

Dan Shechtman

- Nagroda Nobla za odkrycie
kwazikryształów

Janusz Wolny
AGH Kraków

Plan:

1. Fascynująca historia

~~2. Ciąg Fibonacciego — 1D~~

~~3. Struktury Penrose'a — 2D~~

~~4. Analiza wielowymiarowa~~

~~5. Średnia komórka~~

~~6. Klastry~~

~~7. Podsumowanie~~

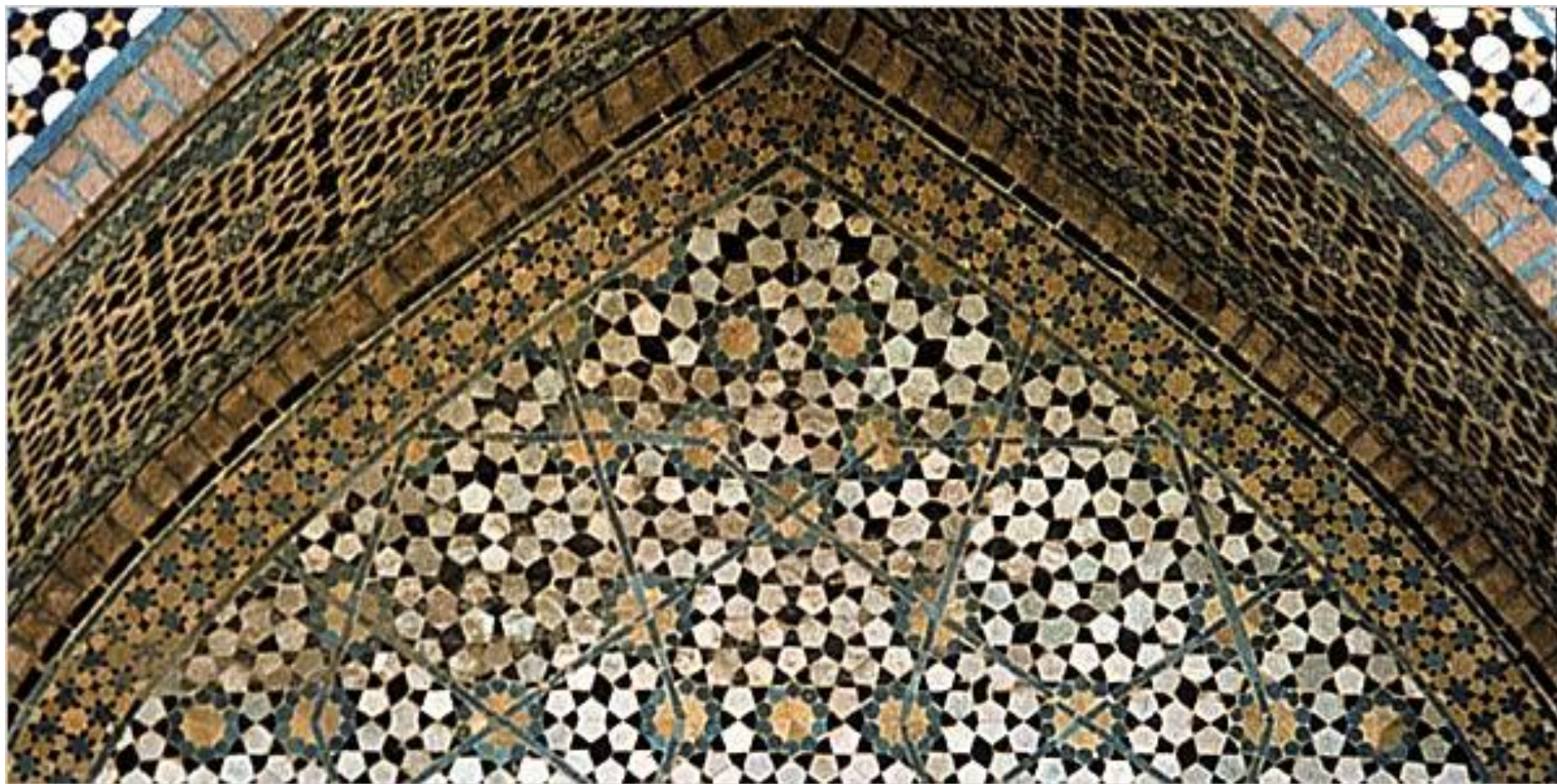
Kwazikryształy w sztuce: świątynia (Bukhara, Uzbekistan)



Sultan's Lodge in the Green Mosque in Bursa, Turkey, (1424)



Świątynia w Darb-i Imam, Asfahan, Iran (1453)





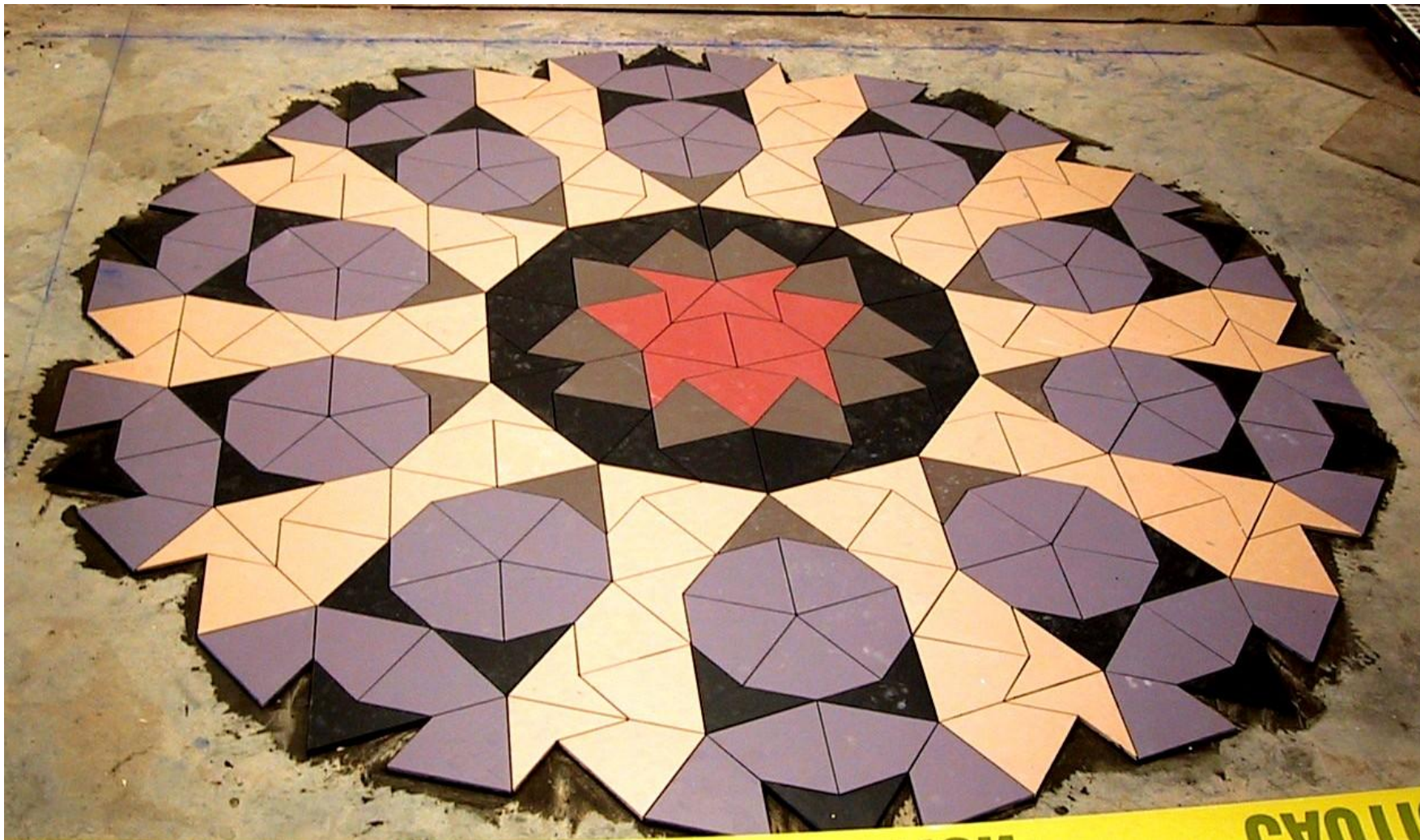
Muslim artists had discovered and used quasicrystal geometry 500 years before it was discovered in the West

Kwazikryształy w życiu codziennym





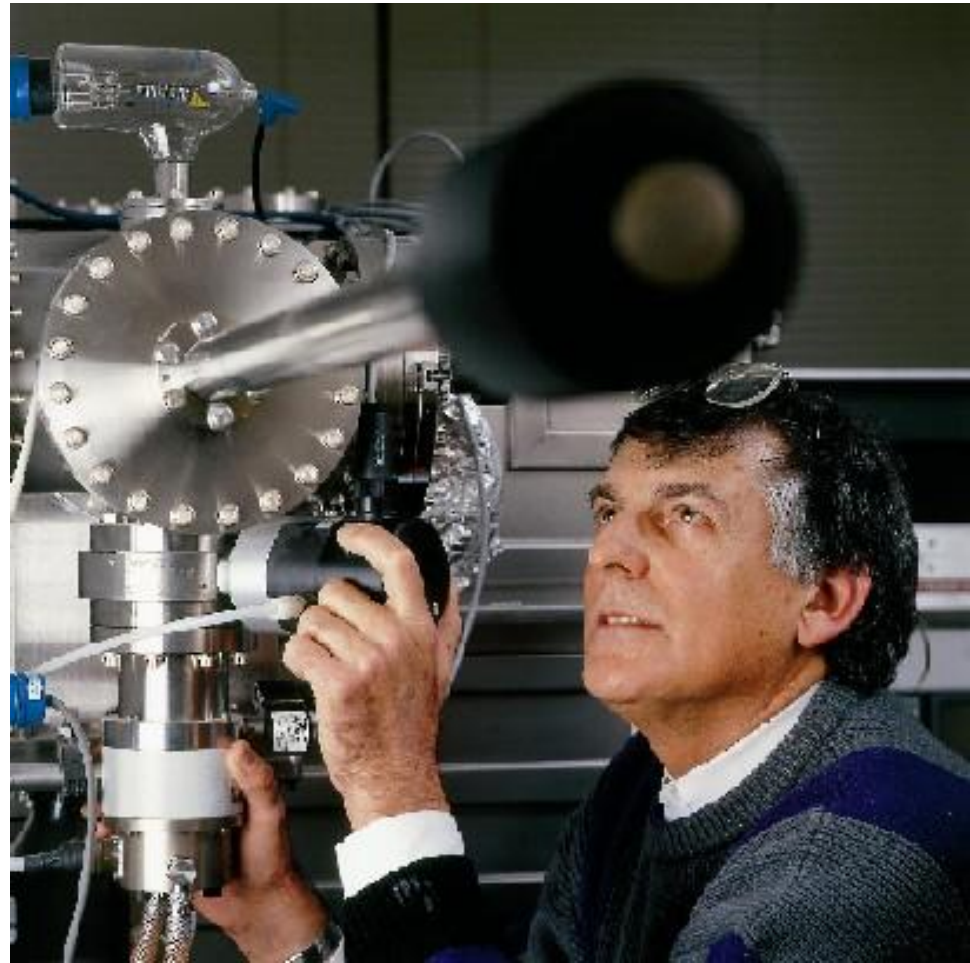
Mozaika na podłodze



Odkrycie kwazikryształów:

8 kwietnia 1982 – **Dan Shechtman** (Technion Haifa, on sabbatical – National Bureau of Standards (NBS) obecnie NIST in Gaithersburg, Washington D.C. USA)

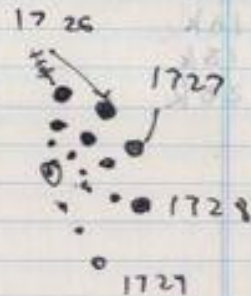
Badając szybkochłodzone stopy Al-Mn, przypadkowo znalazł to, czego zabraniała klasyczna krystalografia – obrazy dyfrakcyjne o zabronionej symetrii!



Zeszyt pomiarowy Shechtmana

April 8, 82

April 8, 82

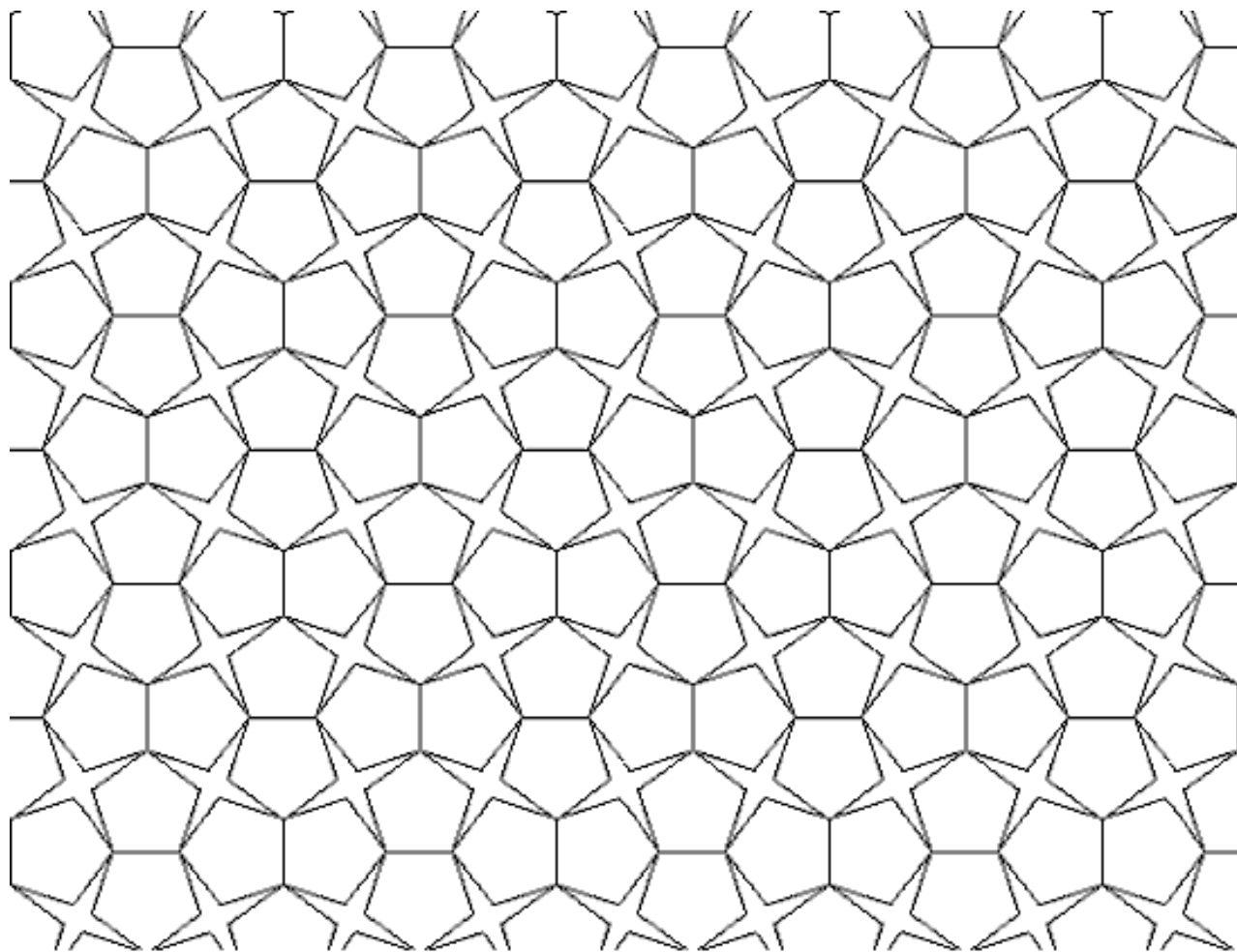


AL- 254/0 Mn

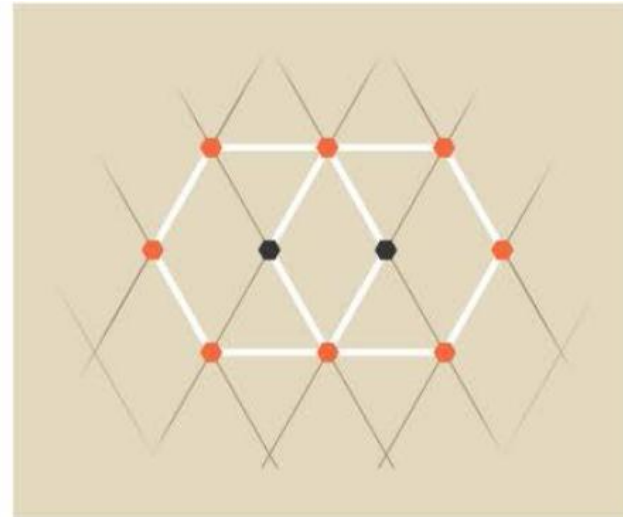
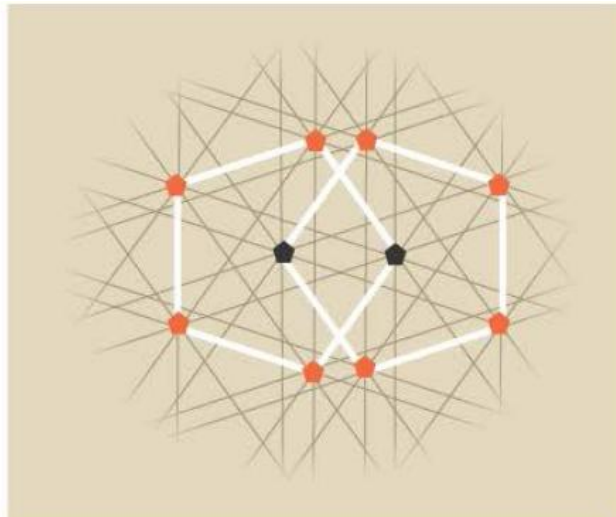
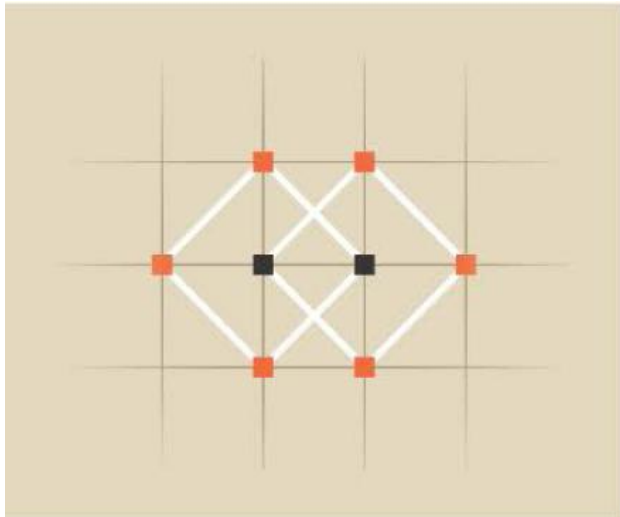
April 8, 82

1720	SAD
1721	SAD
1722	25k
1723	17k
1724	36k
1725	SAD (10 Fold ???)
1726	36k DF
1727	36k OF
1728	36k OF
1729	36k OF
1730	SAD 2300
1731	" 1600
1732	36k DF
1733	100k BF
1734	100k BF
1735	100k BF
1736	SAD another ptcl.
1737	μ diff 800
1738	μ diff 1600
1739	" "
1740	SAD another area
1741	13k
1742	17k

Dla układów periodycznych istnieją tylko następujące osie symetrii: 1, 2, 3, 4, 6-cio krotne. Nie istnieje oś 5-cio krotna - pokrycie płaszczyzny za pomocą pięciokątów jest niemożliwe



Symetria pięciokrotna jest sprzeczna
z translacyjną niezmienniczością!



Kwazikrystały - czyżby rewolucja w krystalografii?

Tak reagowali inni:

John Cahn: „*My reaction was, ‘Go away, Dany. These are twins and that’s not terribly interesting’*”

1998 National Medal
of Science



Po wielu niepowodzeniach "publikacyjnych" w końcu udało się zebrać wystarczająco mocny zespół, który przeforsował publikację po 2,5 latach beznadziejnej walki z recenzentami (PRL, listopad 1984).

John Cahn

Dan Shechtman

Ilan Blech

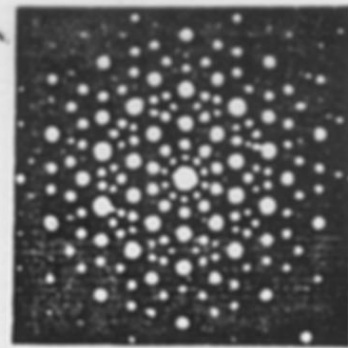
Denis Gratias

Avignon 1995

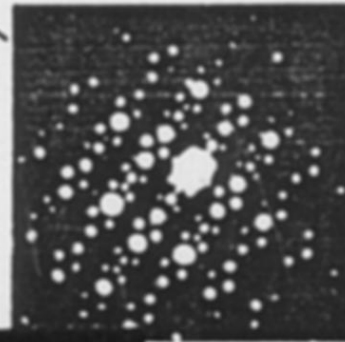


„We reported herein the existence of metallic solid which diffracts electrons like a single crystal but has point group symmetry $m\bar{3}5$ (icosahedral) which is inconsistent with lattice translations”

Shechtman D., Blech I., Gratias D., Cahn J.W., PRL 53, 1951-3 (1984),
Metallic phase with long-range orientational order and no translational symmetry

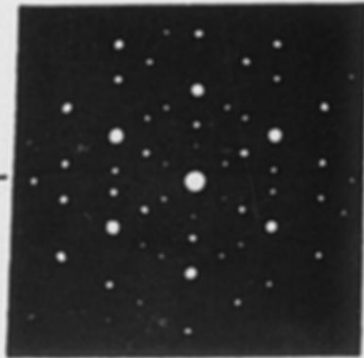


63.43°

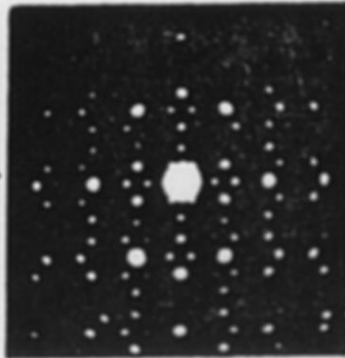


31.72°

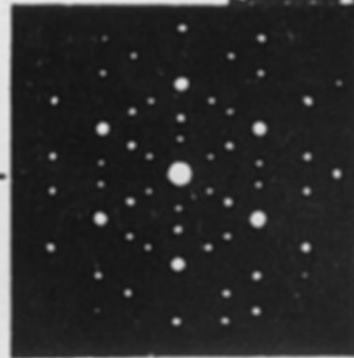
36°



79.2°



58.29°



37.38°

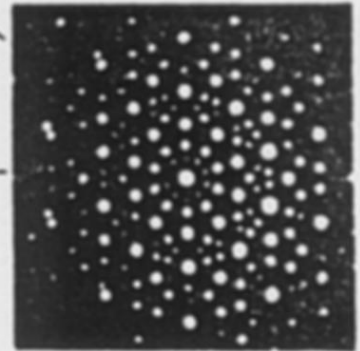
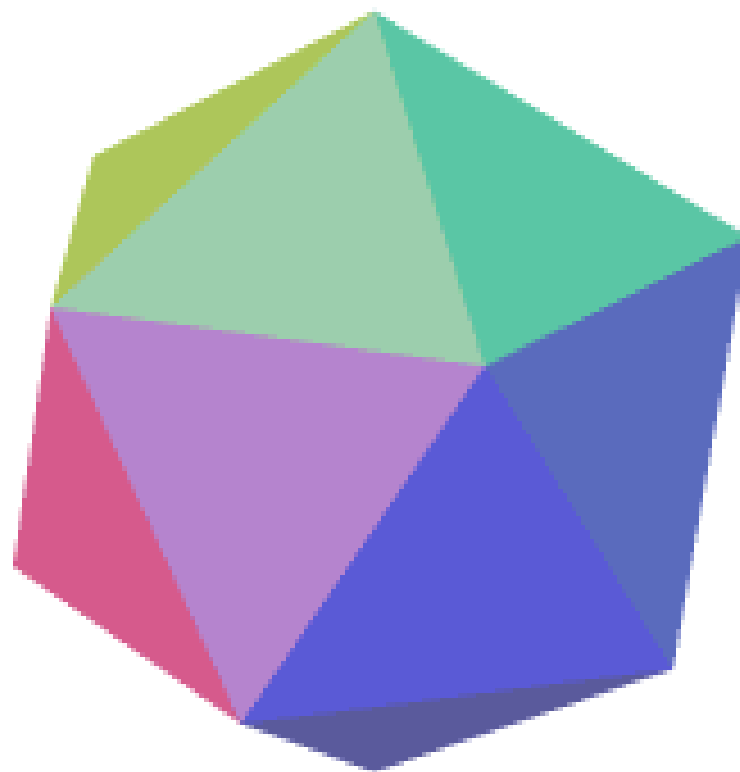
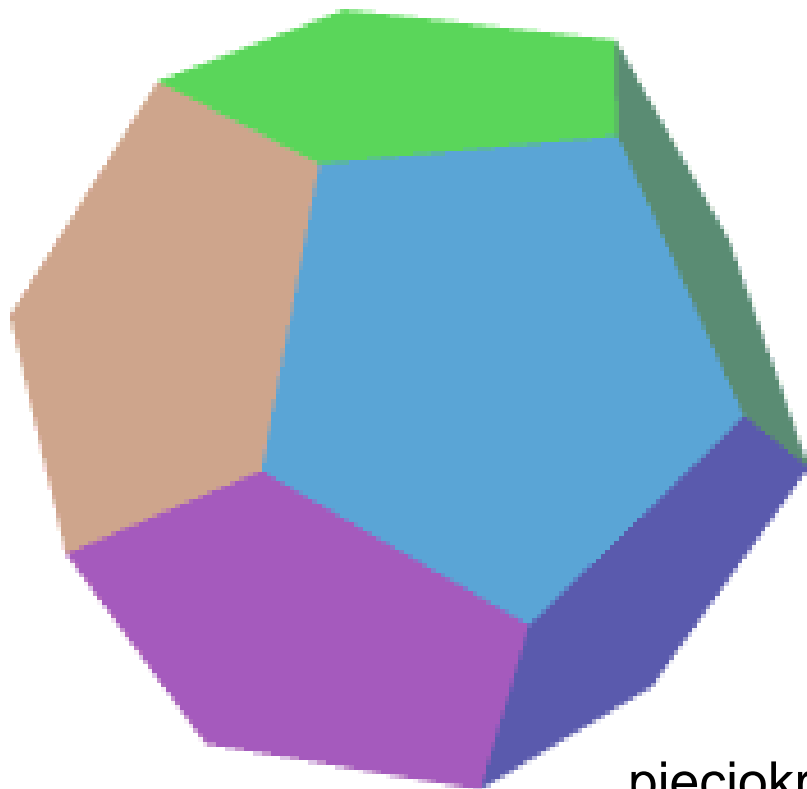


FIG. 2. Selected-area electron diffraction patterns taken from a single grain of the icosahedral phase. Rotations match those in Fig. 1.

Bryły platońskie: tetraedr (4), kubik (6), oktaedr (8),
dodekaedr (12), ikozaedr (20)



pięciokrotne osie symetrii!

Wielościany foremne to bryły, których wszystkie ściany są przystającymi wielokątami foremnymi i w których z każdego wierzchołka wychodzi tyle samo krawędzi.

Nazwa **kwazikryształy** po raz pierwszy została użyta w grudniu 1984 roku:

D. Levine, P.J. Steinhardt, Quasicrystals: a new class of ordered structures, Physical Review Letters 53 (1984) 2477–2480.

Dov Levine is Professor in the Department of Physics at the Technion – Israel Institute of Technology



Paul J. Steinhardt is the Albert Einstein Professor of Science at Princeton University and a professor of theoretical physics. Director of the Princeton Center for Theoretical Science.

Dlaczego była to aż rewolucja
w krystalografii?

René-Just Abbé Haüy

– ojciec współczesnej krystalografii

W 1784 roku, pokazał, że zewnętrzne kształty kryształów mogą być wytłumaczone przez periodyczny układ równoległościaków. Od tego czasu **uporządkowanie daleko-zasięgowe było nierozdzielnie związane z periodycznością.**



Philip W. Anderson - Nagroda Nobla z fizyki
za pracę nad teorią materii skondensowanej
(1977 rok, wraz z (Sir) Mottem i van Vleck'iem).

Anderson w swojej książce: Basic Notions
of Condensed Matter Physics,
The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1984



http://books.google.pl/books?id=CX9-vR1Oz5EC&printsec=frontcover&dq=Basic+Notions+of+Condensed+Matter+Physics&hl=pl&sa=X&ei=kzpOT_bBMqj34QTQgemGAw&redir_esc=y#v=onepage&q=Basic%20Notions%20of%20Condensed%20Matter%20Physics&f=false

pisze w podsumowaniu:

*„... The result, however, seems hardly to be questionable. It is, then clear, that in any situation where the potential energy dominates energy and entropy (as in the two cases mentioned), **a system of particles obeying a simple potential will take up a regular lattice structure.**”*

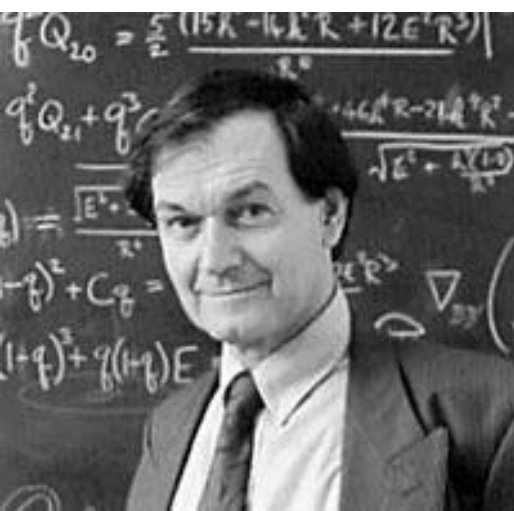
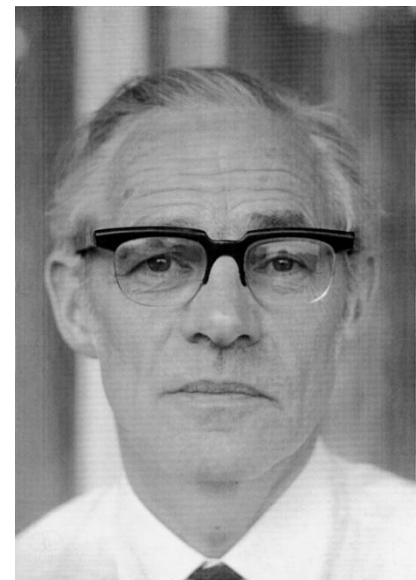
Linus Pauling (1901-1994, dwie Nagrody Nobla: z chemii – 1954 oraz pokojowa – 1962) opowiedział się całym swoim autorytetem za stwierdzeniem, że to są wielokrotne bliźniaki – czyli nic nowego w krystalografii.

„There is no such thing as quasicrystals, only quasi-scientists”



Na rewolucyjne zmiany związane z rezygnacją z symetrii translacyjnej najbardziej otwarci byli matematycy:

- **David Hilbert**, który w 1900 roku wśród 23 podstawowych kierunków badań matematycznych zadał pytanie o istnienie wielościanu, którym można pokryć przestrzeń ale tylko w sposób nieokresowy.
- **Alan L. Mackay**, który już w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku modelował strukturę używając klastrów o zabronionej symetrii.



- **Roger Penrose** i słynne jego nieperiodyczne pokrycie płaszczyzny przy pomocy dwóch elementów (lata 70-te).



Jacek Miękiś, profesor Instytutu Matematyki Stosowanej, Uniwersytetu Warszawskiego, „Dlaczego warto być niepokornym fizykiem” – list do redakcji Wiedzy i Życia, grudzień 2011

„Tymczasem fizycy od zawsze twierdzili i pisali na pierwszych stronach podręczników dla studentów, że każde ciało stałe w niskich temperaturach w równowadze termodynamicznej tworzy jedną z okresowych sieci krystalicznych.

W środowisku matematyków był to tak-zwany Problem Kryształu, dla fizyków nie był to jednak problem.

*Noblista z chemii, **Linus Pauling** powiedział, że nie ma kwazikryształów są tylko kwazinaukowcy. Inny noblista, fizyk **Philip Anderson** poszedł dalej i w swojej książce opublikowanej w 1984 roku przedstawił "dowód", że tylko okresowe rozmieszczenie cząstek w przestrzeni może minimalizować energię oddziaływań między nimi.*

Matematycy dysponowali już wtedy kontrprzykładami.”

Kolejne eksperymenty zaprzeczyły hipotezie bliźniaków - kwazikryształy zostały powszechnie uznane.

W 1991 roku Międzynarodowa Unia Krystalograficzna zmieniła definicję kryształu:

„Kryształem nazywamy każde ciało stałe o istotnie dyskretnym obrazie dyfrakcyjnym”

(rezygnacja z periodyczności!!!)

Historia Konferencji „Quasicrystals”

1986, Les Houches, France
1987, Beijing, China
1989, Vista–Hermosa, Mexico
1992, St. Louis, Missouri, USA
1995, Avignon, France
1996, Kraków (Aperiodic)
1997, Tokyo, Japan
1999, Stuttgart, Germany
2001, Kraków (Aperiodic)
2002, Bangalore, India
2005, Ames, Iowa, USA
2008, Zürich, Switzerland
2010, Sapporo, Japan
2013, Kraków, Poland

ICQ5, Avignon, France, 1995



ICQ7, Stuttgart, Germany, 1999



ICQ9, Ames, Iowa, USA, 2005



90-lecie AGH, Kraków, maj 2009



90-lecie
AGH,
Kraków,
maj 2009



90-lecie AGH
Kraków,
maj 2009





90-lecie AGH,
Kraków,
maj 2009

Dan Shechtman - Awards

2011 Nobel Prize in Chemistry for "the discovery of quasicrystals".

2008 European Materials Research Society (E-MRS) 25th Anniversary Award

2002 EMET Prize in Chemistry

2000 Muriel & David Jacknow Technion Award for Excellence in Teaching

2000 Gregori Aminoff Prize of the Royal Swedish Academy of Sciences

1999 Wolf Prize in Physics.

1998 Israel Prize, for Physics.

1993 Weizmann Science Award

1990 Rothschild Prize in Engineering

1988 New England Academic Award of the Technion

1988 International Award for New Materials of the American Physical Society

1986 Physics Award of the Friedenbergs Fund for the Advancement of Science and Education



Quasicrystals

The Silver Jubilee

October 14 -19, 2007
Tel Aviv, ISRAEL



70-te urodziny Shechtmana, Technion-Haifa, styczeń 2011



http://www.youtube.com/watch?v=7BhghjIJ7TU&feature=player_embedded#!

Konferencja po przyznaniu Nagrody Nobla, 5.10.2011



Konferencja po przyznaniu Nagrody Nobla, 5.10.2011



10 grudnia 2011
Dan Shechtman
otrzymuje Nagrodę
Nobla z chemii
za odkrycie
kwazikryształów

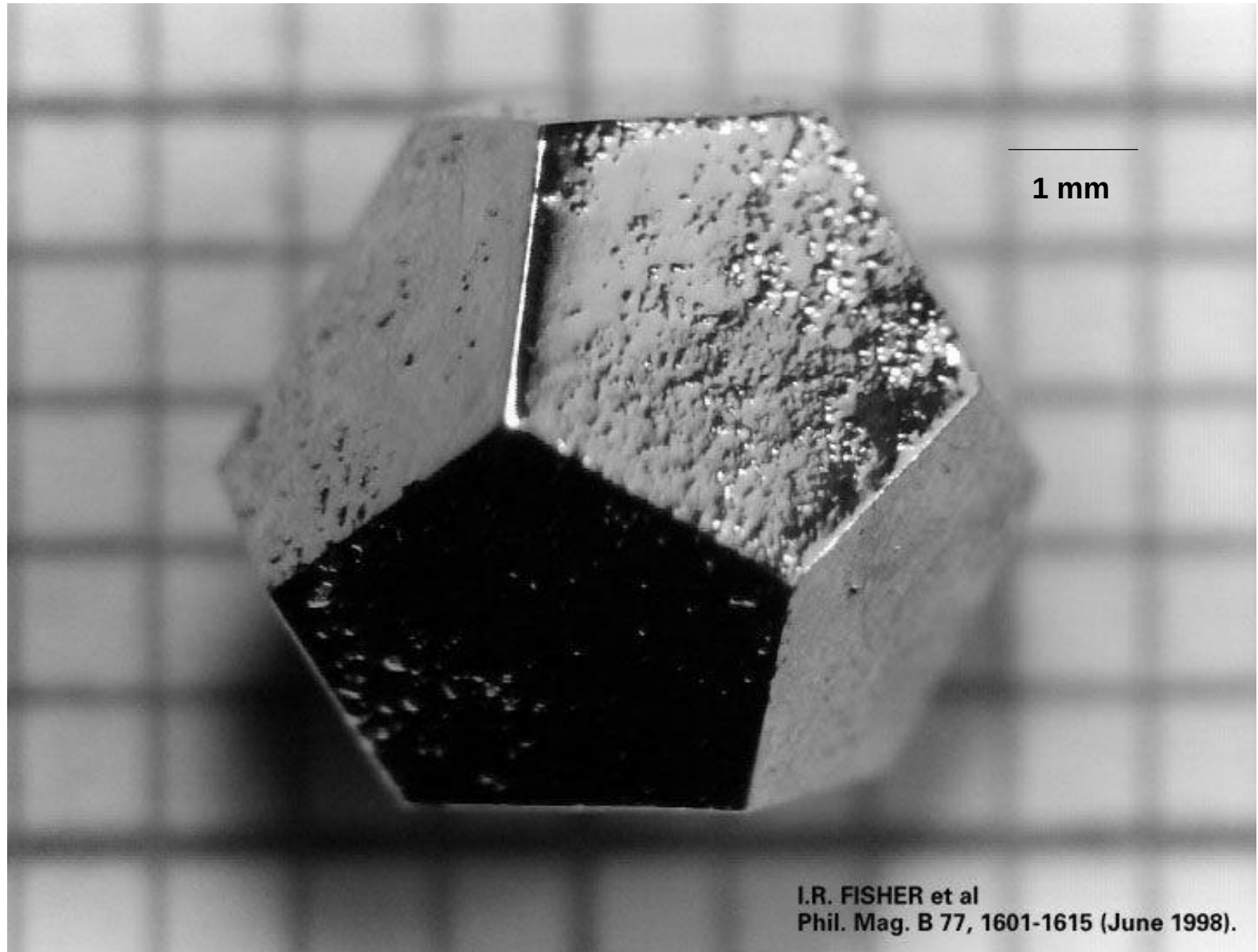


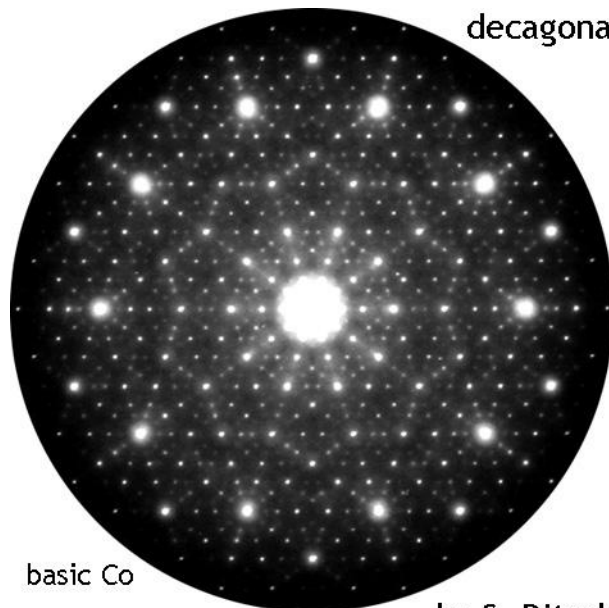
Dan Shechtman

10 grudnia 2011



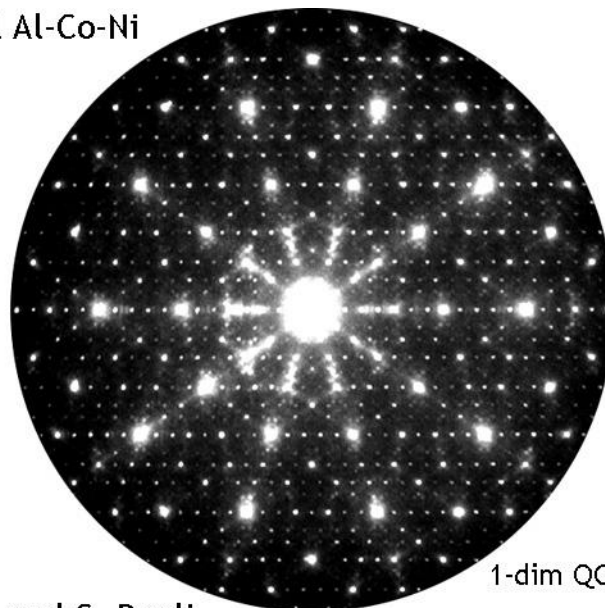
Single-grain sample of icosahedral Ho-Mg-Zn





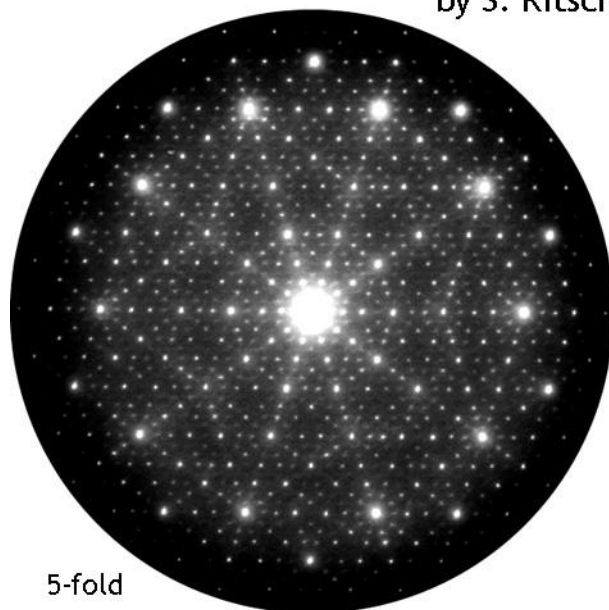
basic Co

decagonal Al-Co-Ni

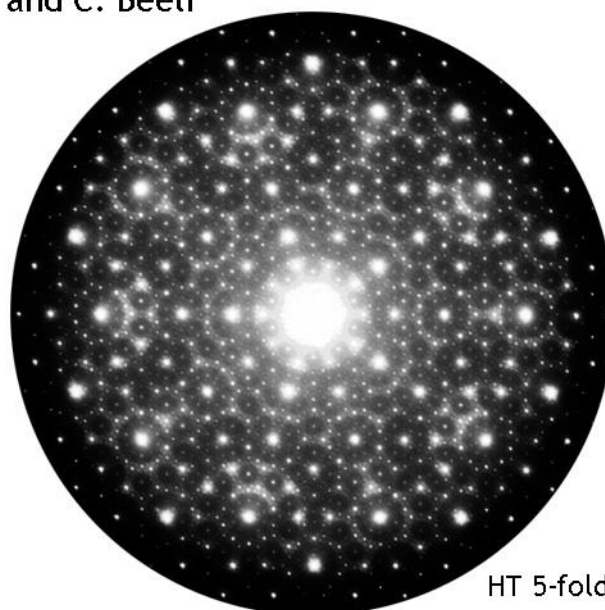


1-dim QC

by S. Ritsch and C. Beeli



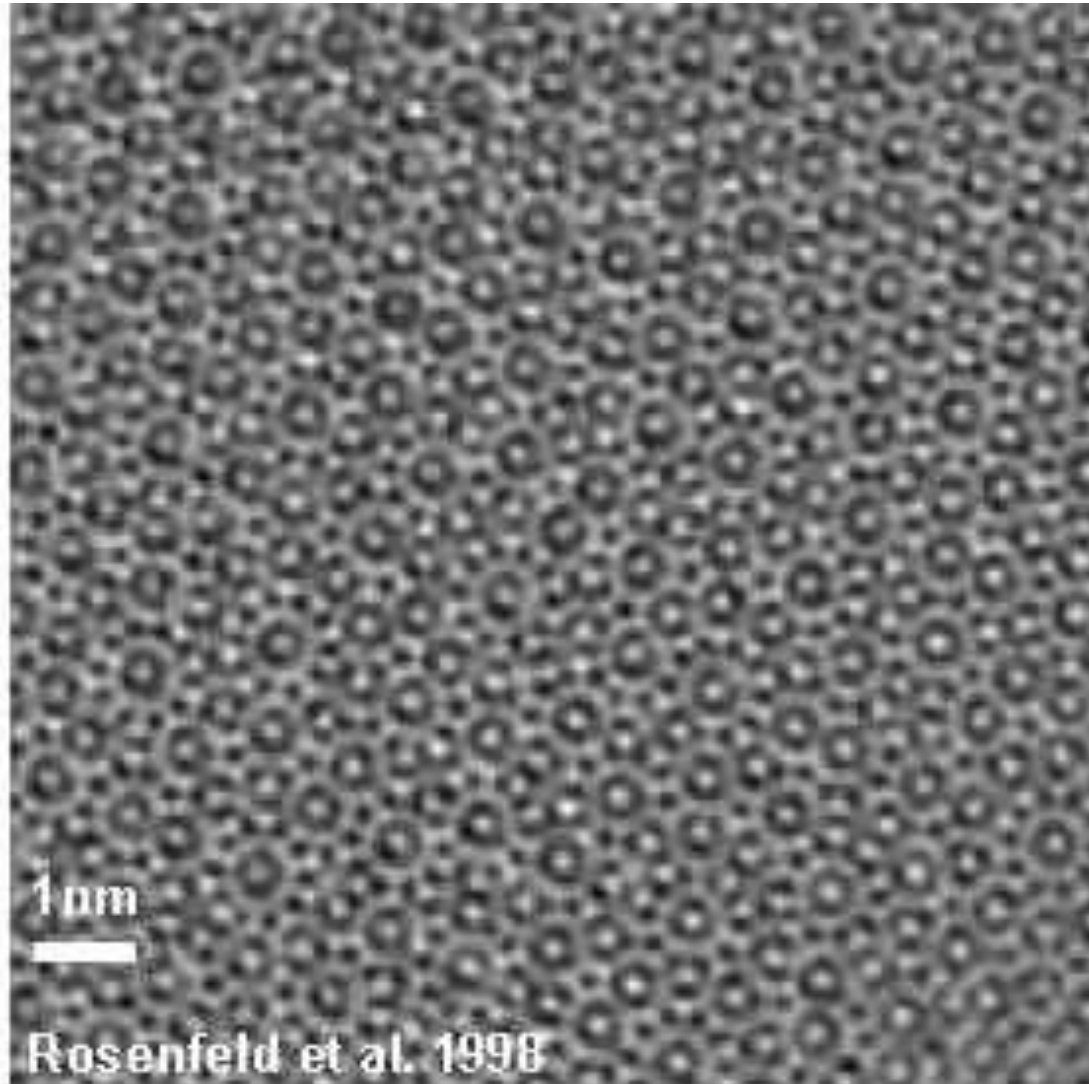
5-fold



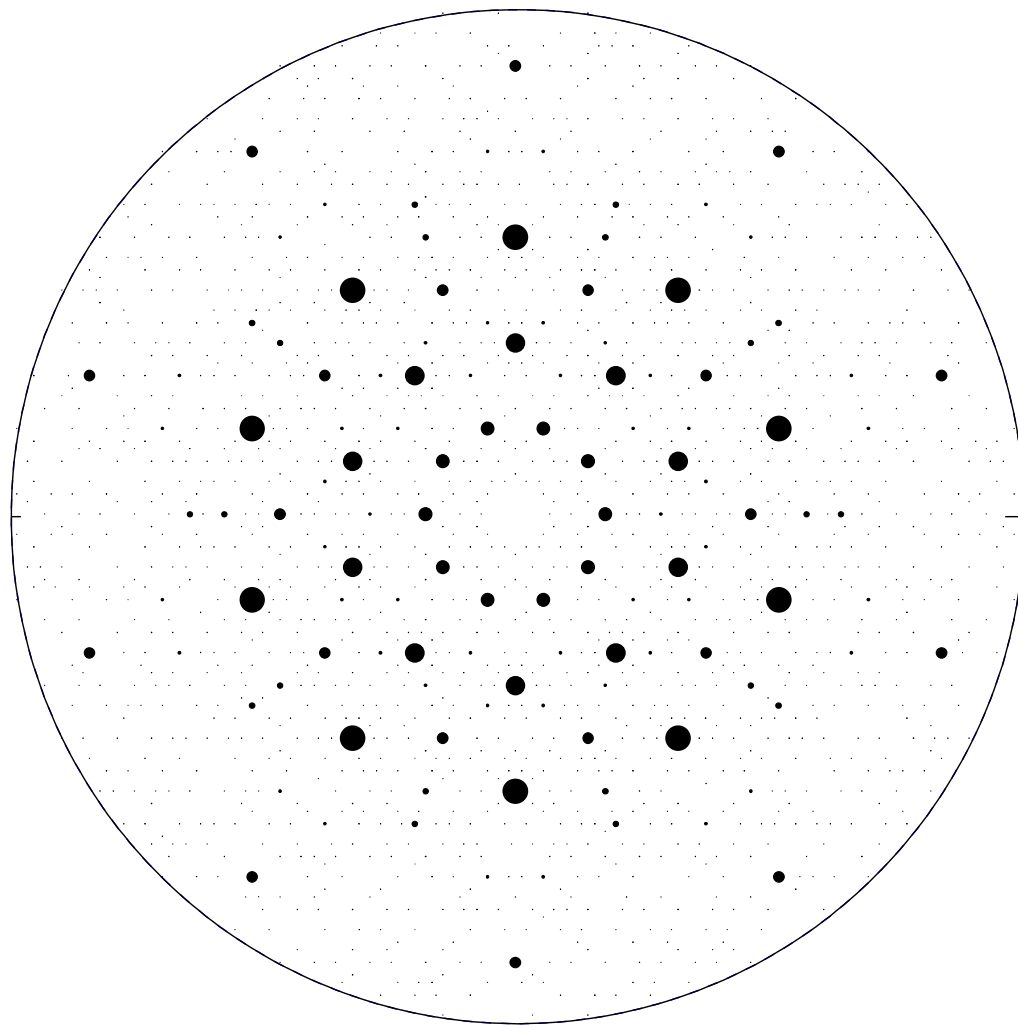
HT 5-fold

Type I superstructure

High resolution transmission microscopy image (phase) of icosahedral Al-Pd-Mn along a fivefold symmetry axis



Obraz dyfrakcyjny dla „monokwazikryształu”
 $\text{Al}_{71}\text{Ni}_{22}\text{Co}_7$ (W. Steurer *ETHZ*)



Refleksja:

Samo odkrycie to dopiero początek długiej drogi do przekonania innych. Walka z „niedowiarkami” jest często o wiele trudniejsza niż odkrycie zjawiska. Gubi nas często brak własnego przekonania o niezwykłości odkrycia.

Zapewne wielu naukowców jeszcze przed Shechtmanem otarło się o kwazikryształy w prowadzonych przez siebie badaniach. Jednak ich wyniki zostały schowane do szuflady.

Dlaczego tylko jemu się udało?

Jakie cechy osobowe pozwoliły mu dostrzec zjawisko i przekonać innych?



Shechtman in high school. 'Wasn't a top student'

Aby poprawnie zinterpretować obrazy dyfrakcyjne
kwazikryształów

**trzeba odrzucić zakładaną a priori
periodyczność struktury!**

Słonecznik – natura też nie preferuje periodyczności



Kwazikryształy w kosmosie

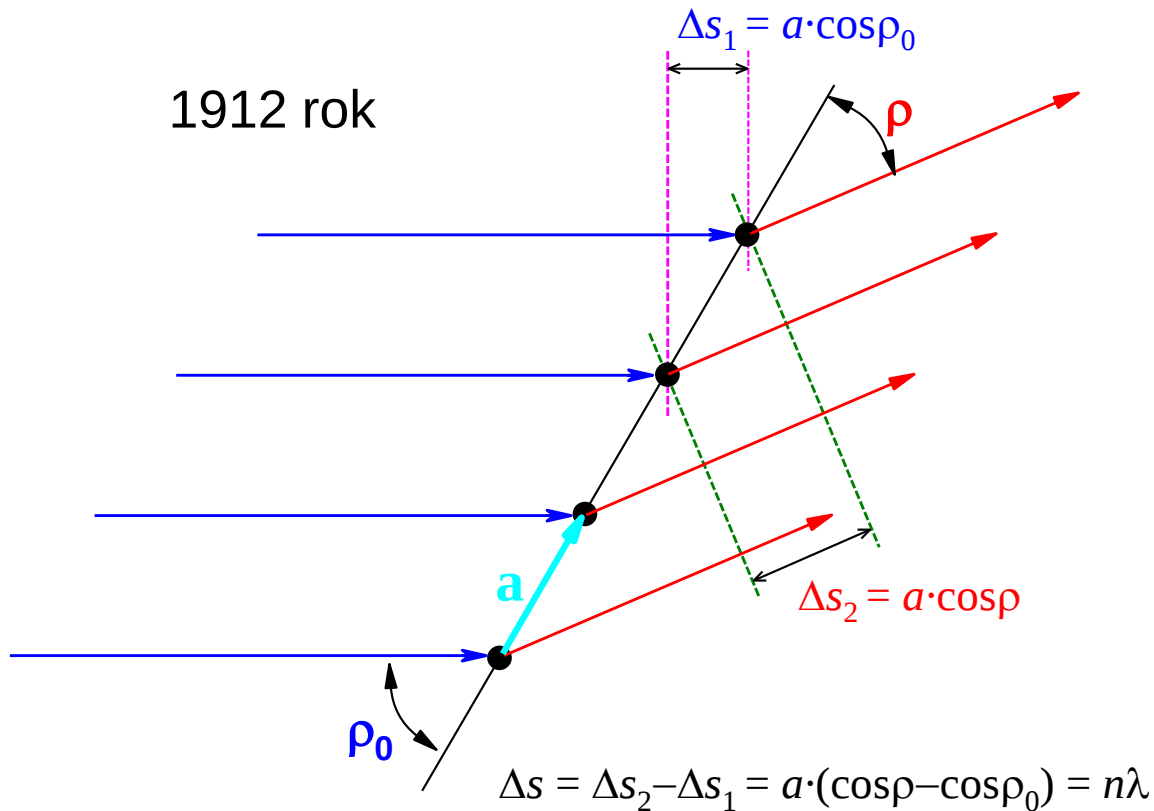
L.Bindi, JM.Eiler, Y.Guan, LS.Hollister, G.MacPherson, PJ.Steinhardt and N.Yao
Evidence for the extraterrestrial origin of a natural quasicrystal,
1396–1401 | PNAS | **January 31, 2012** | vol. 109 | no. 5

„We present evidence that a rock sample found in the Koryak Mountains in Russia and containing icosahedrite, an icosahedral quasicrystalline phase with composition $Al_{63}Cu_{24}Fe_{13}$, is part of a meteorite, likely formed in the early solar system about 4.5 Gya”.

„Корякское нагорье” – dalekowschodnia Syberia

Jak wyjaśnić dyfrakcję na kwazikryształach?

Ze względu na brak periodyczności nie
można stosować koncepcji **Lauego**
(Nagroda Nobla z fizyki w 1914 rok):

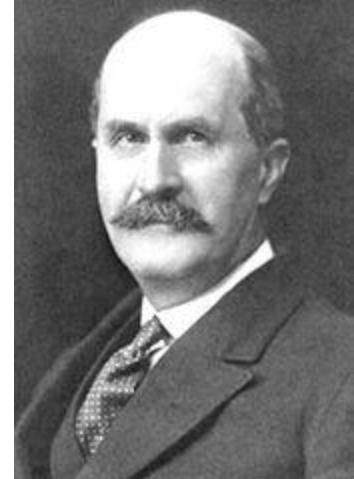


Max von Laue

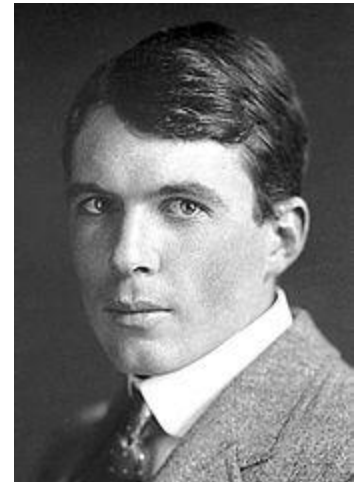
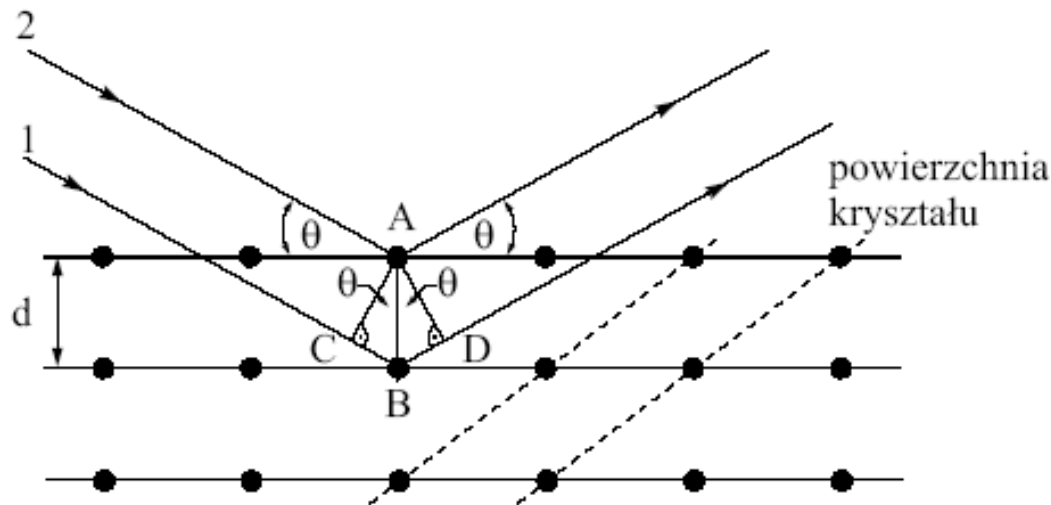
$$\Delta \mathbf{k} = \mathbf{G}_{hkl}$$

Nie można też stosować koncepcji **Braggów**
(Nagroda Nobla z fizyki w 1915 rok)

Prawo Braggów (1913 rok): $n\lambda = 2d \sin(\theta)$



William Henry Bragg



William Lawrence Bragg

Trzy możliwości opisu kwazikryształów:

1. **Przywrócenie periodyczność** poprzez „podniesienie” struktury do wielu wymiarów (tzw. **analiza wielowymiarowa**). } konserwatyści
(stanowią większość)
2. **Rezygnacja z periodyczności** w przestrzeni fizycznej i użycie **metod statystycznych** (tzw. metoda średniej komórki elementarnej). } awangarda
krakowska
3. Przekrywające się **klastry**.

Referat naukowy: J. Wolny – „*Structure Refinement of Quasicrystals in Physical Space*”, a Special Symposium on Quasicrystals Honoring Distinguished Prof. Danny Shechtman on his 70th Birthday, Technion, Haifa-Israel, Jan. 13, 2011.

http://www.youtube.com/watch?v=7BhghjIJ7TU&feature=player_embedded#!

Kwazikryształy na AGH, współpracownicy:

Lucjan Pytlik

Przemysław Repetowicz

Anna Wnęk

Grzegorz Urban

Dariusz Orzechowski

Bartłomiej Kozakowski

Aleksandra Dąbrowska

Michał Duda

Paweł Buczek

Paweł Kuczera

Radosław Strzałka