

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Lubomír Sodomka

Iontové coulombovské krystaly rozšiřují uspořádané struktury

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 93 (2018), No. 3, 9–12

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/147462>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2018

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>

## Iontové coulombovské krystaly rozšiřují uspořádané struktury

*Lubomír Sodomka, Adhesiv, Liberec*

**Abstract.** The article reports a new discovery in crystal physics and chemistry. The newly discovered structures have been called ion coulomb crystals. The basic elements of crystal structure are equally charged atoms or molecules represented by strong repulsive forces.

### Úvod

Přírodní i umělé monokrystaly udivují pozorovatele krásou tvarů i souměrností. Krystaly mají souměrnost jednak posuvnou, jednak rotační. Podle úhlu otočení jde o osu jednočetnou, s úhlem otočení  $2\pi$ , dvojitou, s úhlem otočení  $2\pi/2 = \pi$ , až šestičetnou, s úhlem otočení  $2\pi/6 = \pi/3$ . Četnost osy se obecně označuje  $n$  a pro běžné krystaly je  $n = 1, 2, 3, 4, 6$ . Četnosti 5, 7, ... se u klasických krystalů nevyskytují. O krystalech je v českém jazyce k dispozici dostatek literatury, lze např. uvést [1].

Ukazuje se, že pětičetnou osu souměrnosti je možné pozorovat na biologických soustavách. D. Shechtman však učinil objev, že existují pětičetné osy a osy s vyšší četností i pro normální anorganické látky, jako jsou dvojná a trojná kovové slitiny. Poněvadž se liší od normálních krystalických struktur částečnou ztrátou posuvné souměrnosti a protože se tím ztratily i některé souměrnostní vlastnosti normálních krystalů, byly nazvány tyto souměrné struktury *kvazikrystaly* [2]. Za objev kvazikrystalů byla udělena Nobelova cena.

Je třeba podotknout, že souměrnost je natolik obecná vlastnost, že se vyskytuje a je rozšířená ve všech oborech lidské činnosti. Nejznámější materiály, které jeví makroskopickou souměrnost, jsou textilie, jako tkaniny a pleteniny, které jsou však jen dvojrozměrné. Mají však i takové vlastnosti krystalů, jako je anizotropie, která se matematicky popisuje tenzory, jež jsou také dvojrozměrné.

Dvojrozměrná struktura v atomovém měřítku byla objevena nedávno na dvojrozměrné struktuře atomů uhlíku, grafenu, který objevili dva vědci ruského původu A. Geim a K. Novoselov a v roce 2010 získali za tento objev Nobelovu cenu za fyziku. Grafen tvoří šestiúhelníkovou síť

v rozměrech kvantové fyziky. V makroskopických rozměrech tvoří uspořádané struktury tkaniny, které lze chápat jako modely dvojrozměrných struktur. Při současných technologiích nanovláken [3] je možné vytvořit dokonce uměle dvojrozměrné struktury v podobě nanovláknových tkanin s mřížkovou konstantou kolem 5 nm.

Vytvoříme-li z 5nanometrových nanovláken nanotkaninu s mřížkovou konstantou 7 nm, dostaneme na  $1 \text{ cm}^2$  čtvercovou tkaninu s počtem  $N = 2 \cdot 10^{11}$  vazných bodů, což je obrovský počet vazných bodů na  $1 \text{ cm}^2$ . Uvážíme-li, že každý vazný bod se může stát diodou, měli bychom k dispozici obrovský počet elektronických prvků v  $1 \text{ cm}^2$ , což dává do budoucnosti možnosti miniaturizace elektroniky za využití nanovláken.

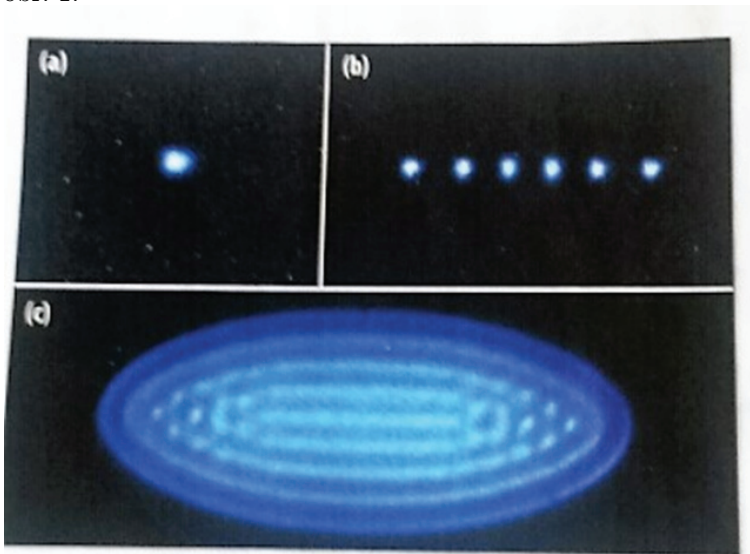
Vývoj v krystalografii se však nezastavil a byly objeveny další krystalové struktury. Uspořádání v krystalech mohou vytvořit i elektrony a taková uspořádání se podle objevitele, maďarského fyzika E. Wignera, nazývají Wignerovy krystaly. Tím však nebyly ještě krystalové struktury uzavřeny. Objevily se otázky o vzniku dalších krystalových struktur, jejichž základními součástmi jsou nabitě atomy a molekuly se stejnými náboji. Takové částice se vzájemně velmi silně odpuzují, takže uspořádat je do krystalových struktur vyžaduje nové objevy. To se skutečně podařilo D. J. Winelandovi, který získal za tento objev v roce 2012 Nobelovu cenu za fyziku. Tak došlo k doplnění soustavy uspořádaných struktur o další krystaly, nazvané *iontové coulombovské krystaly* (ICK).

## Generování iontových coulombovských krystalů

Na první pohled se zdá vytvoření složitějších struktur, až krystalů, ze shodně nabitých částic jako nemožné díky působení silných odpudivých sil mezi částicemi, a přesto se to podařilo s využitím kvantové fyziky. Bez využití znalostí a zákonitostí kvantové fyziky by nebylo možné vytvořit jejich kvantové soustavy a ty pak využít pro kvantové počítače, kvantovou logiku, nízkoteplotní řízenou chemii a další dosud neznámá zařízení.

Překonání odpudivých sil při tvoření soustavy nabitých atomů a molekul vyžaduje využití vnějších sil. Ze základů fyziky můžeme uvažovat vytvoření dutin k uložení těchto částic a působení vnějších sil, aby udržely stejně nabitě částice pohromadě. To znamená vytvoření mikrobublinek v látce, které by se staly pastmi pro nabitě částice, a využití vnějších sil na vyrovnání sil odpudivých. Z klasické fyziky to mohou být síly stlačitelnosti, povrchové síly mikrobublinek a dále vnější elektromagnetické síly. Na nabitě částice pak musíme působit nízkými teplotami, několik

desetin nad absolutní nulou, které zmenší rychlosti nabitých částic. Tak se podařilo vytvořit z iontů kulové izolované částice, ty pak uspořádat v lineární mřížku nebo dokonce i v prostorové útvary, jak jsou znázorněné na obr. 1.



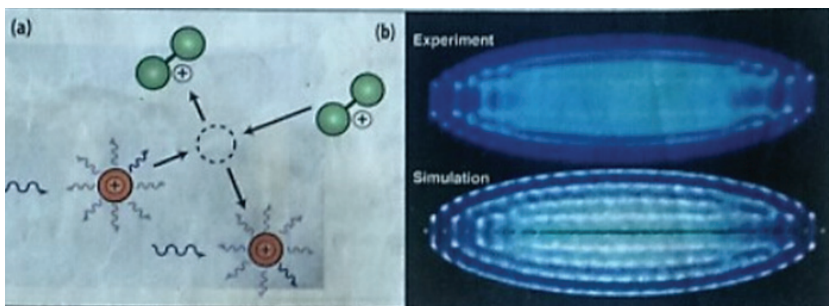
Obr. 1: a) ICK bublina, b) lineární ICK struktura, c) prostorový ICK

Chceme-li získat iontové coulombovské krystaly, je třeba iontové atomy či molekuly chladit na teplotu několika tisícín Kelvinů, aby potenciální energie iontů převyšovala jejich kinetickou energii 170krát. K tomu je třeba silného chlazení, což se provádí laserem. Laserové chlazení je účinné pouze pro některé ionty, jako např. ionty hořčíku, vápníku, barya a další. Mechanismus sdružování nabitých atomů či molekul ve složitější struktury spolu s ozařováním laserem je patrný z obr. 2 [3].

### Použití iontových coulombovských krystalů

Zachycené ionty se staly prvními mikročásticemi, na nichž bylo ověřeno laserové chlazení v roce 1970. Obrovský vědecký rozvoj využití ICK nastal, když v roce 1990 I. Cirac a P. Zoller ukázali, že lineární krystalová mřížka ICK se stala základem kvantového počítače. Kromě toho kvantová simulace dynamických soustav je právě řešitelná užitím ICK. Možnost izolace jednotlivých nabitých částic v zachytných bublinách a

řízení jejich pohybů a vnitřních kvantových stavů umožnila vytvořit superpřesné časové standardy. Přesné hodiny jsou založeny na měření elektronových přechodových frekvencí zachycených atomových iontů. Poněvadž tyto přechody mají frekvence světla a ultrafialového záření, přesahují přesnost atomových hodin pracujících na měření v radiofrekvenční oblasti.



Obr. 2: a) Mechanismy silového působení mezi nabitými atomy a molekulami, b) vyhodnocení experimentálně vytvořeného ICK a jeho počítačová simulace

Využívání ICK při nízkých teplotách umožňuje určovat účinky sil při chemických reakcích, a stane se tak důležitou technikou při určování typů chemických reakcí, což je dlouholetý sen chemiků.

A je otázkou, zda jsou již všechny krystalové struktury objevem iontových coulombovských krystalů vyčerpány.

#### Literatura

- [1] Sodomka, L., Fiala, J.: *Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi* 1, 2. Adhesiv, Liberec, 2002, 2003.
- [2] Sodomka, L.: *Rentgenová difraktoografie pevných látek*. SNTL, Praha, 1960.
- [3] Sodomka, L.: Kvazikrystaly změnily základní zákon krystalografie. *Rozhledy matematicko-fyzikální*, roč. 87 (2012), č. 4, s. 18–22.
- [4] Dulieu, O., Willitch, S.: Ion Coulomb Crystals, from quantum technology to chemistry close to the absolute zero point. *Europhysics News*, roč. 48 (2017), č. 2, s. 17–20.