

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Lubomír Sodomka

Kvazikrystaly změnilý základní zákon krystalografie

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 87 (2012), No. 4, 18–22

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146493>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2012

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Kvazikrystaly změnilý základní zákon krystalografie

*Lubomír Sodomka, Adhesiv, TUL, Liberec*

**Abstract.** In the paper, a new discovery in crystal physics and chemistry is reported. The discovered new structures have been called quasicrystals. The discovery was made by Israeli scientist Daniel Shechtman in the early 1980s. However, at first, Shechtman's discovery was questioned and even ridiculed. Despite initial rejection of his discovery, Shechtman was awarded Nobel Prize in chemistry in 2011.

### Úvod

Přírodní a i některé umělé monokrystaly udivují krásou vyvolanou mimo jiné svou souměrností. Svůj obdiv vyjádřil i Karel Čapek v Anglických listech poklekem před jejich krásou. U krystalů rozlišujeme makroskopickou souměrnost jejich tvarů a nanosouměrnost jejich atomové struktury. K popisu makrosouměrnosti užíváme prvky souměrnosti, kterými jsou střed souměrnosti, rovina souměrnosti a osy souměrnosti (jež mohou být jedno-, dvoj-, troj-, čtyř-, a šestičetné). Pět-, sedmi- a vícečetné osy souměrnosti byly pro anorganické krystaly do druhé poloviny 20. století nepřipustné s výjimkou molekul fullerenu a jejich krystalů. K monokrystalům je kromě makrosouměrnosti ještě třeba připojit nanosouměrnost jako operaci souměrnosti. Šestičetné osy souměrnosti se však běžně vyskytují v biologických soustavách. Objev D. Shechtmana byl v tom revoluční, že objevil pět a vícečetné osy souměrnosti v normálních anorganických látkách, jako jsou dvojné a trojné kovové slitiny, které byly nazvány *kvazikrystaly*. Ukázalo se, že nejsou periodické, mají však uspořádání na dlouhé vzdálenosti. Jejich jednoduchý a stručný popis najde čtenář např. v [1].

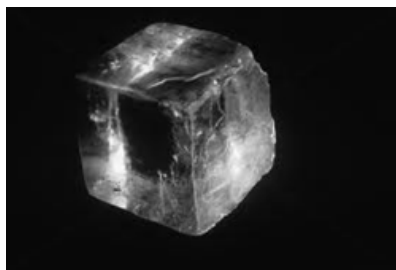
### Struktura a souměrnost krystalů

Přírodní monokrystaly s vyvinutými plochami jsou na první pohled krásné geometrické útvary udivující svou souměrností. Na obr. 1a-d jsou ukázky dvou takových monokrystalů, a to monokrystalu kamenné soli ve tvaru krychle a monokrystalu křemene ve tvaru šestibokého hranolu. Z obr. 1 vyplývá makroskopická souměrnost monokrystalů. Ta se popi-

suje sedmi prvky souměrnosti nazývanými osy souměrnosti, rovina souměrnosti a střed souměrnosti [1, 2, 3]. V dalším se omezíme pro naše úvahy jen na osy souměrnosti. Pro označení jednotlivých os souměrnosti v krystalografii užíváme četnost  $n$  os souměrnosti. Osa souměrnosti je  $n$ -četná, jestliže otočení krystalu o úhel  $\alpha = 2\pi/n$  vede k ztotožnění obou poloh před otočením a po otočení. Jak dokazuje teorie v krystalografii [1, 2, 3], jsou v monokrystalech pro jejich periodicitu a nanoposuv, jakožto prvky souměrnosti, možné jen tyto četnosti os souměrnosti: jedno-, dvoj-, troj-, čtyř- a šestičetné osy souměrnosti, neboť jedině obdélníky, rovnostrannými trojúhelníky, čtverci a pravidelnými šestiúhelníky je možné pokrýt beze zbytku rovinu. To je jednoduchý a názorný důkaz. Podle tohoto zákona anorganické struktury nepřipouštějí pětičetnou, sedmičetnou osu ani vyšší osy souměrnosti.



Obr. 1a: Drúza NaCl



Obr. 1b: Monokrystal NaCl



Obr. 1c: Drúzy monokrystalů křemene



Obr. 1d: Drúzy monokrystalů křemene

### Kvazikrystaly

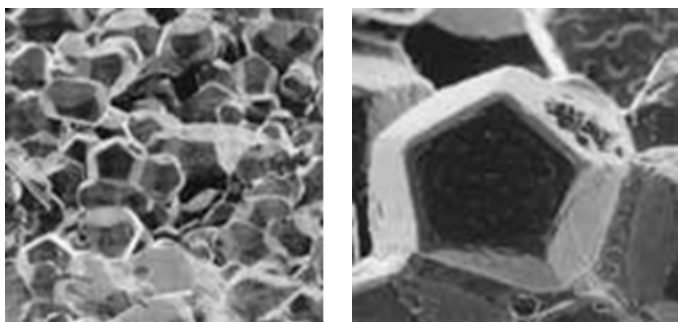
Při objevu kvazikrystalů šlo o zjištění, že pětičetnou osu souměrnosti mohou mít i anorganické struktury, která není neobvyklá v organickém

světě, zvláště ve světě rostlin, jak ukazují květy na obr. 2.



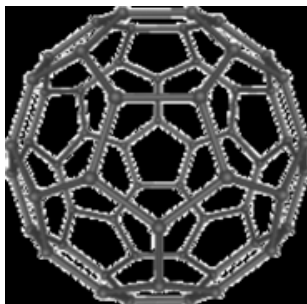
Obr. 2: Pětičetná osa souměrnosti na květech drchničky modré a lnu

Objev kvazikrystalů patří mezi objevy nepředpokládané a překvapující, zvláště když odporoval krystalografickému zákonu o souměrnosti krystalů. Objev začínal běžnými technologickými pokusy přípravy dvojných a trojných slitin kovů Al, Fe, V, Ti, Mn, Ni, Hg, Zn, Cr a dalších, i nekovů jako Si, F apod. Při přípravě takových slitinových sloučenin se objevily až desetimilimetrové krystaly, jak ukazuje obr. 3, kde je ještě monokrystal zvětšený. Z obr. 3 jsou na první pohled viditelné plochy pravidelných pětiúhelníků s jasnou pětičetnou osou souměrnosti.



Obr. 3: Krystaly slitiny s pětičetnou osou souměrnosti

V roce 1985 byla objevena pětičetná osa souměrnosti na kulových uhlíkových molekulách nazývaných fullereny. Vyobrazení molekuly fullerenu je na obr. 4. Na něm také pozorujeme pětičetnou osou souměrnosti, přestože jde o anorganickou molekulu. Za objev fullerenu byla udělena Nobelova cena za fyziku pro rok 1996 ([5] až [9]). Na fullerenu se ukázalo, že pětičetná osa souměrnosti není vyloučená ani u anorganických látek.

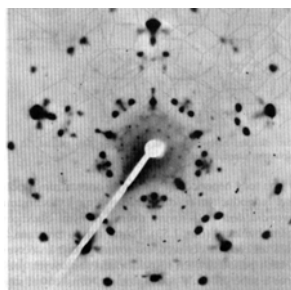


Obr. 4: Fullerenová molekula

V roce 1982 se podařilo vypěstovat ze slitin kovů D. Shechtmanovi monokrystaly, které jevíly pětičetnou osu makroskopické souměrnosti (obr. 3). Že mají tyto krystaly i nanoskopickou souměrnost, dokázal Shechtman rentgenovou difrakcí, pořízením laueogramů na těchto krystalech. Jeden z nich je vidět v pozadí na obr. 5 s detailním snímkem na obr. 6.



Obr. 5: D. Shechtman při přednášce o kvazikrystalech



Obr. 6: Laueogram kvazikrystalu

Objev kvazikrystalů s jejich pětičetnou osou souměrnosti přivedl krystalografy k nové definici krystalů. V kvazikrystalech neexistuje translační souměrnost, existuje v nich však uspořádání na dlouhé vzdálenosti. Na tomto základě došlo k nové definici krystalů jako látek, jejichž monokrystaly mají laueogramy kromě dvoj-, troj-, čtyř- a šestičetné osy souměrnosti také souměrnost s pěti-, deseti-, dvanácti- a vícečetnou osou souměrnosti, tj. když laueogramy mají těžkovanou strukturu jako na obr. 6. Tak byly i kvazikrystaly zařazené do třídy krystalů a pevných látek a rentgenová difrakce se stala jediným kritériem při definici krystalů a významným prostředkem k jejich nové definici.

I když kvazikrystaly na první pohled nepřinesly převratné změny v aplikacích, přesto vykazují řadu zajímavých vlastností. Jsou tvrdé a křehké. Mají vynikající tepelně izolační vlastnosti. Užívá se jich ke konstrukci zvláštních LEDů, jejich termoelektrických vlastností pak k přeměně elektrické energie v teplo, jejich tepelně izolační vlastnosti k izolaci spalovacích motorů. Špatných smáčecích vlastností jejich povrchů, tzv. lotosového jevu, se využívá ke konstrukci pánví na pečení obchodní značky Cybernox. Je vidět, že věda se tlačí i do domácnosti.

Představitelé kvazikrystalů nejsou žádné exotické látky, ale dvojné, či trojné slitiny hliníku, manganu, železa a titanu (Al-Mn, Al-Cu-Fe, Ti<sub>2</sub>-Mn, Al<sub>4</sub>-Fe a další), které není problematické vyrábět. Dokonce se našla i kvazikrystalická látka v přírodě v ruské řece mnohem dříve před jejich objevem, a přesto se věda dočkala jejich objevu až v roce 1982, i když náznaky o existenci kvazikrystalů najdeme popsané již u Pissano Fibonaccia z roku 1202 [11]. První literární publikaci o získání kvazikrystalů najdeme v [10]. Podrobněji se lze poučit o kvazikrystalech v [11] a o symetrii krystalů např. v [12] a [13].

## Literatura

- [1] [sodomkalubomir.blog](#)
- [2] Sodomka, L.: *Rentgenová difraktografie pevných látek*. SNTL, Praha, 1960.
- [3] Sodomka, L., Fiala, J.: *Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi 1,2*. Adhesiv, Liberec, 2002, 2003.
- [4] Google: *Krystaly, souměrnost krystalů*.
- [5] Sodomka, L., Sodomková, Mag.: *Nobelovy ceny za fyziku*. SetOut, Praha, 1997.
- [6] Sodomka, L., et al.: *Kronika Nobelových cen I, II*. Adhesiv, Liberec, 2002.
- [7] Sodomka, L., et al.: *Kronika Nobelových cen*. Knižní Klub, Praha, 2004.
- [8] Sodomka, L., Sodomková, Mag.: *Nobelovy ceny za fyziku*. Oeljarbook, 2012, v tisku.
- [9] Weinlich, R.: *Laureáti Nobelovy ceny za fyziku*. ALDA, Olomouc, 1998.
- [10] Shechtman, D., et al.: *Phys. Rev. Letters* **53** (1984), str. 1951.
- [11] Kvazikrystaly. Google: [Nobelprizes.org/chemistry](http://Nobelprizes.org/chemistry), 2011.
- [12] Sodomka, L.: *Základy fyziky pro aplikace a nanotechnologii*. Adhesiv, Liberec, 2012, na CD.
- [13] Sodomka, L., Fiala, J.: *Fyzika a chemie kondenzovaných látek 1, 2*. Adhesiv, Liberec, 2002, 2003.