

6. Bublínkový kryštál

Mária Kieferová

Zadanie

6. Bublincový kryštál

Veľké množstvo podobných veľmi malých bubliniek pláva na povrchu mydlovej vody. Bublinky sa usporiadajú a vytvoria pravidelný vzor podobný kryštalickej mriežke. Navrhnite metódu výroby bubliniek podobnej veľkosti a preskúmajte vznik takýchto bublincových kryštálov

Zadanie

6. Bublincový kryštál

Veľké množstvo podobných veľmi malých bubliniek pláva na povrchu mydlovej vody. Bublinky sa usporiadajú a vytvoria pravidelný vzor podobný kryštalickej mriežke. *Navrhните metódu výroby bubliniek podobnej veľkosti a preskúmajte vznik takýchto bublincových kryštálov*



Bublinkový kryštál

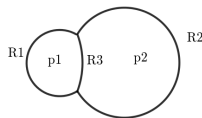
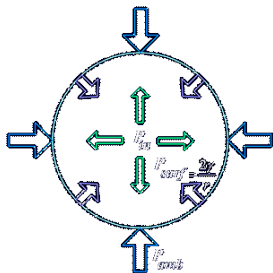
- 1 tvorba bubliniek a ich priľahovanie sa
- 2 pravidelné štruktúry - kryštál
- 3 *defekty*
- 4 *rekryštalizácia*
- 5 Challenge: 3D kryštály

Povrchové napätie

Young-Laplace

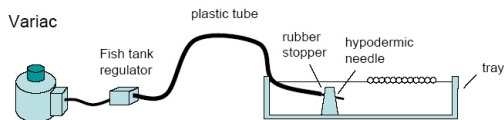
$$\Delta p = \frac{4\sigma}{R}$$

minimalizuje sa povrch,
povrchová energia



Tvorba bubliniek

- vhodná, stabilná koncentrácia saponátu
- menšie bublinky sú stabilnejšie



<http://homepages.cae.wisc.edu/~stone/bubble%20raft%20movies.htm>

A Dynamical Model of a Crystal Structure, L. Bragg; J. F. Nye, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences

Vznik kryštálu

Plávajúce bublinky sa na krátkych vzdialenostiach priťahujú

http://en.wikipedia.org/wiki/Cheerios_effect

Potenciál medzi bublinami

$$U = -\pi R^4 \rho_{sol} g \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 AK_0(\alpha\rho) + \begin{cases} 0 & \rho \geq 2 \\ \pi R^4 \rho_{solution} g \left(\frac{(2-\rho)^2}{\alpha^2} \right) & \rho \leq 2 \end{cases}$$

Prva časť dáva príťažlivú silu a druhá odpudivú
 ρ pomer vzdialeností medzi bublinami a polomeru bublín

[http:](http://en.wikipedia.org/wiki/Bubble_rafts)

[//en.wikipedia.org/wiki/Bubble_rafts](http://en.wikipedia.org/wiki/Bubble_rafts)

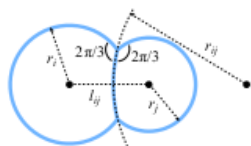
Model kryštálu

Sily medzi bublinkami pripomínajú medziatómové sily (Lenard-Jones potenciál)
-príťažlivé na dlhých vzdialenostiach a odpudivé na malých

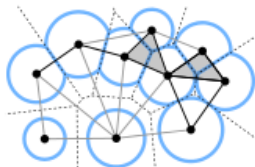
Bublínový kryštál sa správa podobne ako kryštalické látky

Plateauov zákon

Bubliny sa stretávajú pri uhle 120 stupňov (2 steny)
alebo $\cos^{-1}(-1/3) \approx 109^{\circ}28'16''$ (4 steny, 3D)



(a) Two bubbles resting in the Plateau equilibrium. The interfacial film between bubbles is a spherical patch with radius r_{ij} .



(b) A weighted Voronoi diagram (dotted), Delaunay complex (solid edges), space-filling diagram (blue curves), and alpha complex (dark edges and triangles).

Figure 2: Bubble and foam configuration.

O. Busaryev, T. K. Dey, H. Wang, and R. Zhong.
Animating bubble interactions in a liquid foam.
ACM Trans. Graphics 31, 4 (2012),

Plateauov zákon

Bubliny sa stretávajú pri uhle 120 stupnov (tri steny)
alebo $\cos^{-1}(-1/3) \approx 109^{\circ}28'16''$ (4 steny, 3D)

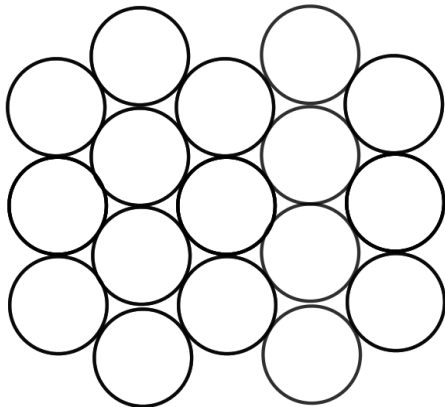
Teoretický výsledok pre minimalizáciu plochy
ideálnych bublin

[http://mathworld.wolfram.com/
PlateausLaws.html](http://mathworld.wolfram.com/PlateausLaws.html)

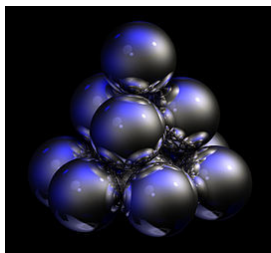
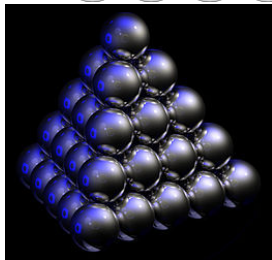
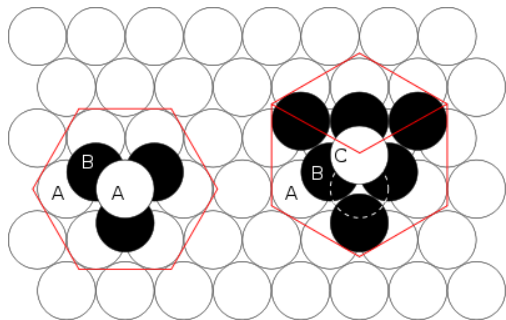
Taylor, J. E. "The Structure of Singularities in
Soap-Bubble-Like and Soap-Film-Like Minimal
Surfaces. *Ann. Math.* 103, 489-539, 1976.

Kryštalické mriežky

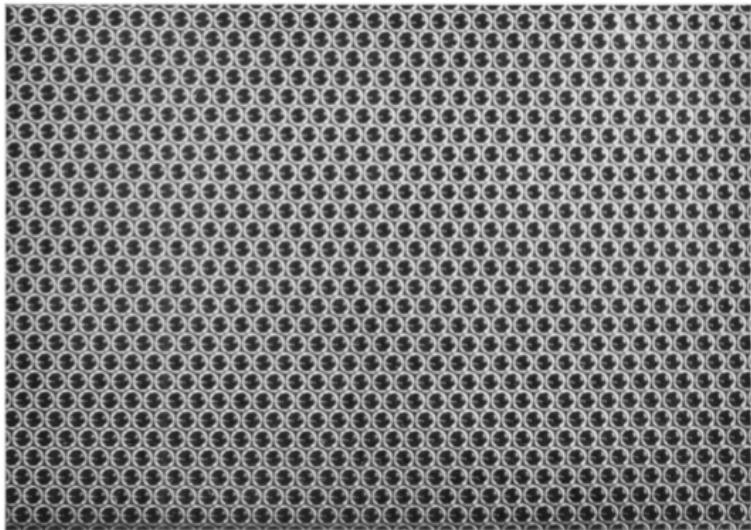
Rovnaký polomer, steny sa stretávajú pod uhlom 120°



Kryštalické mriežky



Perfektný kryštál



Defekty v kryštáloch

- vakencie - chýbajúca bublinka
- prímesy - väčšia, menšia bublina
- dislokácie - posunuté hrany, vznik novej hrany
- hranice zrn

Hranice zrn

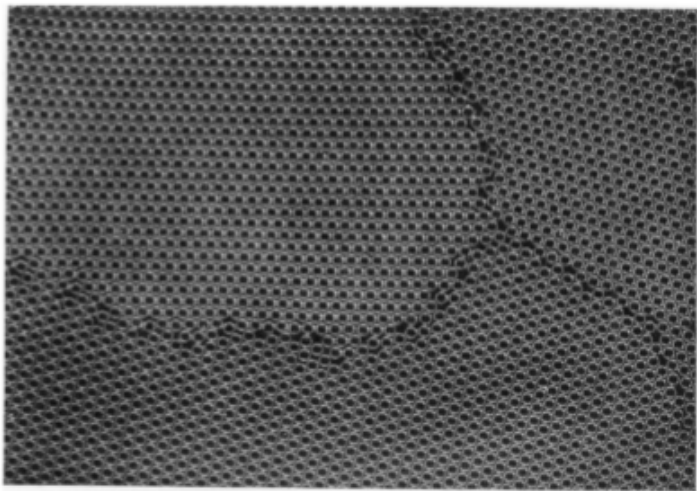


FIGURE 5*b*. Diameter 0.76 mm.

Hranová dislokácia

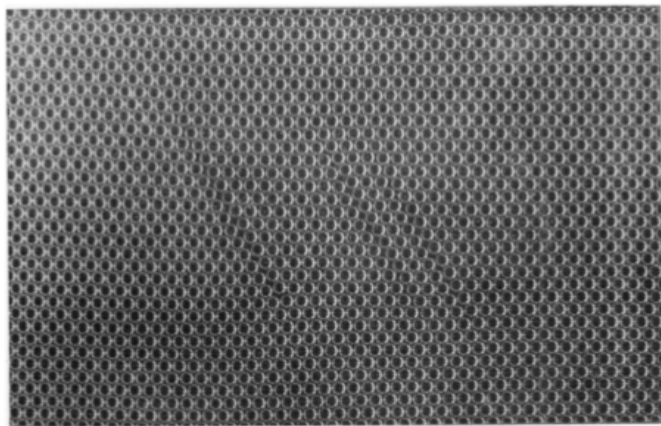


FIGURE 7. Parallel dislocations. Diameter 0.76 mm.

Dislokácia

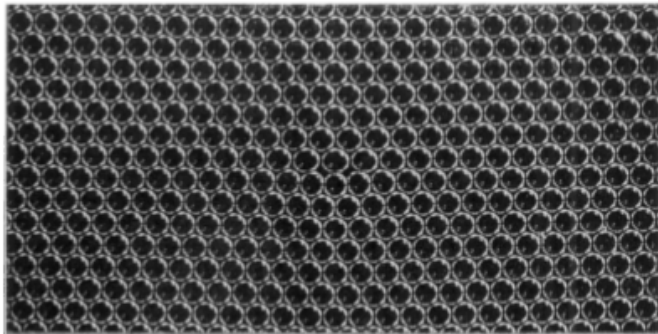
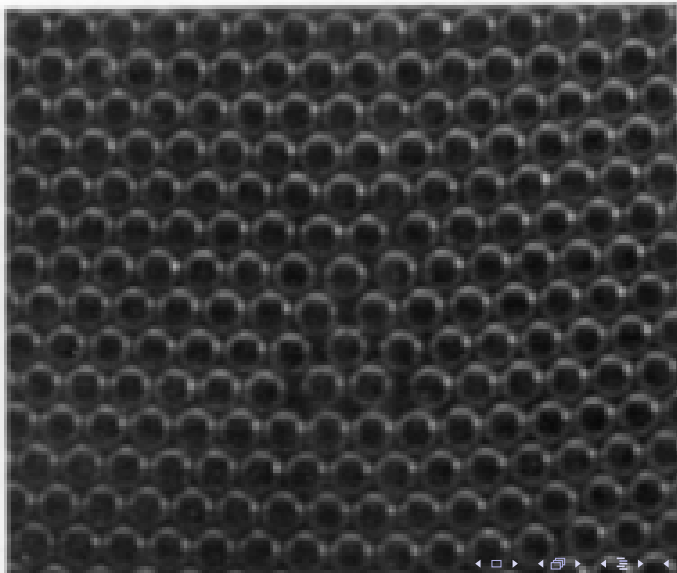


FIGURE 6a. A dislocation. Diameter 1.9 mm.

Vakancia



Rôzna veľkosť

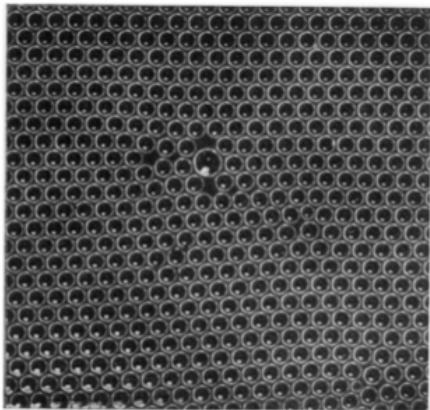
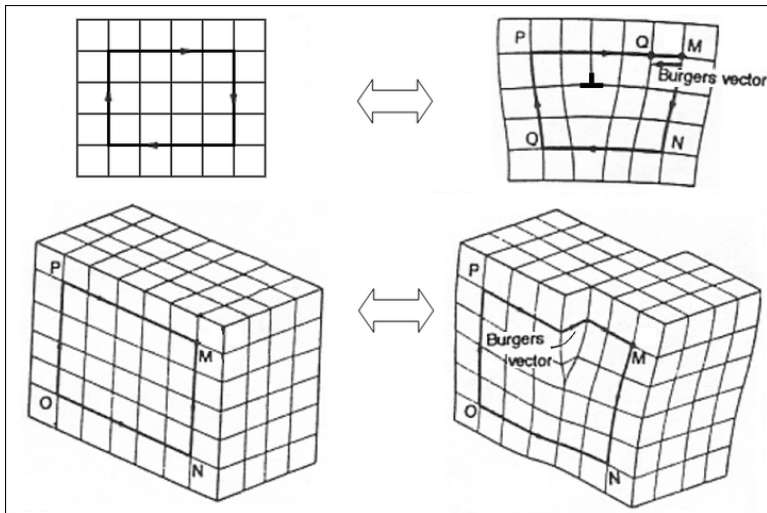


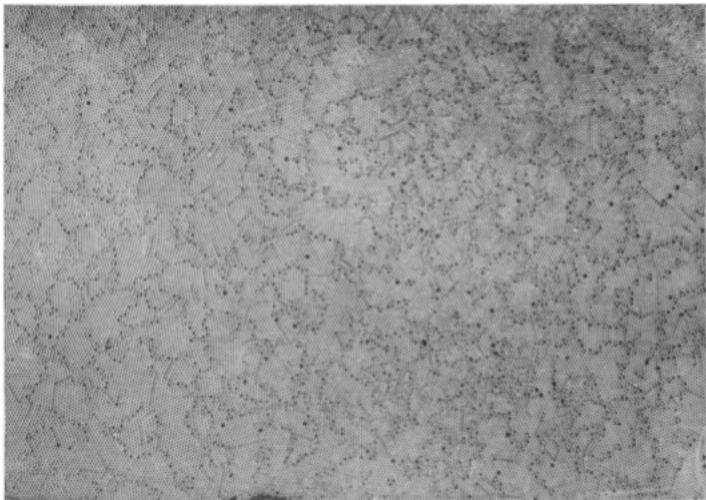
FIGURE 14. Effect of atoms of impurity. Diameter of uniform bubbles about 1-3 mm.

Charakteristika dislokácii

Burgersov vektor



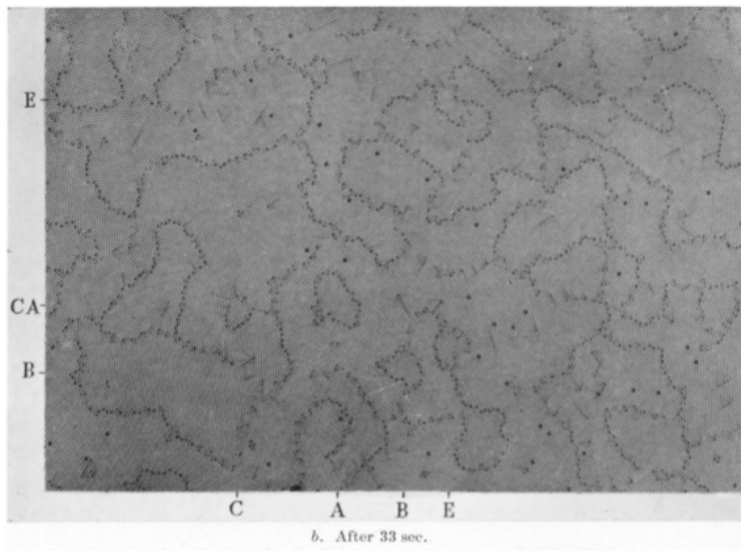
Kryštalizácia



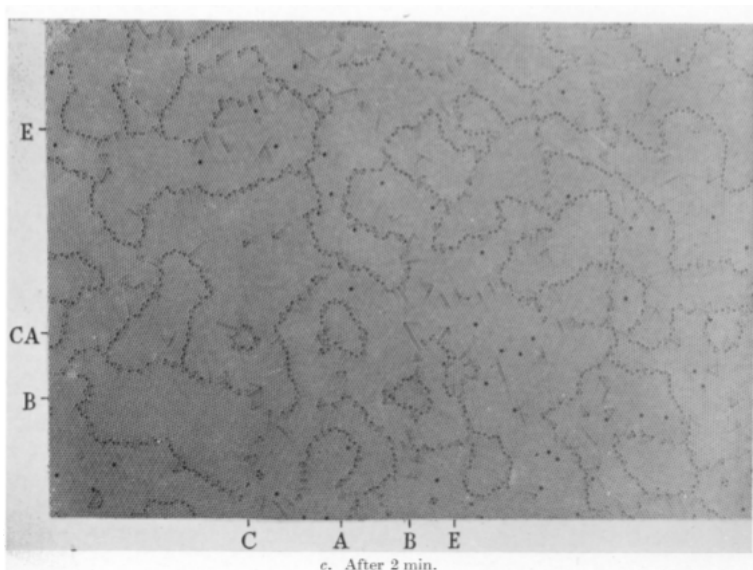
a. Immediately after stirring.

FIGURE 12. Recrystallization. Diameter 0-60 mm.

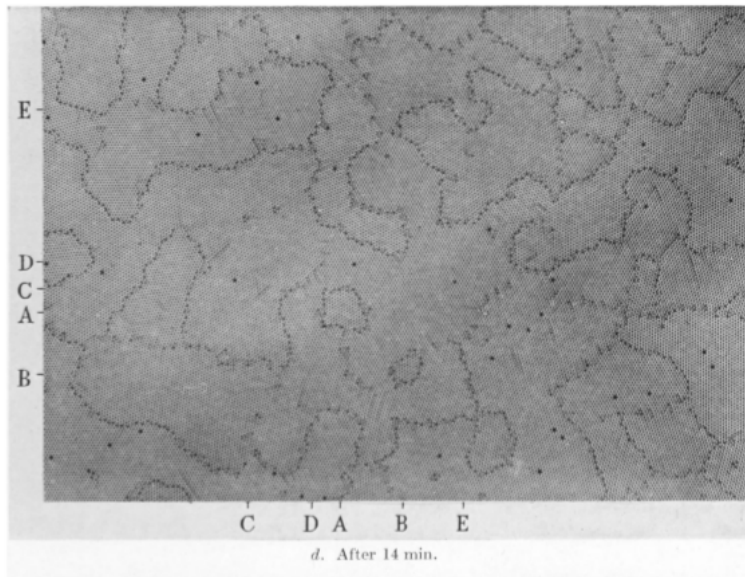
Kryštalizácia



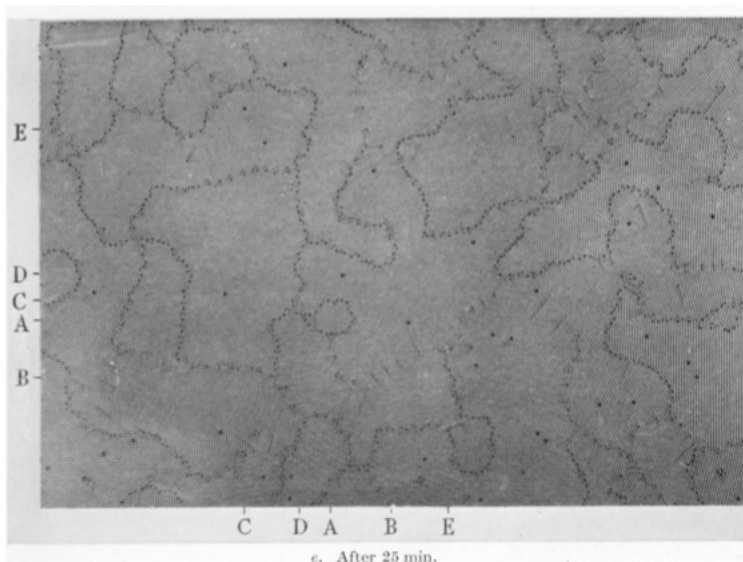
Kryštalizácia



Kryštalizácia



Kryštalizácia



Literatúra

Google "bubble raft praktiká z rôznych univerzít
[http://homepages.cae.wisc.edu/~stone/
bubble%20raft%20movies.htm](http://homepages.cae.wisc.edu/~stone/bubble%20raft%20movies.htm)

A Dynamical Model of a Crystal Structure, L. Bragg;
J. F. Nye, Proc. R. Soc. of Lon. Series A, Mathematical
and Physical Sciences

A Dynamical Model of a Crystal Structure. II,
Lawrence Bragg and W. M. Lomer, Proc. R. Soc.
Lond. A 1949 196