661
0,000	0,689	0,000
-0,661	0,000	1,796

Cell and Metrics

Close



SPACER - Origin/Cell



Coordinate system transformation

	a'	b'	c'
a	-1	0	0
b	0	0	1
c	-1	1	0

0 0 0
0'x 0'y 0'z

b-->c, CC1-->CC3, C-->I

6 Transform

Det(P)= 1

Generators

Old 2 New

-1	0	0	0	-1	0	0	0
0	1	0	0	0	-1	0	1/2
0	0	-1	1/2	0	0	1	0

Coordinate/indexes transformation

x,y,z	x',y',z'
-0,340 0,180 -0,130	0,340 0,210 0,180
[uvw] -1 1 -1	[u'v'w'] 1 0 1
(hkl) 1 1 0	(h'k'l') -1 0 1

Centring vectors

(0,0,0)	(0,0,0)
(1/2,1/2,0)	(1/2,1/2,1/2)

Unit cell transformation

a= 1,050 Å	α= 90°00'	a'= 1,256 Å	α'= 90°00'
b= 0,830 Å	β= 118°00'	b'= 1,340 Å	β'= 90°00'
c= 1,340 Å	γ= 90°00'	c'= 0,830 Å	γ'= 132°25'

Metric matrix

1,103	0,000	-0,661	1,58	-1,14	0,00
0,000	0,689	0,000	-1,14	1,80	0,00
-0,661	0,000	1,796	0,00	0,00	0,69

Opis konwencjonalny i niekonwencjonalny grup

Space group: $C 2/c (15)$

(0,0,0)	(1)	x, y, z	1		-- -----
(0,0,0)	(2)	$\bar{x}, y, \bar{z} + \frac{1}{2}$	2	$0, y, \frac{1}{4}$	2 [010] $0, 0, \frac{1}{4}$
(0,0,0)	(3)	$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	$\bar{1}$	$0, 0, 0$	$\bar{1}$ ----- $0, 0, 0$
(0,0,0)	(4)	$x, \bar{y}, z + \frac{1}{2}$	c	$x, 0, z$	c (010) $0, 0, 0$
$(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$	(1)	$x + \frac{1}{2}, y + \frac{1}{2}, z$	$t(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$		-- -----
$(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$	(2)	$\bar{x} + \frac{1}{2}, y + \frac{1}{2}, \bar{z} + \frac{1}{2}$	$2(0, \frac{1}{2}, 0)$	$\frac{1}{4}, y, \frac{1}{4}$	2_1 [010] $\frac{1}{4}, 0, \frac{1}{4}$
$(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$	(3)	$\bar{x} + \frac{1}{2}, \bar{y} + \frac{1}{2}, \bar{z}$	$\bar{1}$	$\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, 0$	$\bar{1}$ ----- $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, 0$
$(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$	(4)	$x + \frac{1}{2}, \bar{y} + \frac{1}{2}, z + \frac{1}{2}$	$n(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$	$x, \frac{1}{4}, z$	n (010) $0, \frac{1}{4}, 0$
			-		

Space group: $F dd2 (43)(0, 1/2, 1/2; 1/2, 0, 1/2; 1/2, 1/2, 0)$

(0,0,0)	(1)	x, y, z	1		-- -----
(0,0,0)	(2)	$y, x, \bar{x} - y - z$	2	$\bar{x}, \bar{x}, x$	2 [$\bar{1}\bar{1}1$] $0, 0, 0$
(0,0,0)	(3)	$\bar{z} + \frac{1}{4}, x + y + z + \frac{1}{4}, \bar{x} + \frac{1}{4}$	b	$\bar{x} + \frac{1}{4}, y, x$	b ($\bar{1}0\bar{1}$) $\frac{1}{4}, 0, 0$
(0,0,0)	(4)	$x + y + z + \frac{1}{4}, \bar{z} + \frac{1}{4}, \bar{y} + \frac{1}{4}$	a	$x, y + \frac{1}{4}, \bar{y}$	a ($0\bar{1}\bar{1}$) $0, \frac{1}{4}, 0$



SPACER - Operation analysis



Coordinate triplet

$x+\frac{1}{2}, \bar{y}+\frac{1}{2}, z+\frac{1}{2}$

Symmetry operation

$n(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}) \ x, \frac{1}{4}, z$

Augmented matrix

Recalculate

W			w
1	0	0	1/2
0	-1	0	1/2
0	0	1	1/2
0	0	0	1

Geometric element

Point -----

Axis -----

Trace Oxy $x, 1/4, 0$

Trace Oyz $0, 1/4, z$

Trace Ozx -----

Analysis of W

Det(W) -1
 Tr(W) 1
 Rot angle 180°
 Index (010)

Analysis of w

Trans (w) 1/2, 1/2, 1/2
 Para (wg) 1/2, 0, 1/2
 Orto (wl) 0, 1/2, 0
 Shift 0, 1/4, 0
 Locat 0, 1/4, 0

Cytaty z *ITA83v5*

„Finally, I wish to express my sincere thanks to K.Stróž (Katowice) for his extensive checking of the data in the space-group tables using his program SPACER [J. Appl. Cryst. (1997), 30, 187-181], which has led to several subtle improvements in the present edition” Theo Hahn, Wstęp

„The data were additionally checked by automatic comparison with the output of the computer program SPACER”, M. Aroyo P. Konstantinov, Computer Production of Volume A.

Wnioski

Zaproponowany algorytm umożliwia szybkie generowanie zarówno konwencjonalnych jak i niekonwencjonalnych opisów grup przestrzennych (opis algebraiczny i geometryczny). Opisy konwencjonalne są w 100% zgodne ze standardami zawartymi w Tablicach Międzynarodowych, a niekonwencjonalne generowane są według identycznych reguł. W oparciu o podany algorytm **każdy program** może szybko i łatwo generować w **unikalny sposób** rozszerzone tablice.

Posłowie(1)

Lord Kelvin w 1887 opisał eter jako zbudowany z jednakowych 14-ścianów (tetrakaidekahedron) wypełniających przestrzeń, dla których stosunek powierzchni do objętości jest najmniejszy. W krystalografii jest to prymitywna komórka Wignera-Seitza w strukturze A2.

Posłowie(2)

Symulacje komputerowe i inspiracja strukturą A15 (β -Wolfram) pozwoliły w 1993 odkryć rozwiązanie o 0,3% lepsze:

- 14-ścian (2 6-kąty, 12 5-kątów) 6 na jedn.
- 12-ścian (12 5-kątów) 2 na jedn.

Struktura Weaire-Phelana zainspirowała budowę Narodowego Centrum Pływackiego (Olimpiada 2008, Pekin)

Zakończenie

- W przestrzeniach 2-3 wymiarowych aspekt geometryczny symetrii jest źródłem wrażeń estetycznych.
- Podobna satysfakcja w przestrzeniach wielowymiarowych wymaga większej wyobraźni i przygotowania matematycznego.
- Symetria odbija często różne zasady maksymalizacji czy minimalizacji, stąd jej walory teoriopoznawcze.
- Chociaż symetria nie może być uznana za „kryterium prawdy” to jej walory jako drogowskaz w eksploracji natury są niepodważalne.
- Opisy geometryczne operacji symetrii w grupach przestrzennych są równoważne opisom algebraicznym.

Publikacje

- S t r ó ż, K., Application of a PC computer for crystallographic calculations", Proc. of the XV Conf. On Appl. Cryst., Word Scientific, 1992, 157-159.
- S t r ó ż, K., Crystallographic aspects in the DBWS9006 computer program for Rietveld refinement", Proc. of the XVI Conf. On Appl. Cryst., Word Scientific, 1995, 64-67.
- B o j a r s k i, Z., G i g l a M., S t r ó ż, K., S u r o w i e c M., Krystalografia, podręcznik wspomagany komputerowo, PWN, Warszawa 1996.
- S t r ó ż, K., J. Appl. Cyst., 1996, **29**, 736-737.
- S t r ó ż, K., J. Appl. Cyst., 1997, **30**, 178-181.
- S t r ó ż, K., *On unique description of Space groups*, Proc. of the XVII Conf. On Appl. Cryst., Word Scientific, 1997, 59-62.
- S t r ó ż, K., J. Appl. Cyst., 1999, **32**, 452-455.
- S t r ó ż, K., Z. Kristallogr., **218** (2003) 642-649
- S t r ó ż, K., Acta Cryst. *Practical algorithm for unique description of a space group in any coordinate system* - wysłane