

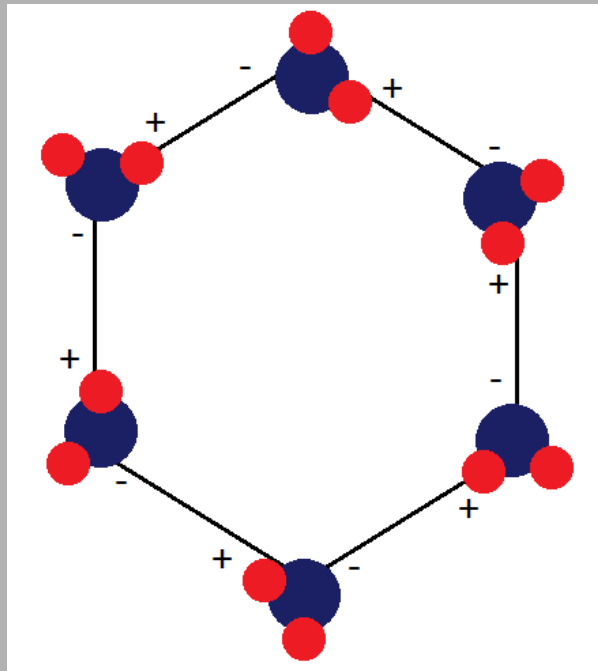
Técnicas experimentais de crescimento fractal

Tiago de Souza Farias
tiago939@gmail.com

Não há dois flocos de neve iguais

Estrutura da água

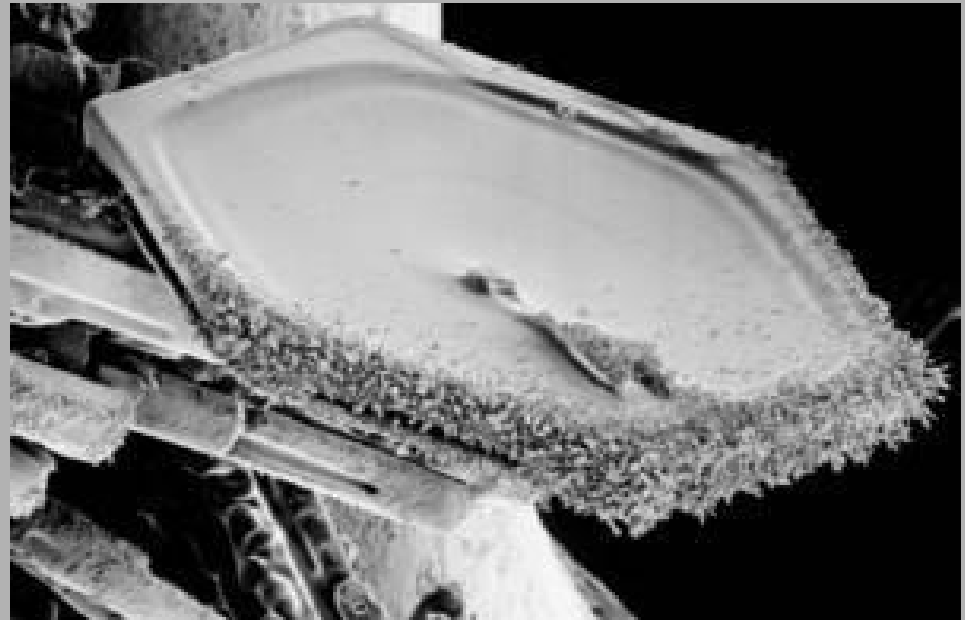
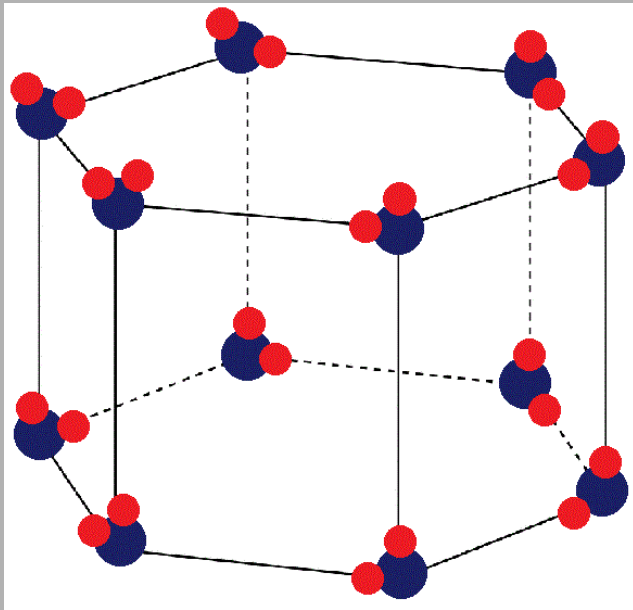
- As moléculas de água formam redes hexagonais através de ligações de hidrogênio.



Não há dois flocos de neve iguais

Estrutura da água

- ◉ Naturalmente, a forma mais simples da água, a baixas temperaturas, são prismas hexagonais.



http://www.thenakedscientists.com/HTML/uploads/RTEmagicC_FIG3_hexagon_crystal_02.jpg

Não há dois flocos de neve iguais

Formação dos flocos de neve

- Em um prisma hexagonal, as moléculas de água irão aderir ao cristal, por um processo de difusão, mais rapidamente nas pontas do que nas arestas, isto desencadeará um processo em cascata de ramificação - formação de dendritos.
- A medida que mais moléculas de água aderem aos dendritos, mais rápido irão crescer - branching instability.
- Dendritos menores crescem ao lado de dendritos maiores devido ao processo de difusão. A instabilidade fica cada vez maior, dando origem aos padrões fractais.

Equação de entropia:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

G=energia livre

H=entalpia

S=entropia

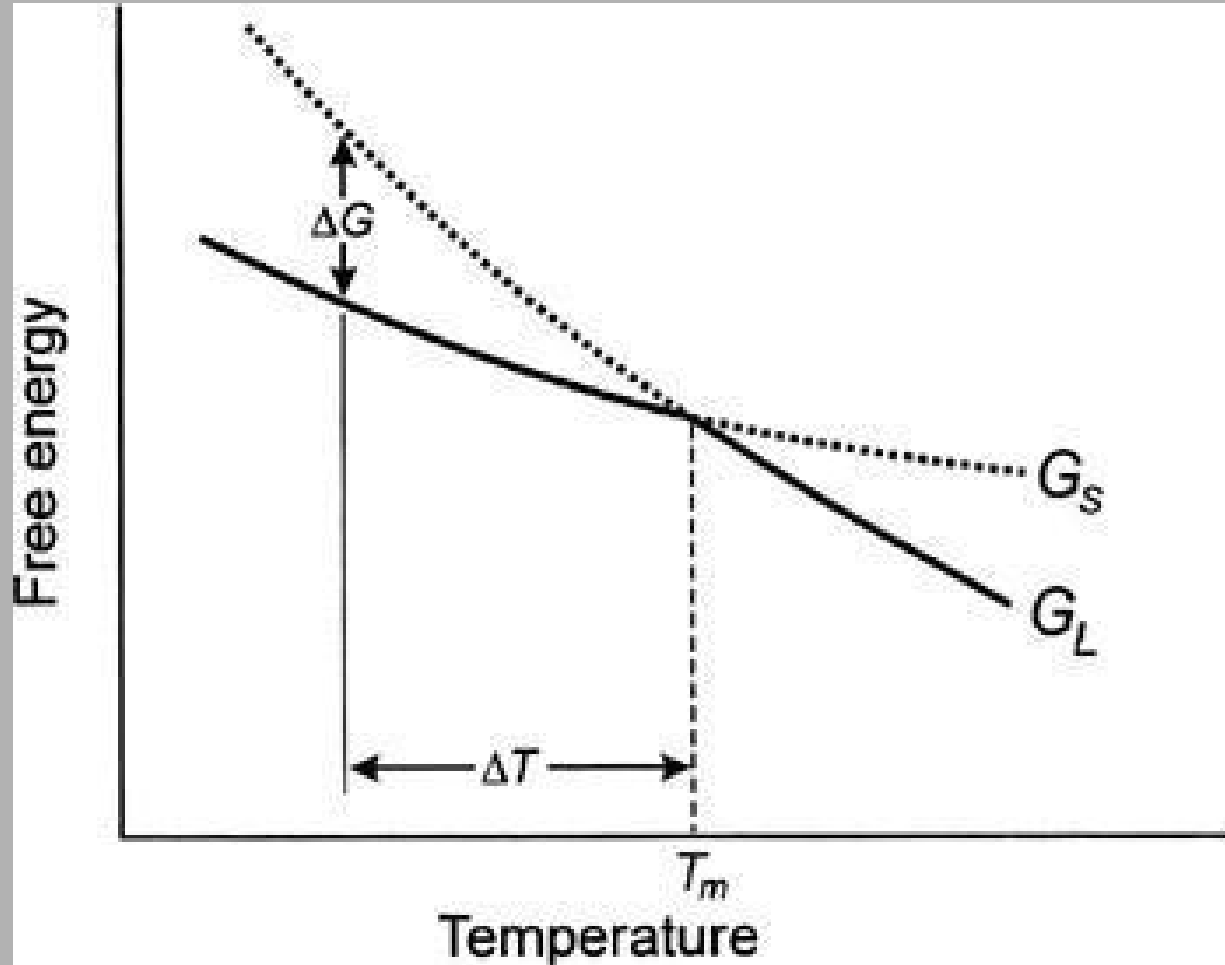
Se o material passa pelo processo de solidificação (ou fusão):

$$\Delta G = \Delta S_f (T_f - T)$$

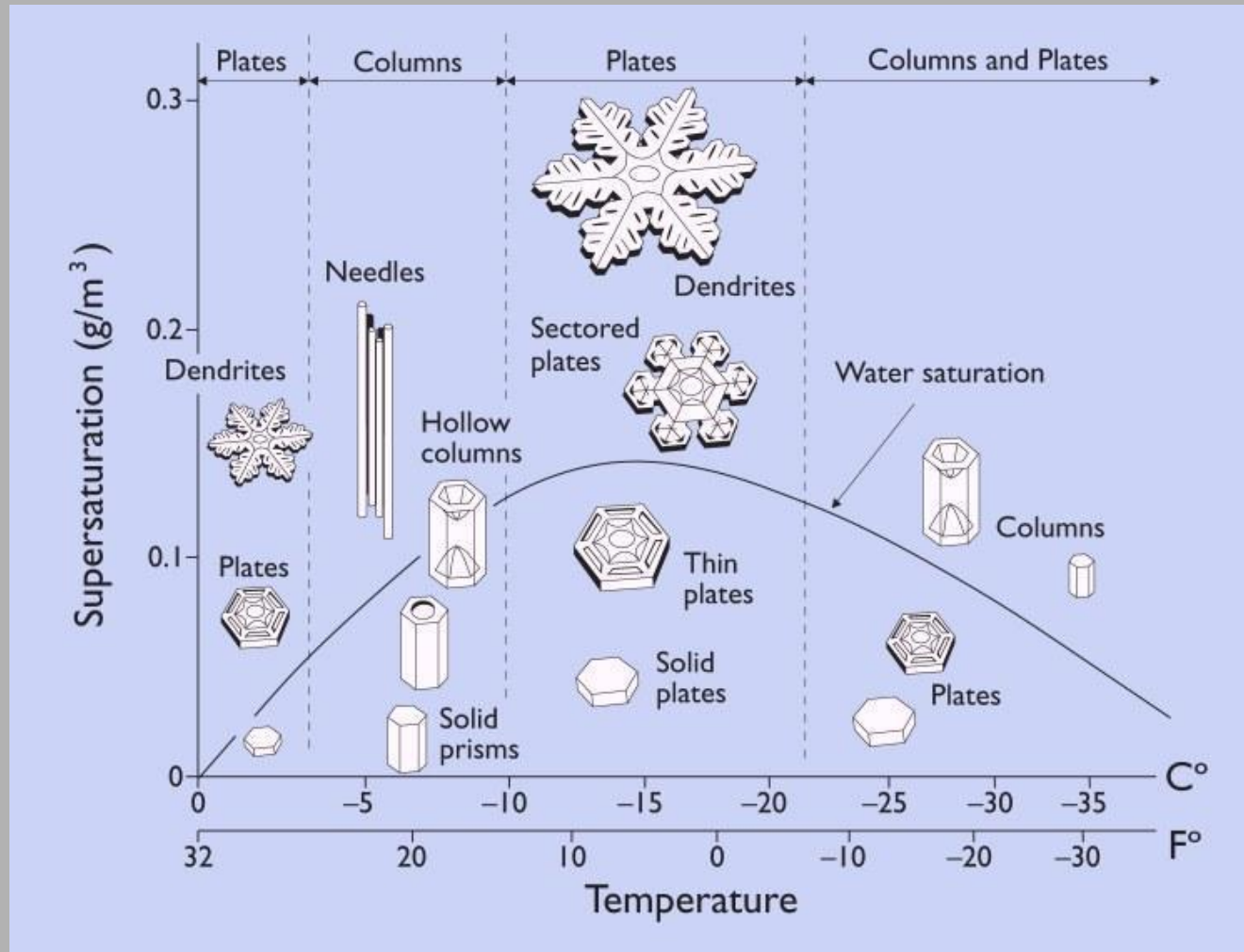
Temperatura de sobrefriamento:

$$\Delta T = T_f - T$$

Formação de dendritos ocorre quando a temperatura de sobresfriamento é pequena (qualquer perturbação no sistema provoca instabilidade).



O processo de difusão influencia a forma do cristal, pois este fenômeno relaciona como e com que velocidade as moléculas de água aderem ao cristal. Este processo é determinado por condições físicas do ambiente como temperatura, pressão e saturação da água.



- Como as condições físicas dos espaços de um ambiente variam, além da ramificação ser altamente sensível as condições iniciais, o processo é caótico. As chances de dois flocos de neve serem iguais é extremamente baixa.





Crescimento dendrítico

- Formação de flocos de neve é apenas um exemplo de crescimento dendrítico.
- De forma geral, o crescimento dendrítico de cristais depende, fundamentalmente, da sua velocidade de crescimento.
- Quando um o crescimento de um cristal ocorre rapidamente, a formação de novas camadas do cristal libera energia em forma de calor (transição líquido \rightarrow sólido ou gás \rightarrow sólido), gerando um processo de convecção. O cristal, então, cresce na direção da convecção, formando dendritos. Uma vez formado os primeiros dendritos, o processo em cadeia inicia, gerando as estruturas fractais.

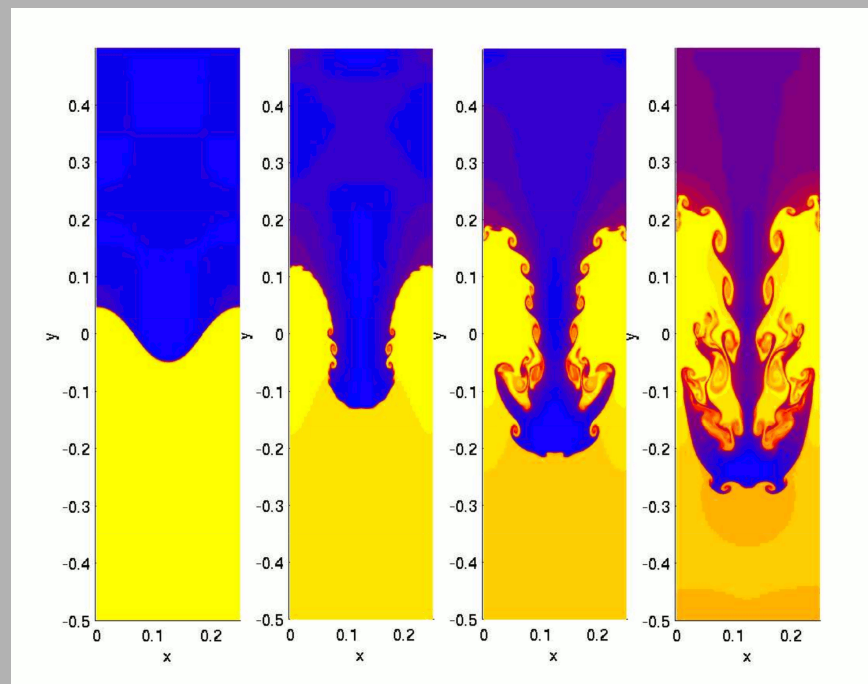
Crescimento dendrítico

- Outro processo de formação de dendritos é submetendo um material a uma certa diferença de potencial.
- Campos elétricos influenciam moléculas polares, controlando sua velocidade de difusão e desencadeando o processo
- de formação de dendritos pelos mesmos mecanismos mencionados anteriormente.
- Para alguns materiais, existe um valor crítico máximo do campo elétrico aplicado ao qual o crescimento dendrítico cessa e o cristal, tal razão não é ainda bem compreendida.

Instabilidade em fluidos:

Instabilidade de Rayleigh-Taylor

- Esta instabilidade ocorre quando um fluido é depositado sobre outro fluido menos denso.
- A instabilidade gera dendritos instáveis.



Equação de dispersão entre dois fluídos:

$$p_1 [gk - (s + ikU_1)^2] = p_2 [gk + (s + ikU_2)^2]$$

p = densidade do fluído

g = aceleração gravitacional

k = número de onda

U = velocidade do fluído

s = frequência

i = número imaginário

Condição de instabilidade:

$$k^2 p_1 p_2 (U_1 - U_2)^2 > kg(p_2^2 - p_1^2)$$

Instabilidade em fluídos:

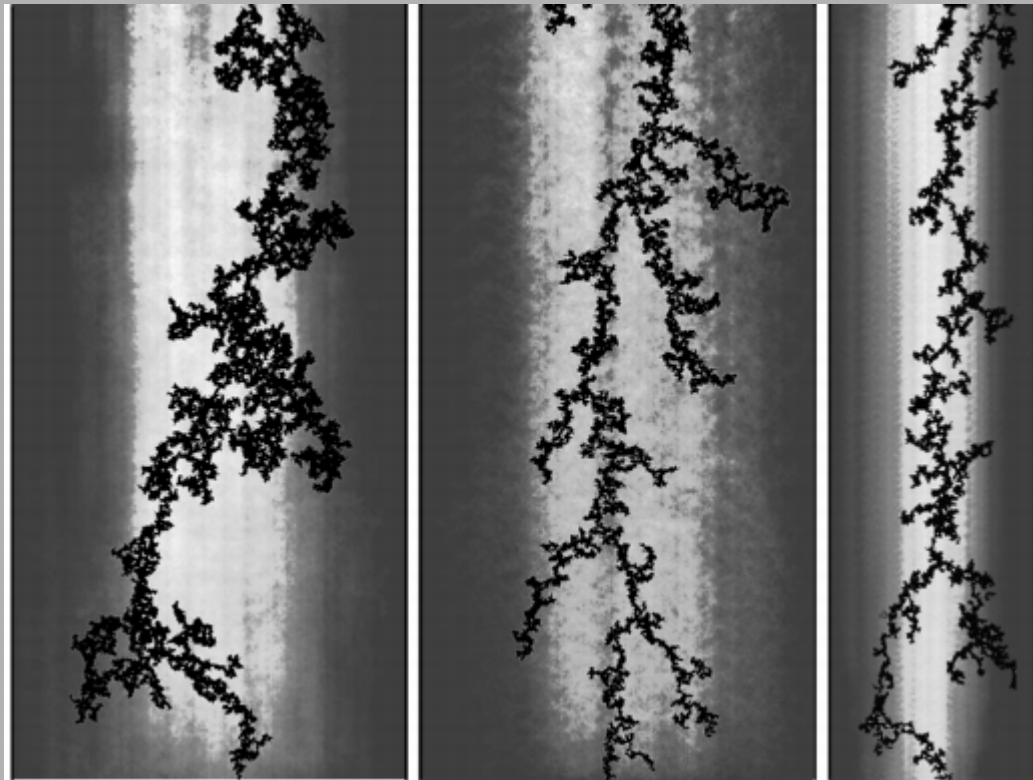
Instabilidade de Kelvin_Helmholtz

- Ocorre quando dois fluídos (ou um fluído com um gradiente espacial físico) sofrem cisalhamento entre si.
- O cisalhamento forma dendritos instáveis.



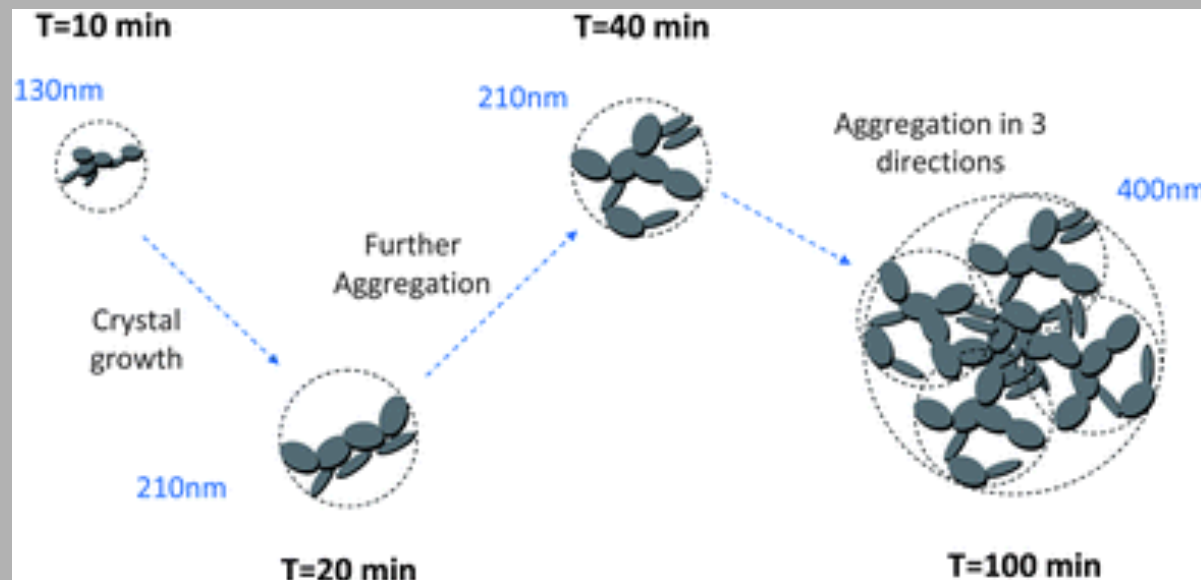
Técnicas experimentais: Percolação invasiva

- Um fluido invade um meio poroso.
- O fluido adquire um padrão fractal se percolar neste meio.



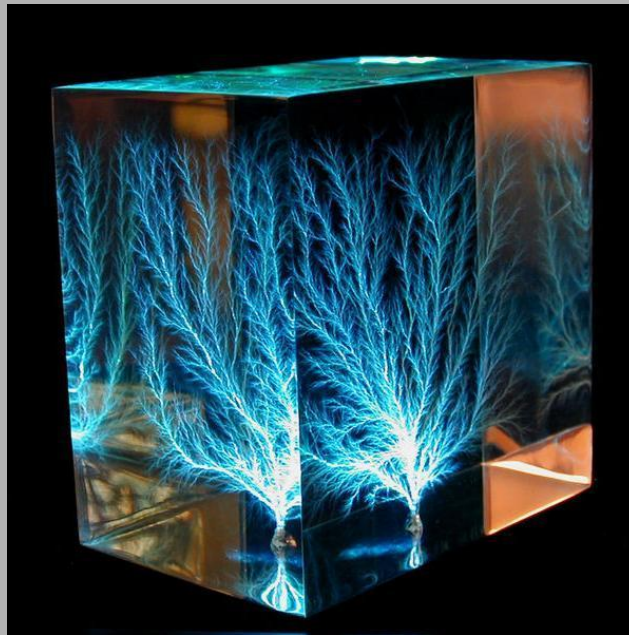
Técnicas experimentais: Gelificação cinética

- Formação de aglutinados de matéria, nem sempre em formas fractais.
- Associado a processos de polimerização.



Técnicas experimentais: Ruptura dielétrica

- Ocorre quando um isolante é submetido a uma diferença de potencial muito grande (voltagem de ruptura), perdendo as propriedades como material isolante.



<http://n-e-r-v-o-u-s.com/education/simulation/images/dielectricBreakdown.jpg>

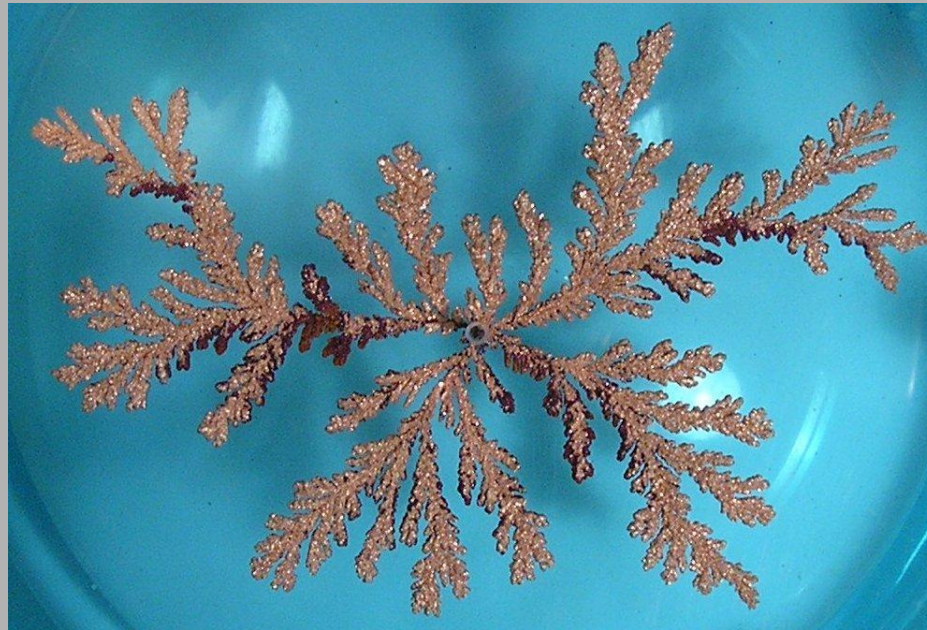
Técnicas experimentais: Deposição balística

- Agregação e sedimentação de partículas em uma superfície.



Técnicas experimentais: Deposição eletrolítica

- Difusão de íons devido a uma diferença de potencial.
- Por exemplo, se uma solução metálica for submetida a uma d.d.p., haverá a formação de agregados por difusão limitada.



Referências

- <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/>
- <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/dendrites.html>
- Tamás Vicsek, Fractal Growth Phenomena, World Scientific, 1992.