

L'aigua...
Els cristalls de gel

expoMINER

Saló internacional de minerals, fòssils i joieria

Barcelona

11, 12 i 13 de Novembre 2016
RECINTE MONTJUÏC

Presentació.....	5
L'aigua	6
Electròlisi de l'aigua	7
Ebullició i Congelació	8
El gel, un mineral?	11
Cristalls de gel - cristalls de neu	12
Formació dels cristalls de neu	12
Cristalls de neu, morfologies	16
Dendrites estrellades	17
Columnes i agulles	18
Columnes coronades	19
Dendrites "falguera"	20
Cristalls tabulars i columnars, pols de diamant	22
Cristalls triangulars	23
Cristalls 12 ramificacions	24
Gebre i Calamarsa	25
Qui és Kenneth G. Libbrecht	32
Com es poden fer cristalls de neu	34
Fes els teus cristalls de neu	36
Agraïments	38



Reconeixement (Attribution): El material pot ser distribuït, copiat i exhibit per terceres persones si es mostra en els crèdits el nom de l'autor original.

Compartir Igual (Share alike): El material d'aquesta obra pot ser modificat i distribuït però sota la mateixa llicència que el material original.

No Comercial (Non commercial): El material original i els treballs derivats poden ser distribuïts, copiats i exhibits mentre el seu ús no sigui comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/deed.ca>

Setembre 2016 - v. 1.0

Joan Rosell
info@rosellminerals.com

Amb el suport de:



Foto portada cristall de gel: Kenneth G. Libbrecht

Si preguntem a qualsevol aficionat als minerals quina és la principal fira de minerals i fòssils del nostre país, sens dubte ens parlarà d'EXPOMINER. Sembla ahir que vam celebrar les primeres edicions de l'Expominer, el Saló de Minerals, Fòssils i Joieria organitzat per Fira de Barcelona. Aquest saló ja s'ha consolidat com un dels principals referents a Europa per a la promoció i la difusió de la geologia i la mineralogia. Avui, Expominer vol seguir avançant en aquest procés de transferència de coneixement, projecció i difusió de la Ciència i del col·leccionisme.

Aquest any el saló Expominer acullirà un ampli programa de xerrades impartides per reconeguts investigadors que reflexionaran sobre temes tan diversos com la interacció de l'aigua i les roques, les tecnologies de la informació i la seva aplicació al món del mineral, els meteorits i la presència d'aigua a l'univers o els Geoparcs i la recerca de recursos naturals.

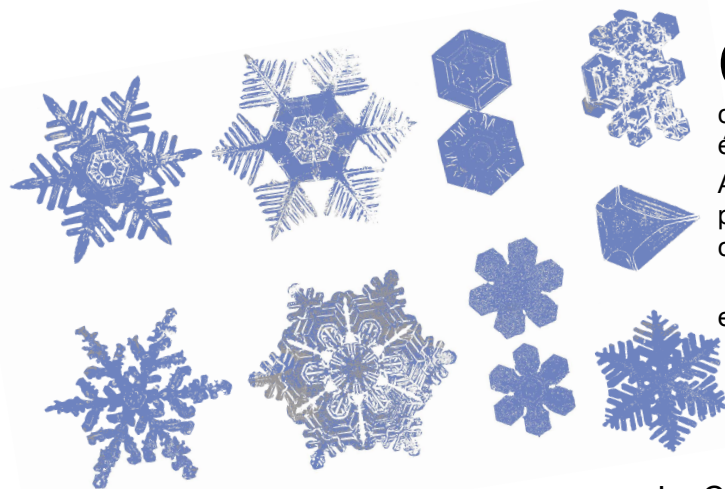
Expominer, a més de ser una rellevant plataforma dinamitzadora del comerç i el col·leccionisme, s'ha afermat com la trobada de referència per a la difusió de la cultura i l'afició mineralògica actuant com a nexa i catalitzador de l'ecosistema comercial, científic i docent d'aquesta apassionant matèria.

Esperem que gaudiu de la fira, de les activitats que hi farem, de les meravelles exposades. Si amb això aconseguim que el públic i, en especial, els nostres estudiants, s'acostin una mica més als secrets millor guardats de la naturalesa que ens envolta ens donarem per ben satisfets.

Benvinguts a l'apassionant món de la geologia, la mineralogia i la paleontologia.
Benvinguts a Expominer!



Marta Serra Peruchet
Directora Expominer
Fira de Barcelona



Com cada any, des de 2012, volem fer-vos arribar aquest manual introductori a un tema molt poc habitual i desconegut per la majoria de nosaltres. Els cristalls de neu cauen dels núvols en els dies freds de l'hivern, ens emociona la neu, pels mediterranis és un meteor poc habitual. Potser per això no tenim gaires possibilitats d'estudiar-la.

Aquí trobareu informació que us permetrà tenir una base de treball sobre la que podreu desenvolupar diversos camps com la física, les matemàtiques, la química o la cristal·lografia.

Espero que serveixi per despertar la inquietud de molts de vosaltres per aprofundir en el meravellós món de la Ciència.

La Ciència és el gran antídota contra el verí de l'entusiasme i la superstició.
Adam Smith (1723-1790) Filòsof i economista escocès



Joan Rosell Riba
RosellMinerals.com
Grup Mineralògic Català

L'AIGUA

L'aigua, aquest compost químic que ens envolta i forma part de nosaltres. L'aigua és vital per a la nostra existència i la de tota espècie que habita aquest món, en definitiva per la Vida.

Tenim la gran sort de viure en un planeta on l'aigua cobreix el 71% de la seva superfície, formant llacs, rius i oceans. A la Terra, el 96,5% de l'aigua l'escorça del planeta es troba en els mars i oceans, l'1,7% en l'aigua subterrània, l'1,7% en les glaceres i les capes de gel de l'Antàrtida i Groenlàndia, una petita fracció en altres grans masses d'aigua i el 0,001% en l'aire en forma de vapor, núvols (formats de gel i aigua líquida en suspensió en l'aire) i la precipitació. Només el 2,5% d'aquesta aigua és aigua dolça.

El 98,8% l'aigua dolça es troba en forma de gel i en les aigües subterrànies. Menys del 0,3% de tota l'aigua dolça es troba en rius, llacs i a l'atmosfera. Només un 0,003% de l'aigua dolça de la Terra està continguda dins dels organismes biològics.

H₂O

Sabíes que...

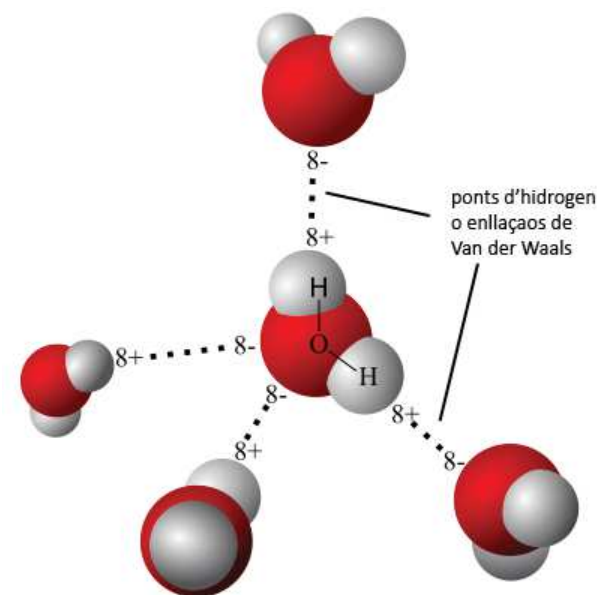
La paraula hidrogen prové de la combinació dels termes grecs **hydrós**, que vol dir aigua i **génos**, que vol dir generador o formador. Per tant hidrogen vol dir que forma aigua.

La molècula d'aigua és ben coneguda per tots: H₂O. La combinació de dos àtoms d'hidrogen i un d'oxigen forma la molècula de la Vida. L'aigua apareix en la naturalesa en els tres estats comuns de la matèria (sòlid, líquid i gasós) i pot presentar-se de moltes formes diferents: vapor d'aigua i núvols al cel, l'aigua de mar en els oceans, els icebergs en els oceans polars, glaceres a les muntanyes, llacs d'aigua dolça i salada, rius i aqüífers.

Aquests dos elements, l'oxigen i l'hidrogen, es troben units per enllaços covalents, prou forts i estables. Però també les molècules d'aigua es troben "connectades" entre elles per uns altres enllaços més dèbils, anomenats ponts d'hidrogen.

Mentre que amb el sol fet d'escalfar l'aigua ja produïm vapor, format per molècules d'H₂O lliures, per trencar els enllaços H-O-H cal donar més energia. Un experiment prou fàcil de portar a terme és l'hidròlisi de l'aigua (veure quadre següent).

Aquestes forces intermoleculars que d'una manera feble però present enllacen les molècules d'aigua també s'anomenen enllaços de Van der Waals. Recordeu-los per que més endavant ens serviran per explicar la formació del gel...



ELECTRÒLISI DE L'AIGUA

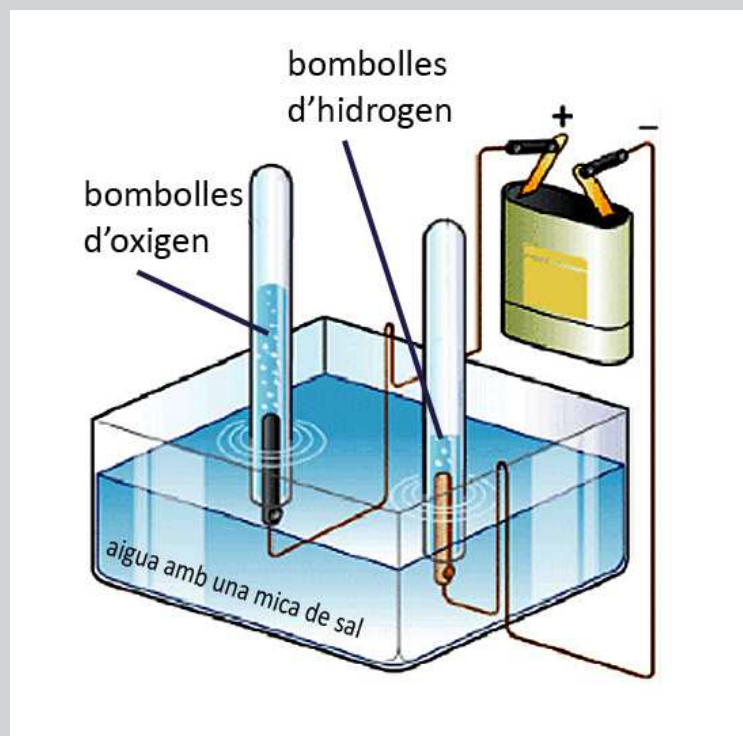
Aquest experiment fou dut a terme per primera vegada l'any 1800 a càrrec de William Nicholson i Anthony Carlisle, gràcies al descobriment de la pila d'Alessandro Volta. Quan Zénobe Gramme va inventar la màquina de Gramme l'any 1869 l'electròlisi de l'aigua es va convertir en un mètode barat per a la producció d'hidrogen. Un mètode de síntesi industrial d'hidrogen i oxigen mitjançant l'electròlisi va ser desenvolupat per Dmitry Lachinov en 1888.

Per portar a terme l'electròlisi de l'aigua només ens cal omplir la cubeta amb aigua, a la que afegirem una mica de clorur sòdic per fer-la conductora de l'electricitat.

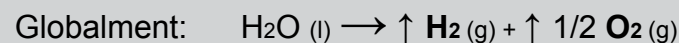
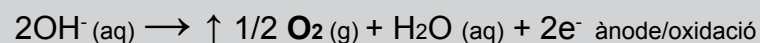
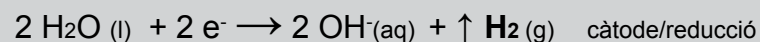
A continuació posem dos tubs d'assaig grans plens d'aigua cap per avall (els podem aguantar amb una torre i les pinces de laboratori). Els cables poden ser fils de coure dels que tenim a casa. Els elèctrodes poden ser el mateix fil de coure pelat i trenat o una xapeta de coure si la tenim.

Quan tanquem el circuit observem que poc a poc, sobre ambdós elèctrodes es formen petites bombolles de gas. També observem que en un d'ells es generen més bombolles que en l'altre... Quin creus què és? Mira la reacció implicada.

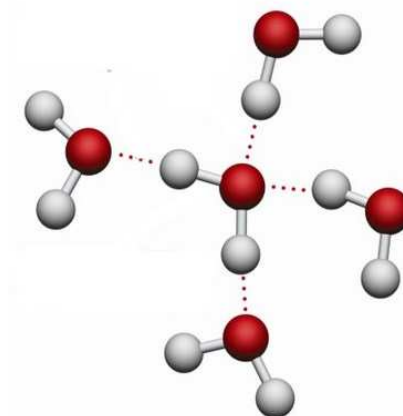
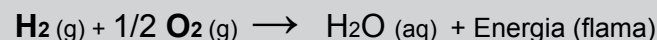
Si treiem el tub més ple de gas (hidrogen) i li acostem un llumí a la boca veurem que es produeix una petita explosió. L'hidrogen reacciona amb l'oxigen de l'aire i forma l'aigua que queda a les parets del tub.



La reacció de reducció-oxidació és:



En aplicar el llumí:



Ebullició

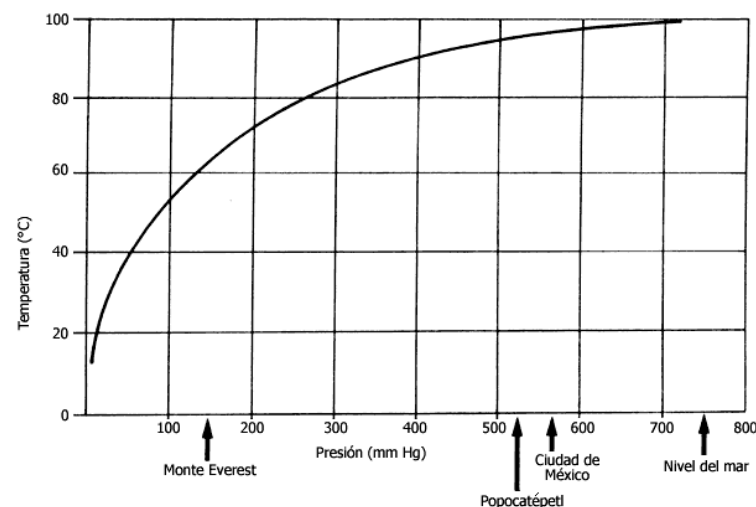
Per tot arreu ens envolta l'aigua, un líquid que hauria de ser incolor, inodor i insípit. L'aigua pura es troba en la seva forma líquida per sobre dels 0°C (punt de congelació) fins just per sota dels 100°C (punt d'ebullició) sempre que ens trobem a 1 atm de pressió. O això ens han dit sempre...

Pel que fa a la temperatura d'ebullició (T_e) de l'aigua pura a mida que la pressió baixa (pujant dalt d'un cim, per exemple) la T_e també ho fa.

Veiem en el gràfic la T_e a diferents altures del nostre planeta. Dalt de l'Everest (8.848 m) l'aigua bull a un 68-70°C. Tanmateix diuen que el te fet amb aquesta aigua bullida a dalt del camp base és molt dolent de gust... A mida que anem baixant de la muntanya la temperatura d'ebullició puja i a nivell del mar és de 100°C.

Si anem augmentant la pressió la temperatura d'ebullició de l'aigua anirà augmentant. O sigui que a altes pressions caldrà assolir temperatures més altes per a que bulli i es transformi en gas...

On es poden donar aquestes condicions? A la natura, sota terra es poden assolir altes pressions i temperatures. Per exemple, a una pressió de 4 atmòsferes la temperatura d'ebullició assoleix els 144°C. Si anem a pressions més altes, sota l'escorça terrestre, podem trobar aigua en estat líquid a una temperatura de 300°C sota una pressió de quasi 1000 atmòsferes (o sigui, 100 vegades la pressió que suportem nosaltres). A aquestes altes pressions i temperatures, l'aigua es comporta de formes molt diferents a les que estem acostumats. Aquesta aigua sobreescalfada o subcrítica presenta unes propietats com a dissolvent molt notables i és capaç de corroir (disoldre) les roques que l'envolten amb facilitat i transportar els compostos per formar aigües mineralitzants i formar dipòsits minerals.



Congelació

Quan la temperatura baixa les molècules d'aigua van perdent energia i els ponts d'hidrogen es van fent més permanents. En arribar a una determinada temperatura l'aigua líquida es converteix en un sòlid. Si aquest procés és ràpid el sòlid que obtenim no presenta una estructura determinada i les molècules no s'ordenen, tenim un sòlid amorf. En canvi si la temperatura baixa de forma gradual obtindrem cristalls de gel.

Però quina és aquesta temperatura on l'aigua esdevé un sòlid?

Sempre ens han dit que la temperatura de congelació a la pressió d'una atmosfera (a nivell del mar) és de 0°C (273,16 K). Tanmateix no tot és tant fàcil. En el cas de l'aigua, el punt de fusió i de congelació és el mateix: 0°C. Això és en presència de nuclis de cristal·lització en el líquid, ja que si aquests no estan presents, l'aigua líquida pot refredar-se fins -42°C sense que es produeixi la congelació en un procés anomenat sobrefusió. Si l'aigua es refreda a un ritme de l'ordre de -106 K/s, es pot evitar la nucleació cristal·lina i l'aigua es converteix en alguna cosa semblant a un vidre. La seva temperatura de transició vítria és molt inferior i difícil de determinar, però hi ha estudis que l'estimen en uns 165 K (-108°C). L'aigua vítria es pot refredar fins a aproximadament 150 K (-123°C). En el rang de temperatures entre 231 K (-42°C) i 150 K (-123°C), els experiments només han aconseguit gel cristal·lí.

Aquest sobrerrefredament de l'aigua és possible perquè l'aigua necessita un petit nucli o llavor de gel per a que les molècules per formar cristalls i en una aigua molt pura l'única forma en que poden formar un nucli és canviant de forma espontània l'estructura del líquid. Aquests nuclis no es formaran o creixeran prou fins que l'estructura de les molècules d'aigua líquida s'aproxima a la del gel sòlid, el que no succeeix fins que l'aigua no arriba a ser tan increïblement freda.

Els canvis d'estat de l'aigua es poden explicar a partir de la gràfica adjunta. Per exemple, a 1 bar (1 atm) tenim que l'aigua passa de l'estat gasós a líquid a 100°C i de líquid a sòlid a 0°C. Però si tenim pressions més baixes, per exemple 1 mbar (0,0001 atm) l'aigua es manté en estat de vapor (gas) fins als -25°C i d'aquí passa directament a l'estat sòlid.

A 0°C i 0,006 atm, tenim l'anomenat **punt triple de l'aigua**. En aquesta "fase" coexisteixen en equilibri la forma gasosa, líquida i el gel. El punt triple es fa servir per calibrar termòmetres i també va ser utilitzat durant la missió Mariner 9 a Mart com un punt de referència per definir "el nivell de la mar" al planeta vermell. Missions més recents fan ús d'altimetria làser i gravimetria en lloc de la pressió atmosfèrica per mesurar l'elevació a Mart. A pressions constants per sobre del punt triple, escalfar el gel fa que es passi de sòlid a líquid i d'aquest a gas. A pressions per sota del punt triple, com les trobades en l'espai exterior (pressió propera a zero), l'aigua líquida no pot existir i, en escalfar-se, el gel es converteix directament en vapor d'aigua sense passar per l'estat líquid, procés conegut com a sublimació. Això es dona en els cometes que s'acosten al Sol.

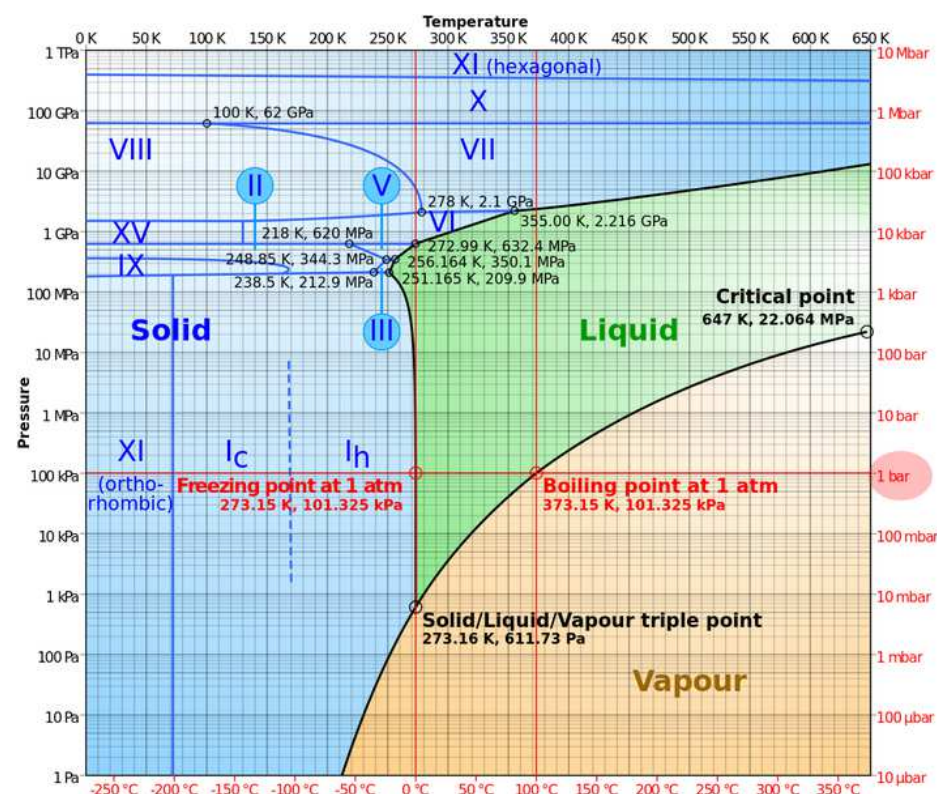
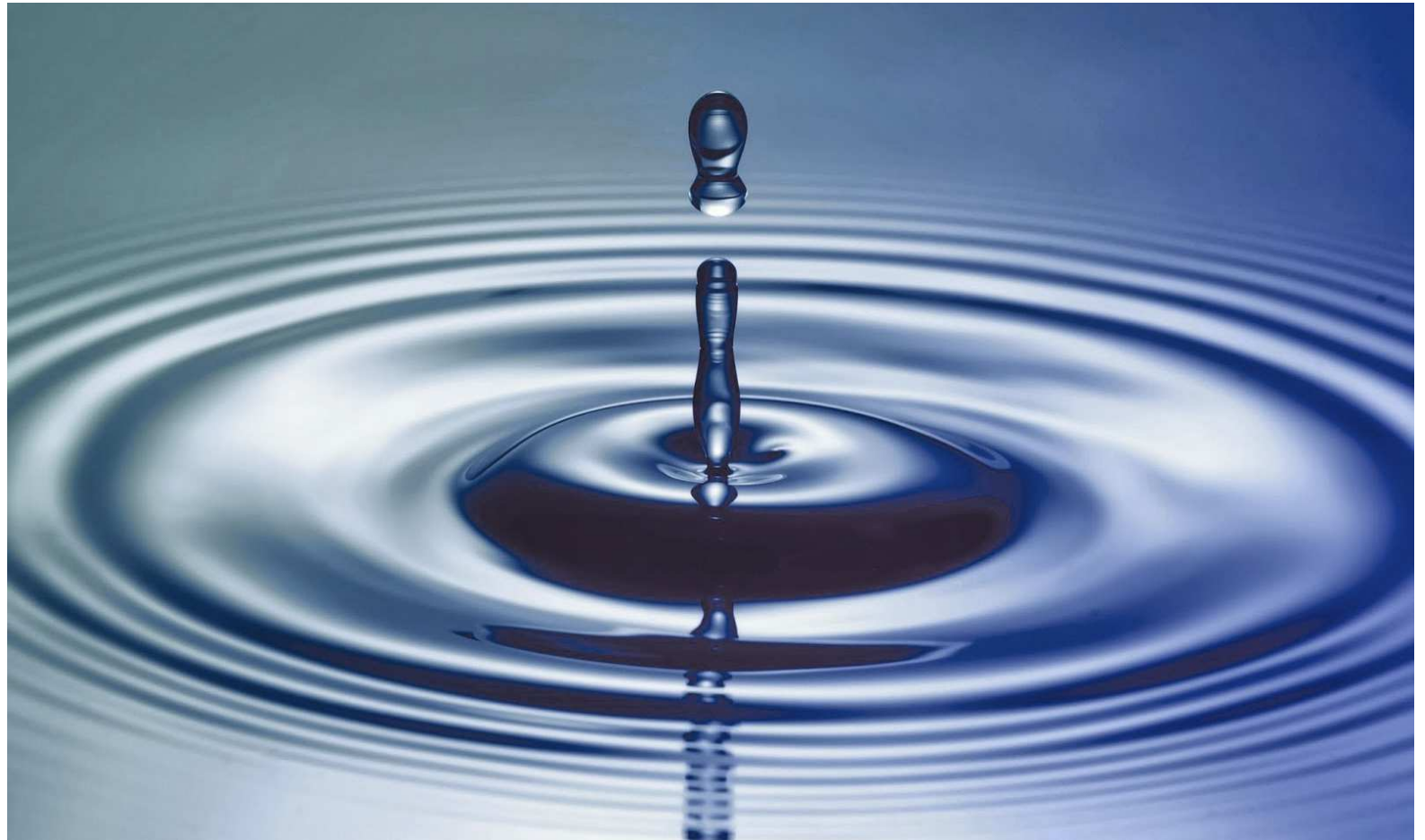


Diagrama de fases de l'aigua. La línia vermella horitzontal indica el seu comportament a 1 atm de pressió i temperatura variable.

El **punt crític de l'aigua** es dona en augmentar la pressió i la temperatura fins a 374°C i 218 atm. En aquest punt l'aigua s'anomena aigua supercrítica i té unes propietats molt especials. No es comporta ni com un gas ni com un líquid, es comporta com els dos. El fluid ocuparà tot el volum de l'envàs que la contingui i es tornarà molt oxidant i reactiva. En aquestes condicions l'aigua es converteix en un fluid amb propietats úniques que es poden utilitzar en la destrucció de residus perillosos com hidrocarburs clorats cancerígens. El fluid té una densitat entre la del vapor d'aigua i el líquid en condicions normals. S'utilitza per al tractament i destrucció de residus tòxics.



Anem a veure la definició de mineral que ens dona l'Institut d'Estudis Catalans:

EL GEL... UN MINERAL?

2 1 m. [LC] [GLM] [GLG] Material sòlid, homogeni, de composició química definida, o variable entre dos límits perfectament determinats, generalment inorgànic, format per un procés natural i amb una estructura cristal·lina ben definida.

- L'aigua no és sòlida a temperatura ambient, però si aquesta baixa suficientment tenim que el líquid passa a sòlid. Per tant ja complim el primer requisit.
- Una altra condició és que sigui un sòlid homogeni i de composició química definida, per tant l'H₂O ho compleix sobradament.
- Format de forma natural... Per suposat
- Amb una estructura cristal·lina definida: això ja costa més de veure, però tots hem gaudit d'una nevada o petits i delicats flocs de neu cauen sobre les nostres mans i es desfan. Però si els veiem sobre una superfície freda o en la gebrada observarem que tenen unes estructures que recorden cristalls.

Per tant el gel es pot considerar mineral y així ho va considerar la International Mineralogical Association. El va classificar dins del grup dels òxids: 4.AA.05 (Nickel-Strunz) o bé 4/A.01-10 (Strunz).



Tanmateix per acceptar-lo va ser necessari portar a terme estudis de les seves propietats. Els resultats que estan a tots els manuals de mineralogia ens diuen que el gel té:

Llustre	Vítri	Sistema cristal·lí	Hexagonal
Diafanitat	Transparent a translúcid	Sol presentar-se com a cristalls de neu, en complexes formes estrel·lades de sis puntes, amb gran varietat, aplanades segons {0001}. També formes esquelètiques o prismes en forma de tremuja, com el gebre. Com barilles allargades, de vegades molt llargues, habitualment per cristallització sobre la superfície de l'aigua.	
Color	Incolor a blanc, blau clar a verdós		
Ratlla	Blanca		
Duresa	1,5 Escala de Mohs	Macles	Freqüents
Tenacitat	Fràgil	Activitat òptica	Uniaxial (+)
Fractura	Concoïde		$n_{\omega} = 1.309$ $n_{\epsilon} = 1.311$
Densitat	0,9167 g/cm ³		$\delta = 0.001$

Cristalls de neu / Flocs de neu?

La paraula correcta per descriure els flocs de neu seria cristalls de neu. Floc de neu és un terme generalista que inclou els cristalls de neu així com qualsevol altra cosa que caigui dels núvols a l'hivern i que no sigui líquida. Per tant la forma correcta seria anomenar-los cristall de neu.

Formació dels cristalls de neu

Molt sovint es pensa que els cristalls de neu es formen per congelació de les fines gotes d'aigua que cauen dels núvols. L'aigua-neu sí que són petites gotes congelades, una espècie de granissat de mida petita.

En canvi, els cristalls de neu es formen per congelació directa del vapor d'aigua que hi ha a l'atmosfera sobre una "llavor" o petit nucli de creixement. Aquests nuclis poden ser petites espores, polen, pols... El vapor d'aigua es va dipositant sobre la llavor i va formant estructures cristal·lines de tipus hexagonal.



snowcrystals.com

El procés de formació i creixement del cristall de neu es dona en diverses etapes:

Nucleació

Molt sovint una petita partícula que es troba en suspensió en l'aire actua com a matriu per al creixement del cristall, de la mateixa manera que es dona a la natura.

Matriu hexagonal

La condensació del vapor forma habitualment un cristall hexagonal tabular, de poc gruix. Esdevé un prisma hexagonal amb una velocitat de creixement d'algunes de les seves cares que depenen de les condicions del medi.

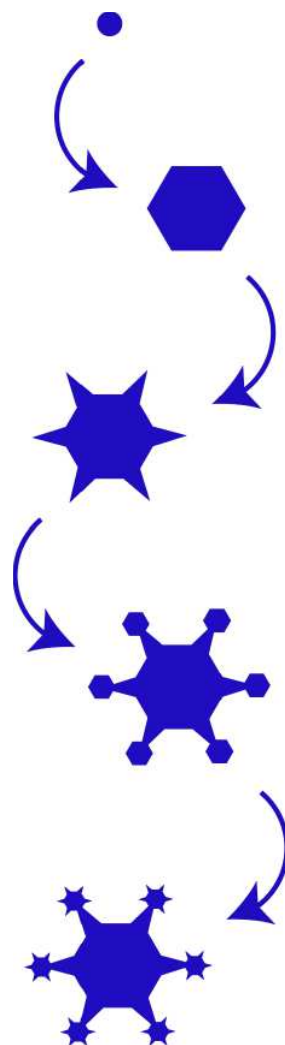
Creixement estrellat

Inestabilitats en l'estructura cristal·lina provoquen la formació de ramificacions que segueixen la simetria hexagonal. Un cop aquests "braços" es desenvolupen es poden formar nous prismes i d'aquests prismes creixen noves ramificacions.

I el procés continua...

El cristall comença a agafar pes i la gravetat el fa baixar de les capes altes atmosfèriques fins a les més baixes. Tanmateix, la forma final del cristall de neu ve determinada per les condicions que aquest troba en desplaçar-se a través dels núvols: humitat, temperatura, partícules en suspensió...

Però les sis ramificacions pateixen les mateixes condicions, per la qual cosa creixen amb sincronia, produint una forma complexa, però simètrica. Però com no hi ha dos cristalls de neu que trobin exactament les mateixes condicions en el seu viatge a través dels núvols, podem dir que no hi ha dos cristalls de neu exactament iguals.



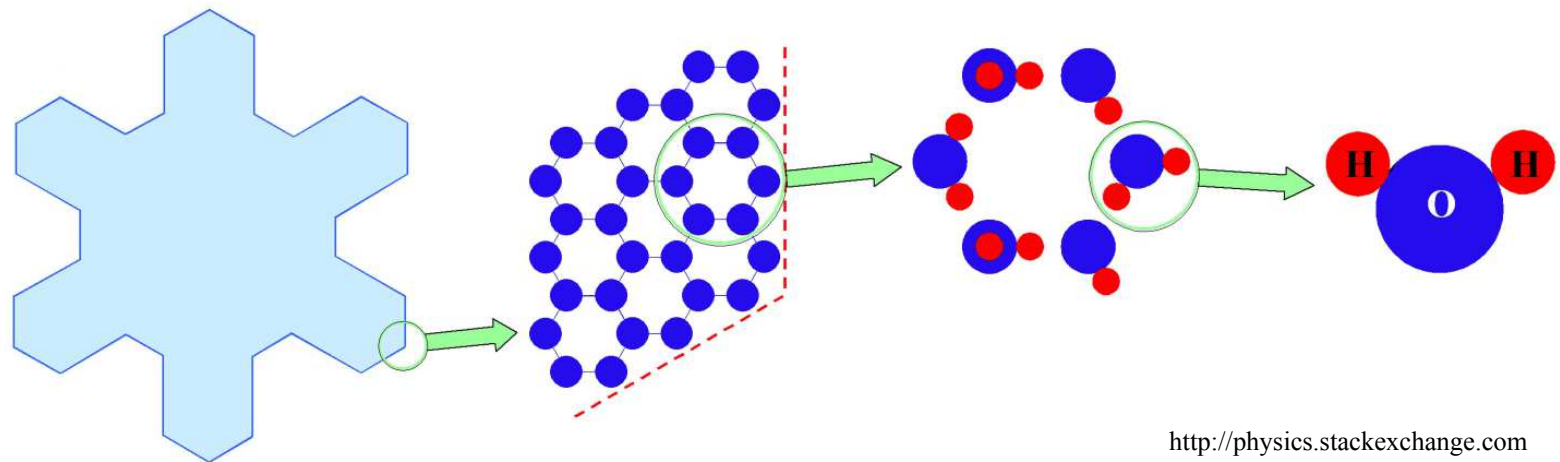
En l'esquema inferior podem observar com les molècules d'aigua es disposen formant cicles de 6 unitats. En aquestes estructures regeixen les forces dels enllaços de Van der Waals que veiem anteriorment. Aquestes estructures s'empaqueten formant estructures hexagonals més grans donant forma al cristall de neu.

Quan les molècules d'aigua s'adhereixen a la superfície del cristall, les combinacions no lineals d'humitat i temperatura creen condicions en les quals les superfícies planes són intrínsecament "inestables". Com els cristalls giren i volten per l'atmosfera, les molècules d'aigua solidifiquen en les arestes (més reactives) del cristall hexagonal de manera que aquests "flocs" creixen més ràpid en les arestes que en les cares planes. A mesura que les ramificacions es fan més grans, les petites irregularitats al llarg de les arestes es tornen inestables i l'aigua s'hi solidifica en elles per formar més "branques".

Com que el cristall de neu és molt petit i la temperatura i la humitat varia de forma relativament lenta al seu entorn, les condicions de solidificació de l'aigua en un punt donat del cristall seran les mateixes, de manera que el cristall de neu creix simètricament, com havíem dit.

Un cristall de gel creix quan les molècules d'aigua s'adhereixen a la seva superfície. Certes combinacions d'humitat i temperatura creen condicions en què les superfícies planes són dinàmicament inestables, un efecte anomenat la inestabilitat Mullins-Sekerka. En aquestes condicions, si una superfície plana accidentalment desenvolupa una petita protuberància, la protuberància creix més ràpid que altres regions properes, amplificant la irregularitat. Un cop és prou gran, com és gairebé pla, es torna inestable per la mateixa raó, per la qual cosa proliferen nous relleus. Aquest procés repetit genera un patró conegut com a dendrita. El creixement dendrític és la causa de l'enorme varietat de formes observades en els cristalls de neu, ja que els patrons de ramificació són extremadament sensibles a petits canvis en la humitat i la temperatura.

Ian Stewart, professor de la Warwick University, autor de "what shape is a snowflake?"



<http://physics.stackexchange.com>

Tanmateix, tal com assegura el Dr. Kenneth G. Libbrecht, la gran majoria dels cristalls de neu no són molt simètrics. La major part dels cristalls de gel que podem observar a la natura no són ni de lluny les meravelles simètriques que estem acostumats a veure en les fotografies. Només cal fer atenció als cristalls de neu que podem veure quan neva...



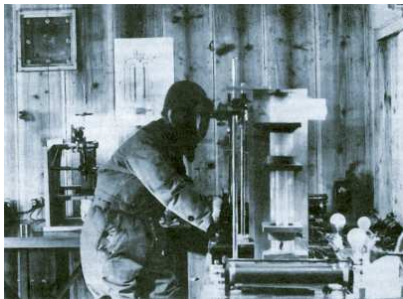
Cristalls de neu Morfologies



Prof. Ukichiro Nakaya
中谷 宇吉郎

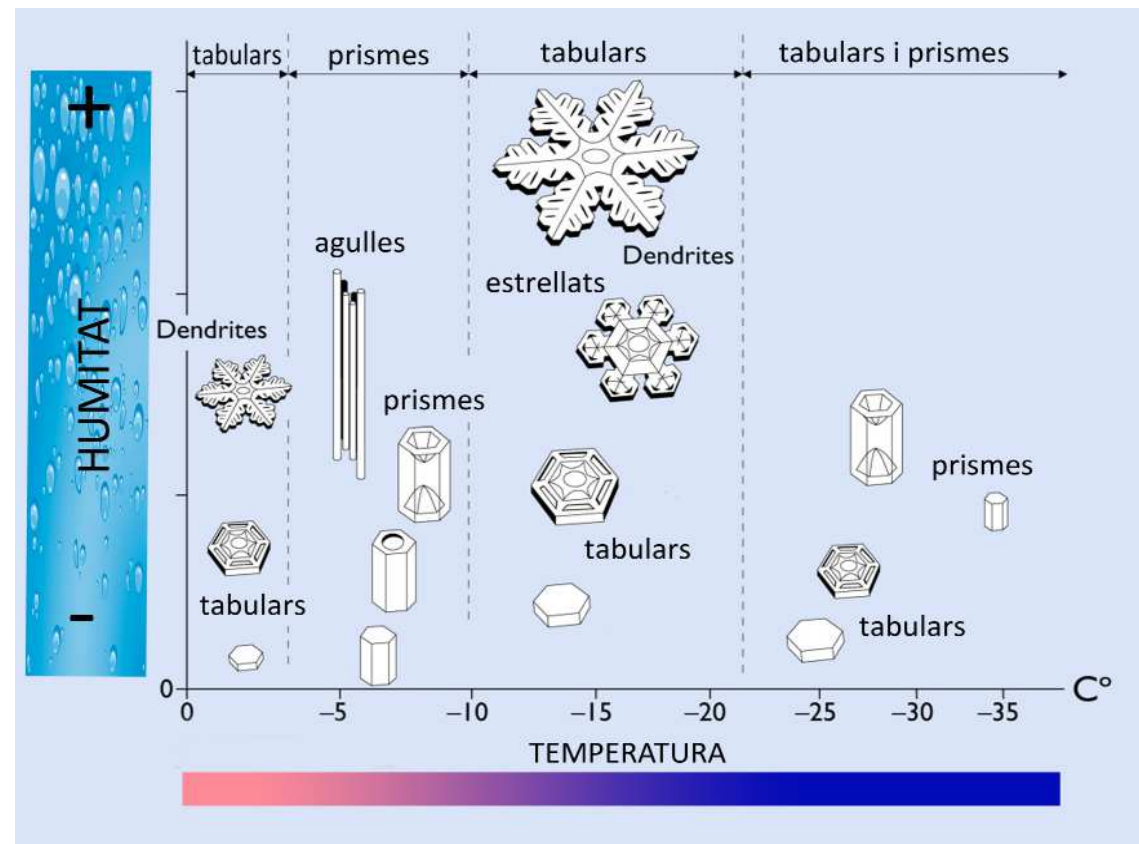
(Ishikawa, 1900-1962)

Físic i assagista científic japonès, conegut pel seu treball en la ciència de la glaciologia i de les baixes temperatures. Se li atribueix la síntesi dels primers cristalls de neu artificial.



Les formes que adopten els cristalls de neu depenen en gran mesura, tal com hem dit, de les condicions d'humitat i temperatura que els envolten en els núvols.

Com en tota branca de la ciència hom ha volgut establir relacions entre la forma dels cristalls i l'ambient de formació. Un dels estudis sistemàtics més coneguts és l'anomenat diagrama de Nakaya. El físic japonès Ukichiro Nakaya (1900-1962) va entrar a treballar a la Universitat d'Hokkaido l'any 1930. Es va trobar amb un departament de física que tenia un mínim d'equip i uns pocs fons per a la investigació. Però hi havia un subministrament il·limitat de neu natural, per la qual cosa va començar la seva investigació sobre els cristalls de neu. Després de recollir més de 3.000 microfotografies va establir una classificació general dels cristalls de neu naturals. L'any 1935 es va obrir el laboratori de ciència de les baixes temperatures i el 12 de març de 1936, va crear el primer cristall de neu artificial.

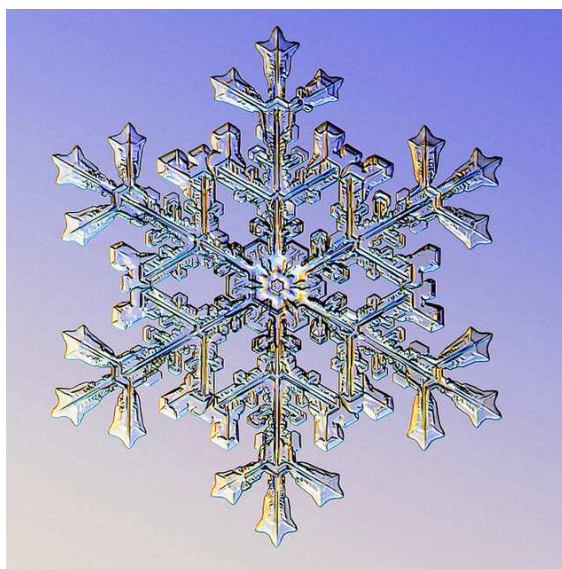
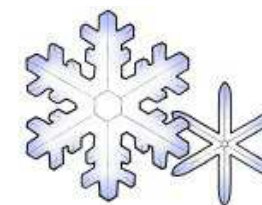


A partir d'aquest diagrama podem extreure diferents conclusions. Per exemple, els cristalls estrellats més bonics, amb una simetria vistosa i complexa es formen només en el petit interval entre -10 i -20°C i en condicions d'alta humitat. Les formes aciculars i columnars es formen a temperatures més altes, al voltant del -6°C , amb baixa humitat i a temperatures molt més baixes només tenim formes senzilles. Recordeu que aquestes són les temperatures en els núvols, més a prop de terra la temperatura sol ser superior, més "càlida".

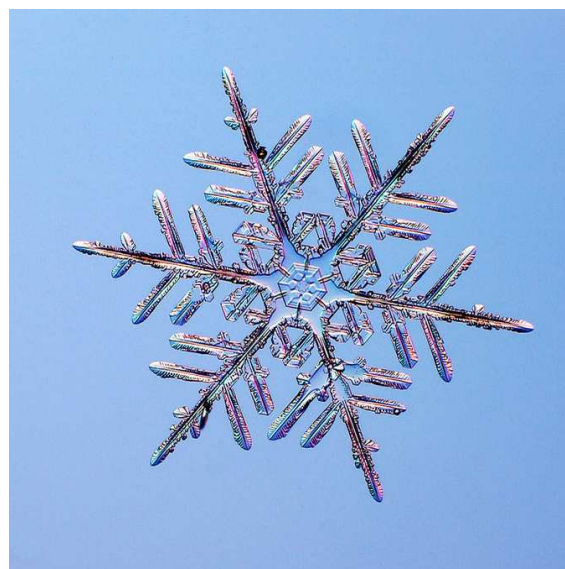
Exactament per què creixen els cristalls de neu d'aquesta manera segueix sent un trencaclosques científic sense resoldre. El comportament del creixement del gel depèn de l'estructura molecular i la dinàmica en la superfície del cristall, i això és molt complicat i els científics de la neu no es posen d'acord.

DENDRITES ESTRELLADES

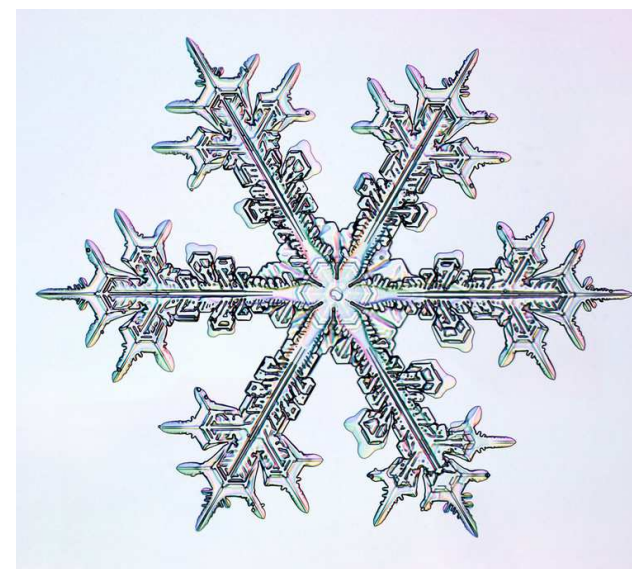
Aquests són els cristalls de neu més fàcils de reconèixer, són els que posem per Nadal com a decoració. La paraula dendrita ens indica la seva morfologia en ramificacions múltiples laterals. Poden arribar a mides considerables i prou comunes. Es donen a temperatures força baixes (sobre els -15°C) i amb humitat.



© Kenneth G. Libbrecht



© snowcrystals.com



© Kenneth G. Libbrecht



COLUMNES i AGULLES

Els cristalls de neu columnars apareixen quan la temperatura és al voltant de -6°C , i poden ser bastant comuns. Són petits i fàcils de perdre, però, com es veuen com petits trossos de cabell blanc. Els cristalls columnars fins poden ser especialment llargs. També presenten a les cares pinacoidals regions buides còniques, en tolva, en els dos extrems.



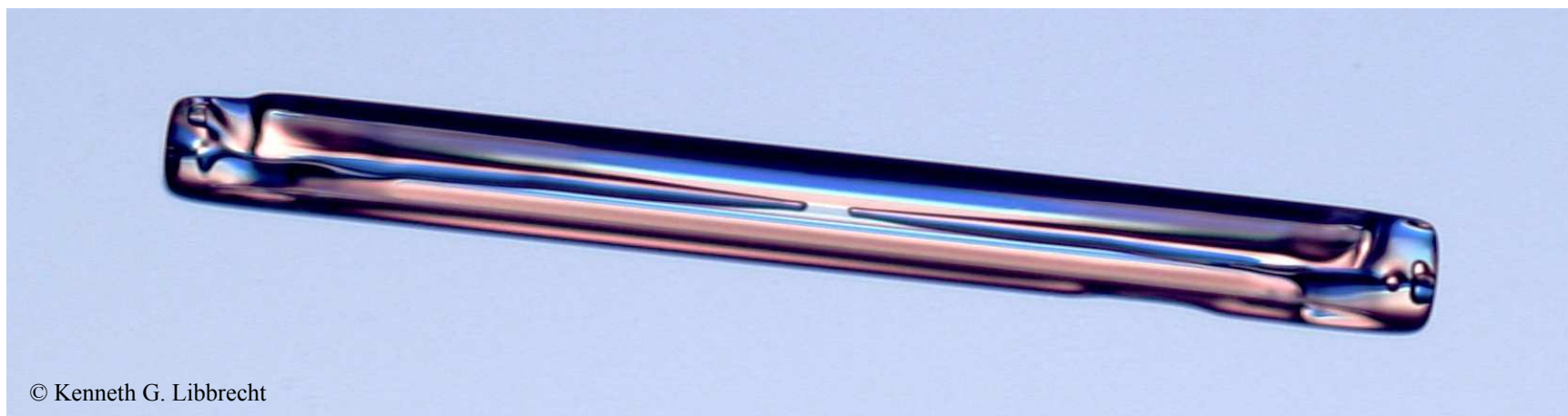
© snowcrystals.com



© Kenneth G. Libbrecht



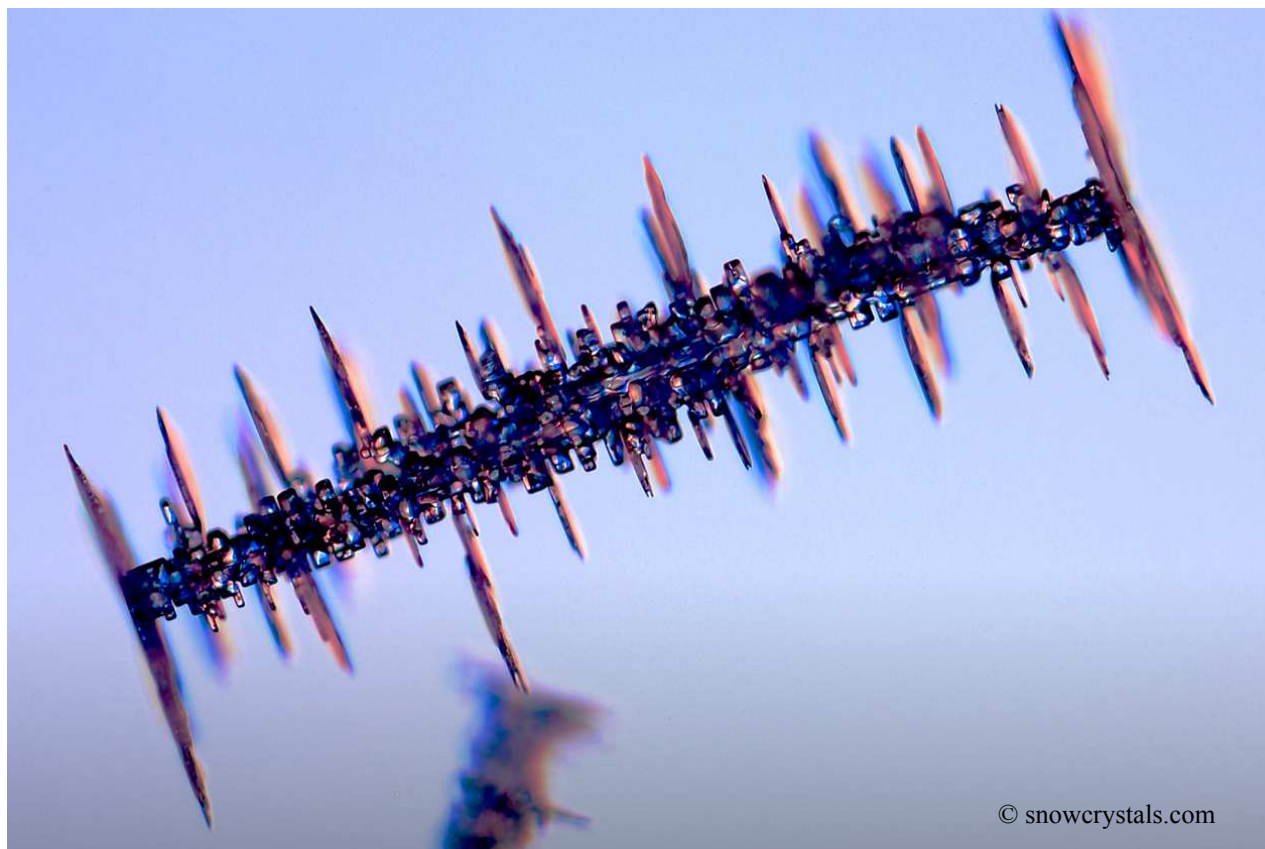
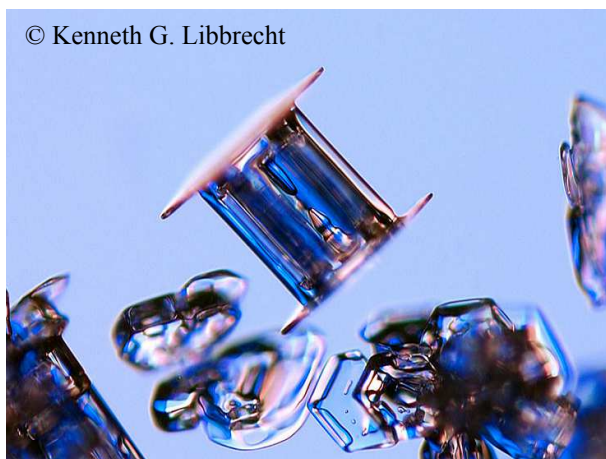
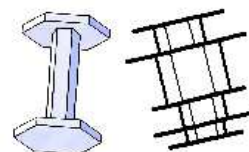
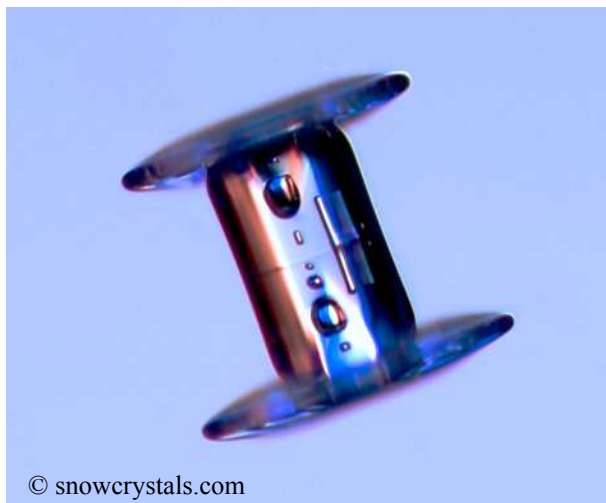
© snowcrystals.com



© Kenneth G. Libbrecht

COLUMNES CORONADES

Aquestes columnes són força rares de veure. Es tracta de prismes en els que les cares pinacoidals dels extrems mostren plaques o cristalls tabulars hexagonals més grans. Recorden un rodet de fil buit. Aquestes estructures es formen a partir d'una columna o prisma, que es forma a temperatures de -6°C . La temperatura baixa fins als -15°C la qual cosa afavoreix la formació dels cristalls tabulars plans en els dos extrems.



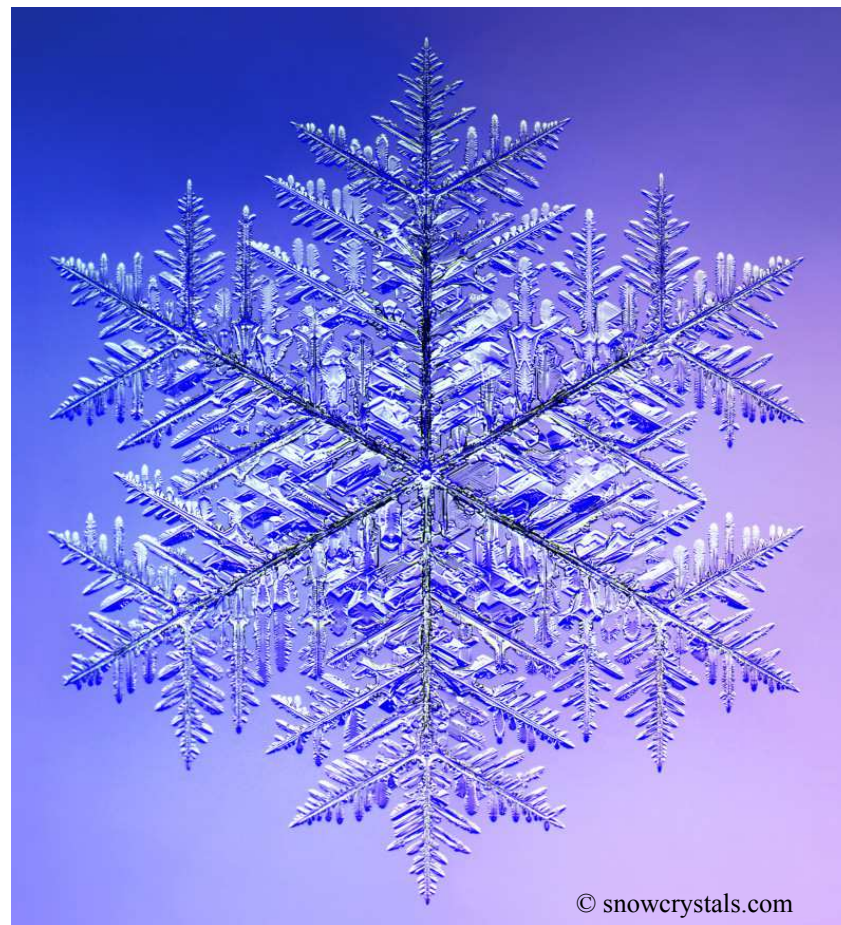


DENDRITES Tipus “FALGUERA”

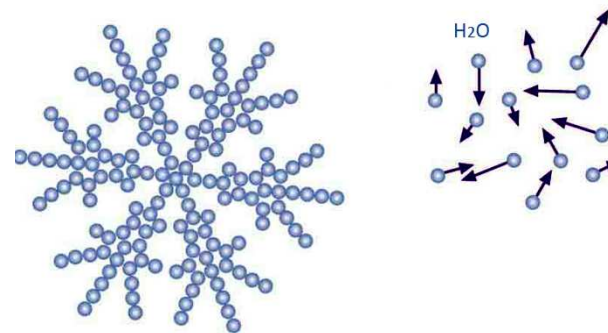
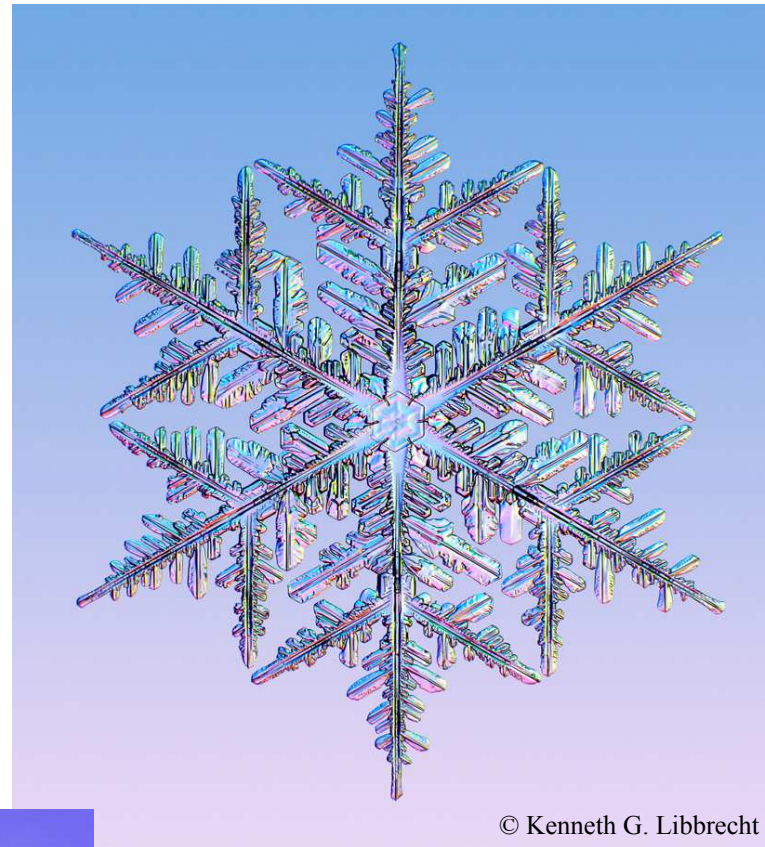
Aquests cristalls són com les dendrites estrellades, però més grans i amb més “fulles”, amb moltes ramificacions laterals que s’assemblen a les branques d’una falguera. Les ramificacions laterals de la majoria d’aquests cristalls corren paral·leles a les seves branques veïnes i no presenten una simetria perfecta. Les ramificacions laterals d’en un braç no són les mateixes que les d’altres branques. Aquests cristalls són també els més grans cristalls de neu que podem veure, de fins a 5 mm de diàmetre. El cristall més gran de la neu mai fotografiat és un monstre de 10,1 mm (baix dreta).

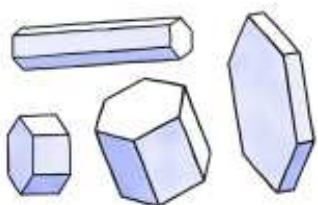


© Kenneth G. Libbrecht



© snowcrystals.com

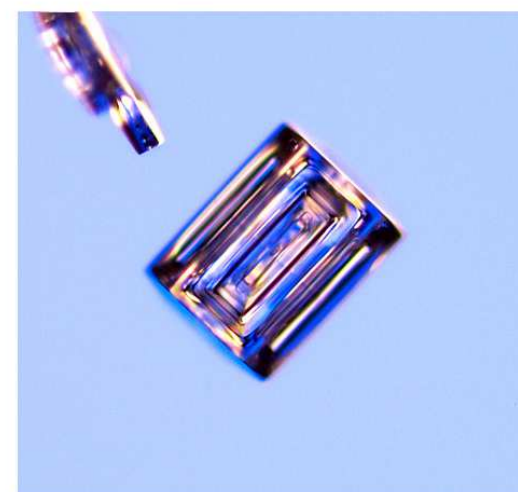
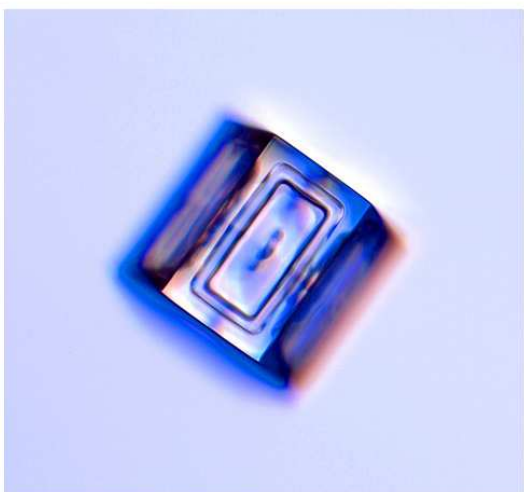
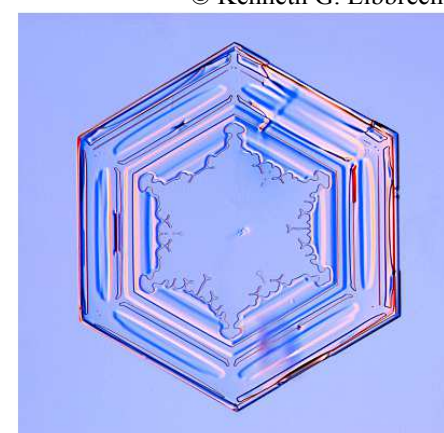
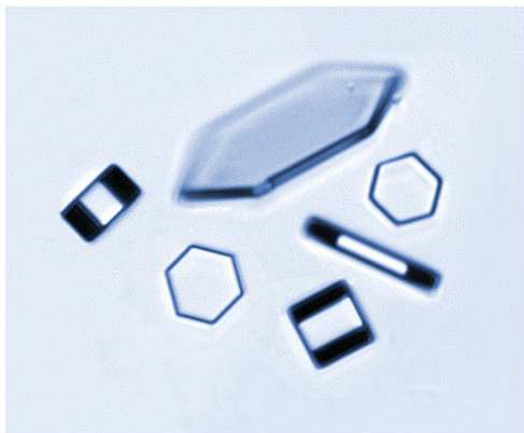




CRISTALLS TABULARS I COLUMNARS “Pols de diamant”

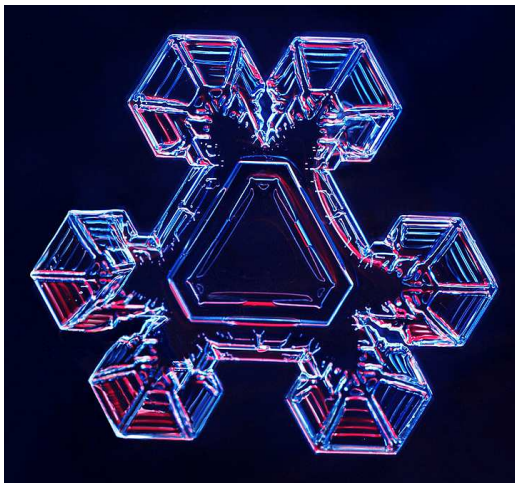
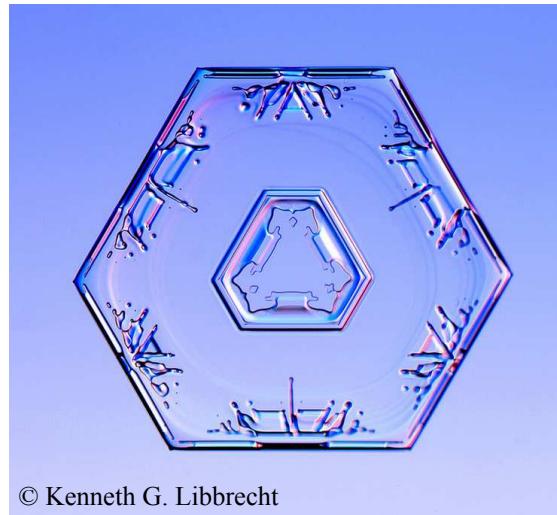
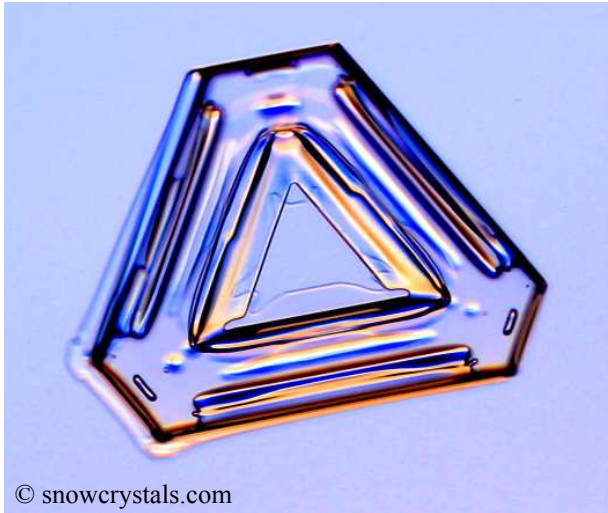
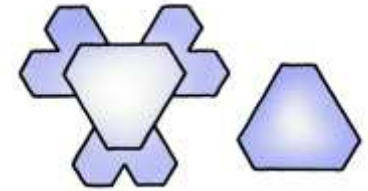
Aquests diminuts cristalls de neu es veuen com espurnes brillants a la llum del sol, que és d'on prové el seu nom. Són els més petits de tots els cristalls de neu. Molts d'ells no són més grans que el diàmetre d'un cabell humà. Se'ls veu amb més freqüència en clima fred. La forma habitual d'aquests cristalls de neu és la d'un prisma hexagonal facetat.

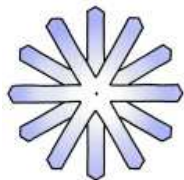
© Kenneth G. Libbrecht



CRISTALLS TRIANGULARS

Sembla ser que els efectes aerodinàmics ajuden a produir aquests inusuals cristalls de neu. En general són petits, en forma de triangles truncats. A vegades les ramificacions sorgeixen de les sis arestes, produint una simetria curiosa.



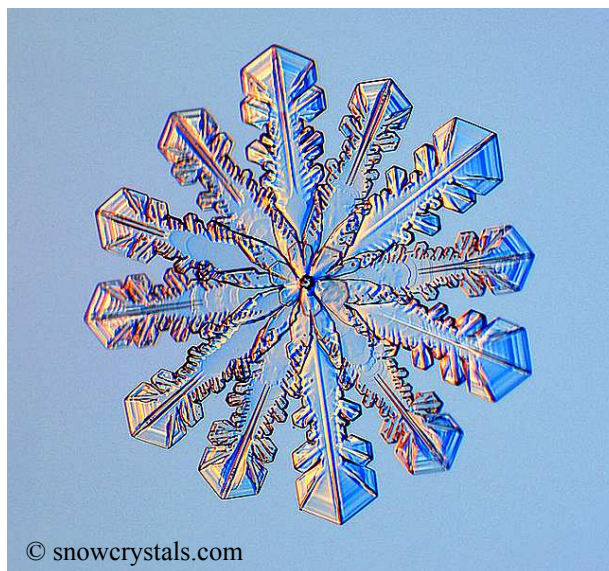


CRISTALLS DE NEU DE 12 RAMIFICACIONS

Si dos petits cristalls de neu de sis braços xoquen en l'aire, poden restar junts i créixer en un floc de neu de 12 ramificacions. Es podria pensar que aquestes col·lisions són rares, però no són massa difícils de trobar si es mira amb atenció.



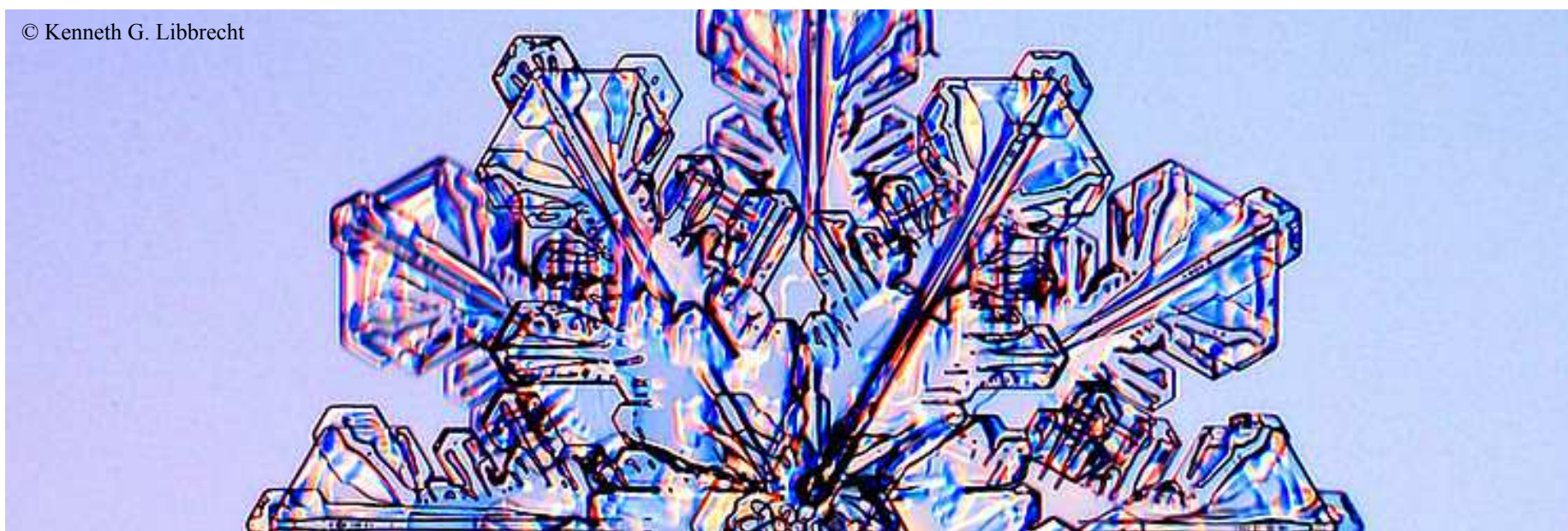
© Kenneth G. Libbrecht



© snowcrystals.com



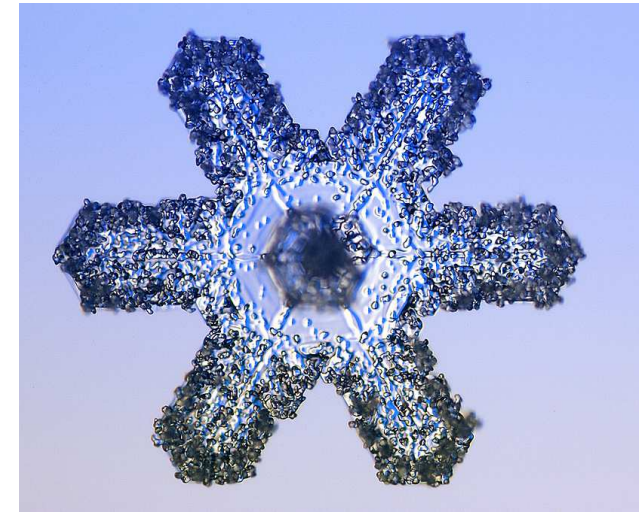
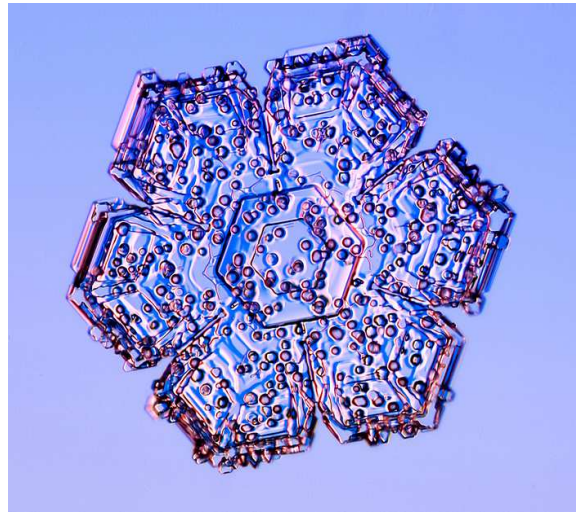
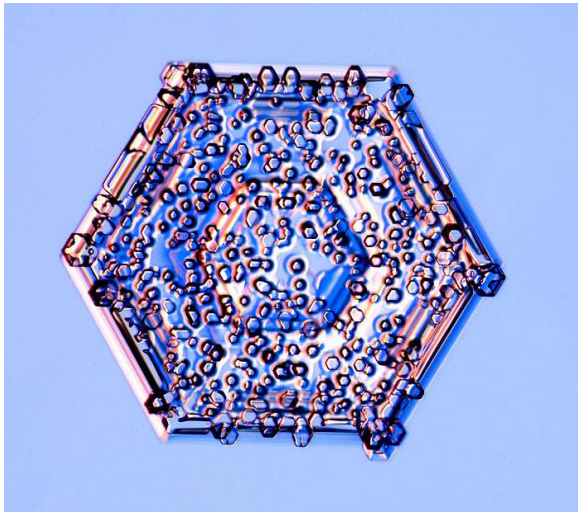
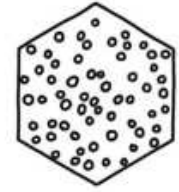
© Kenneth G. Libbrecht



© Kenneth G. Libbrecht

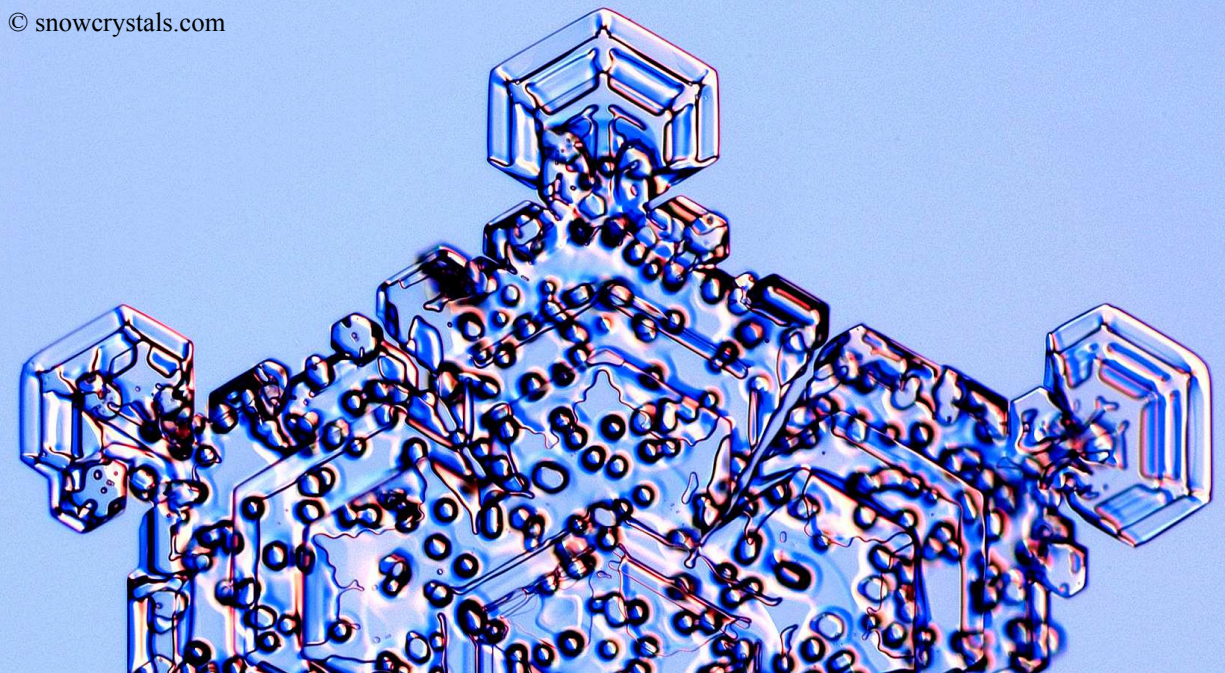
EL GEBRE I LA CALAMARSA

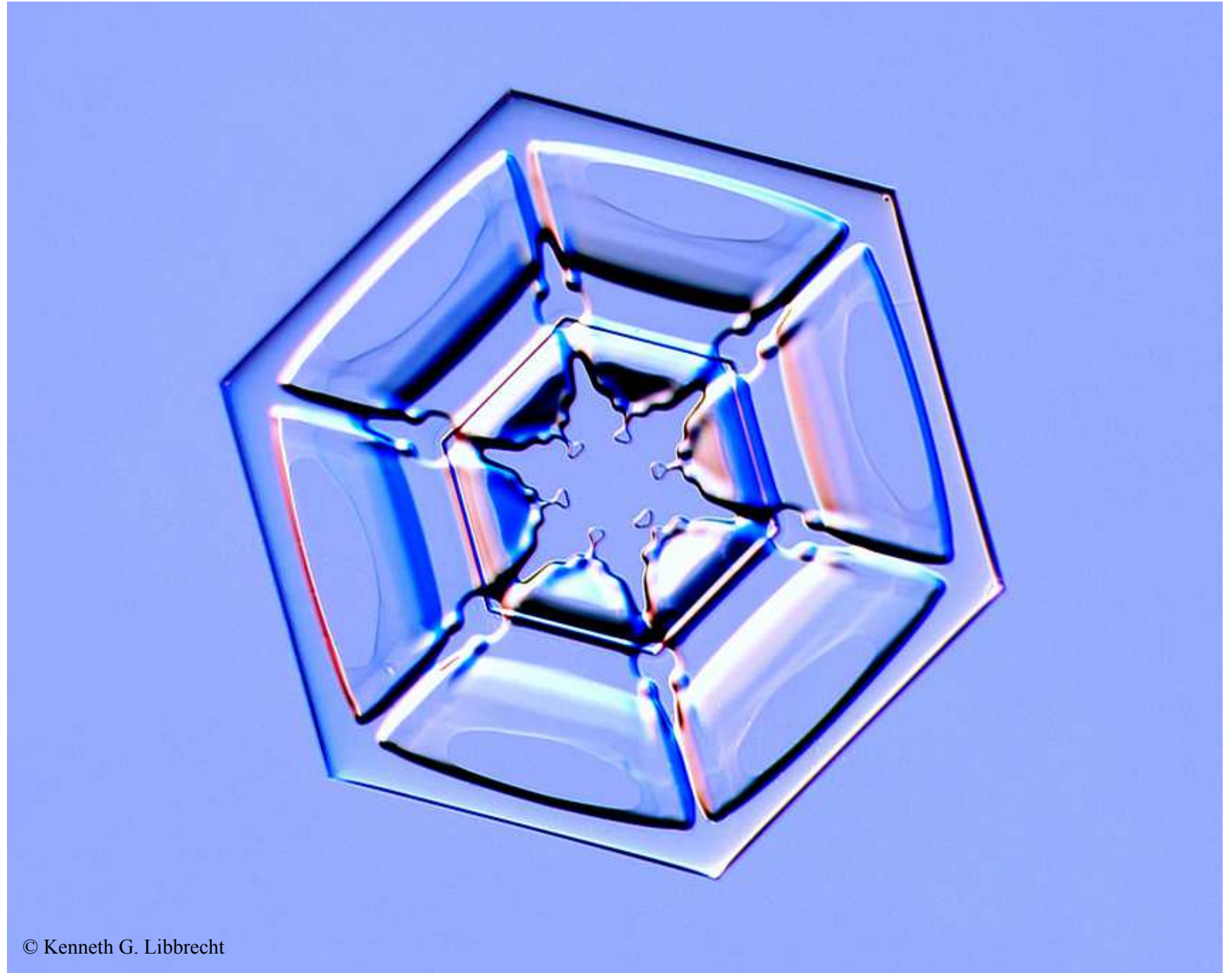
Els cristalls de neu creixen dins dels núvols fets de gotes d'aigua. Sovint, un cristall de neu xoca amb algunes gotes d'aigua, que es congelen sobre ell. Aquestes gotes es diuen gebre. Un cristall de neu pot adherir aquestes gotes de gebre i fins i tot recobrir-se totalment. Quan el gebre esdevé molt nombrós, el cristall de neu pren una forma més arrodonida i pesant i cau com a calamarsa.



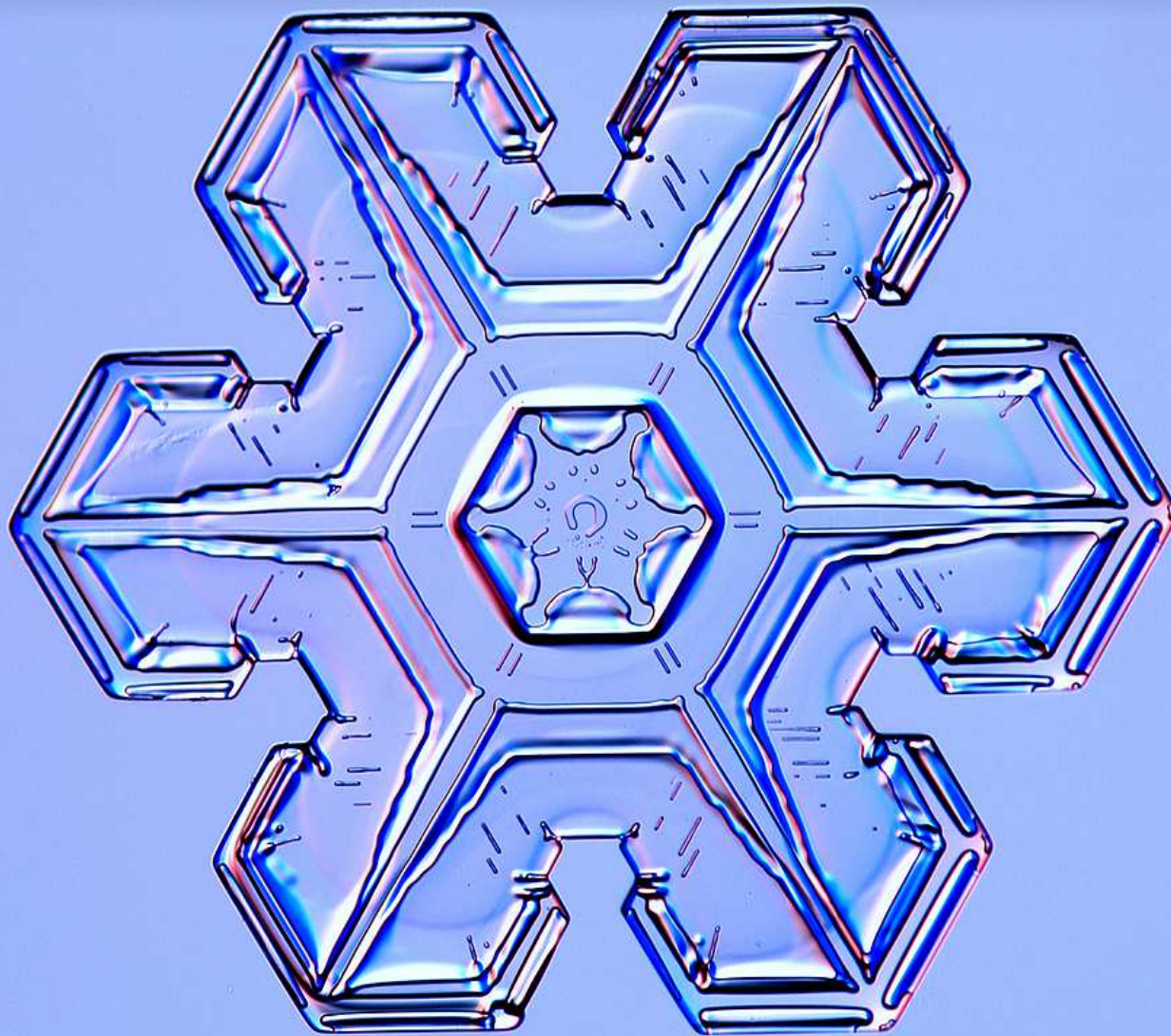
© Kenneth G. Libbrecht

© snowcrystals.com

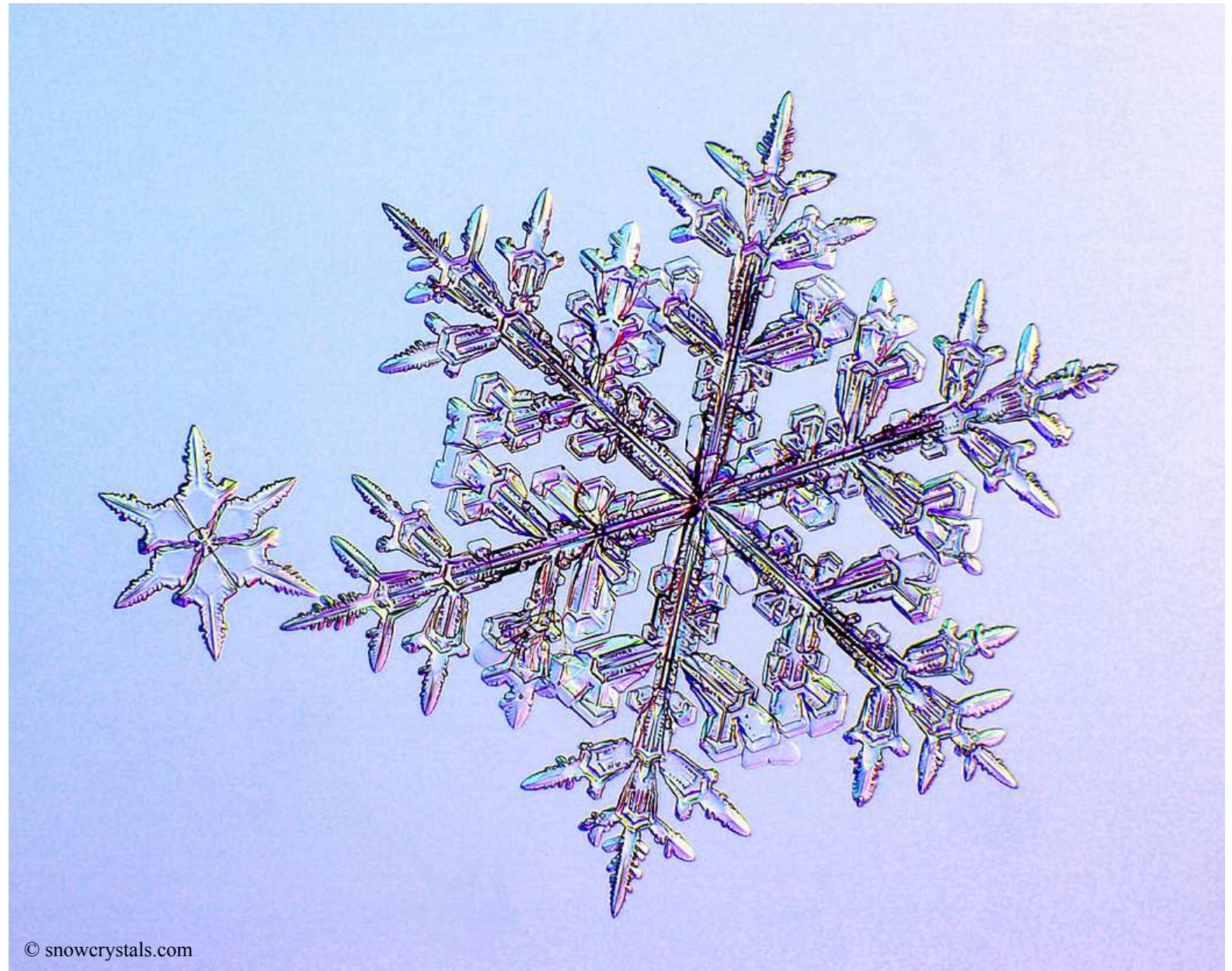




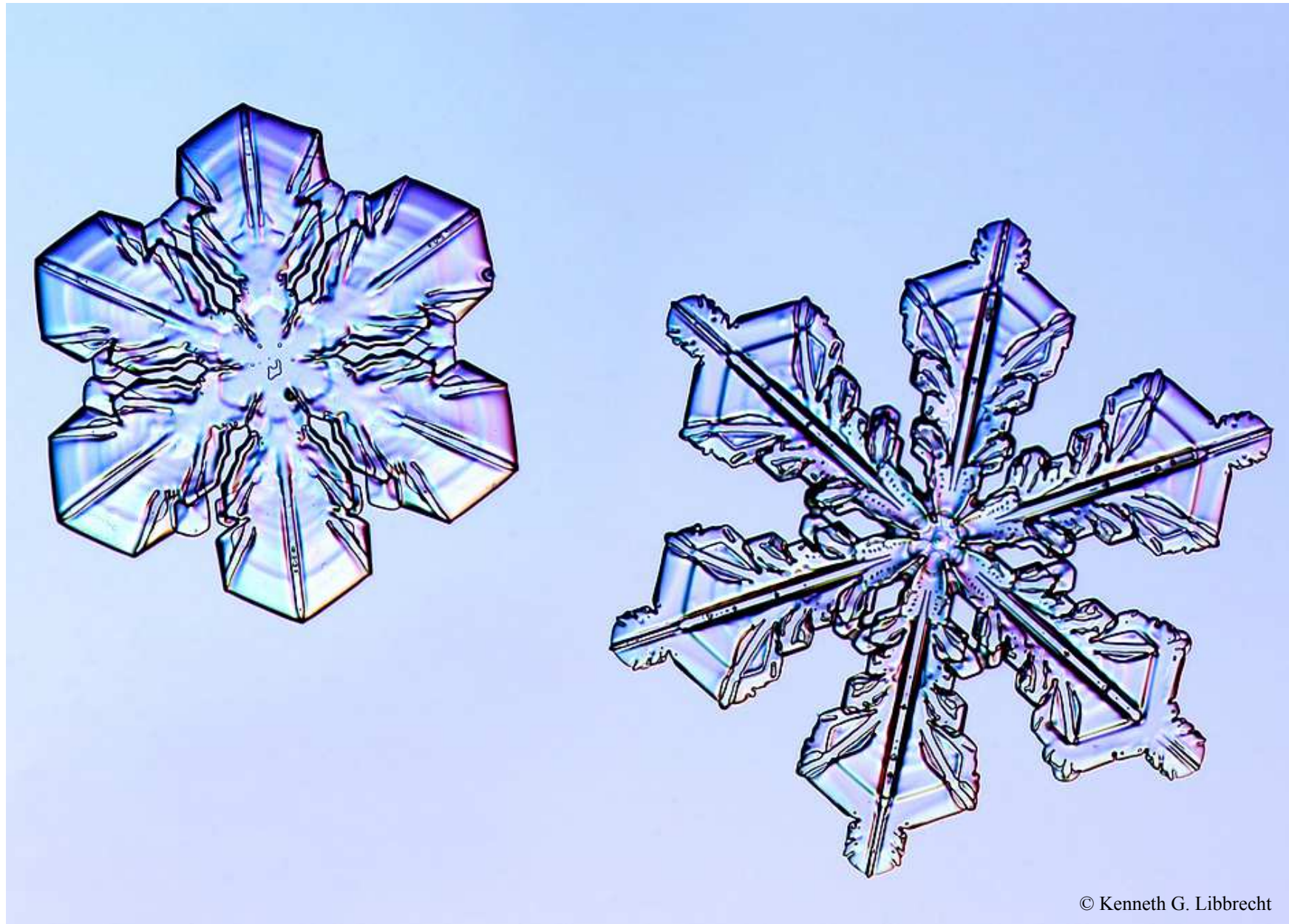
© Kenneth G. Libbrecht



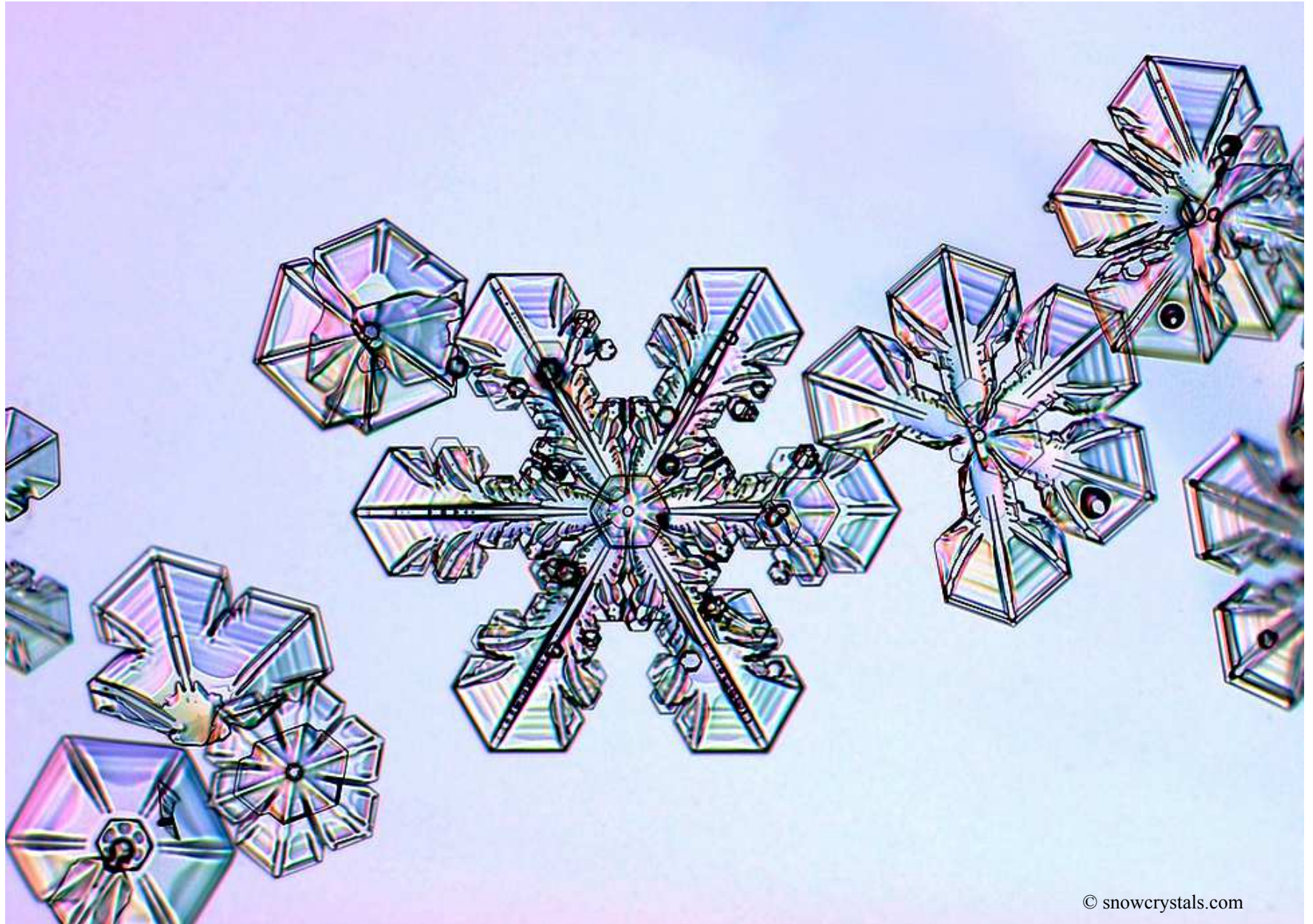
© snowcrystals.com



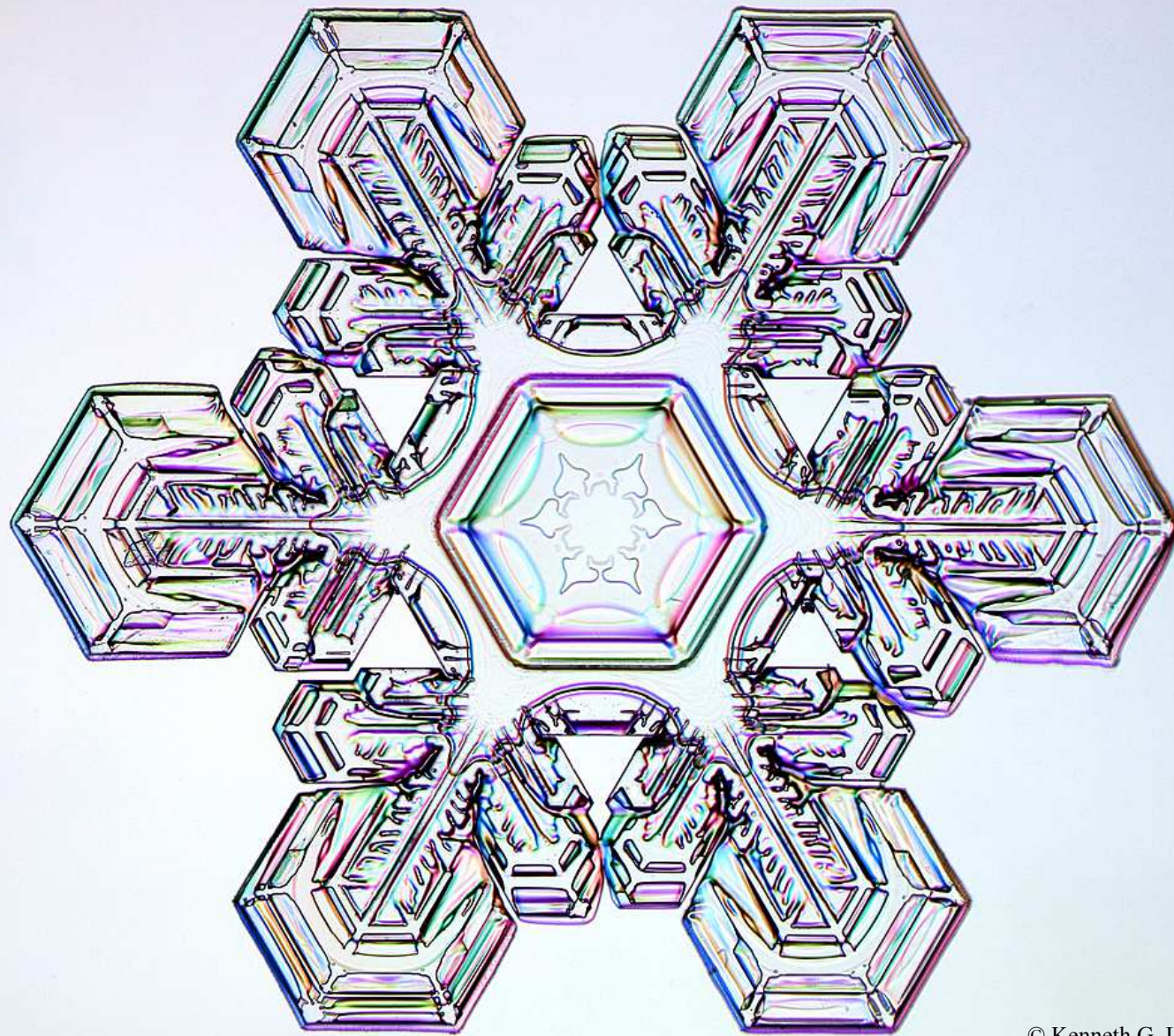
© snowcrystals.com



© Kenneth G. Libbrecht



© snowcrystals.com

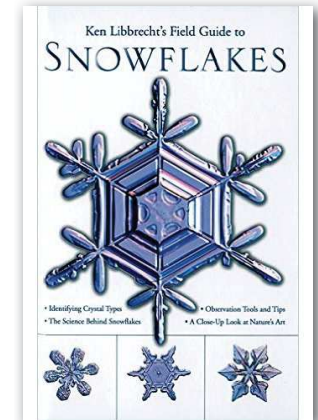
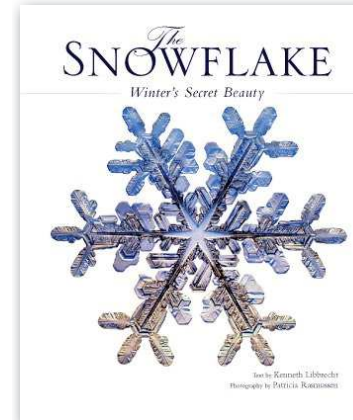
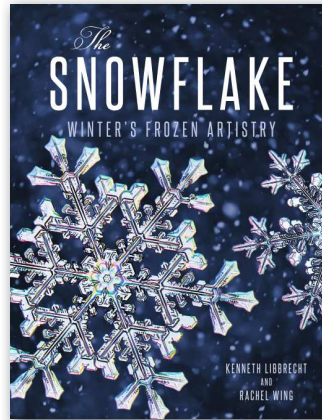
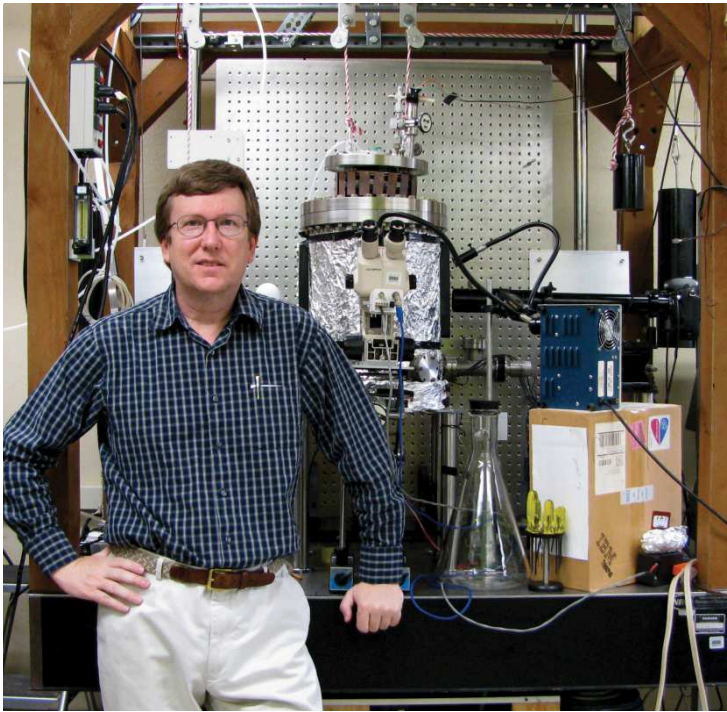


© Kenneth G. Libbrecht

QUI ÉS KENNETH G. LIBBRECHT

El Dr. Kenneth G. Libbrecht (Fargo, Dakota del Nord, 1958) és professor de física i cap de departament a l'Institut de Tecnologia de Califòrnia (Caltech) des de 1997. El Dr. Libbrecht va rebre el títol de *Bachelor of Science* en física a Caltech l'any 1980. Es va formar originalment com astrònom solar, estudiant amb Robert Dicke a la Universitat de Princeton i va rebre el seu doctorat el 1984.

Va entrar a treballar com a professor assistent a Caltech l'any 1984, en el camp de l'astrofísica, i posteriorment com a professor associat i professor de física el 1995.



Caltech

No obstant això, gran part de la seva investigació recent s'ha centrat en les propietats dels cristalls de gel, en particular l'estructura dels flocs de neu.

A més dels seus treballs professionals, ha publicat diversos llibres populars que il·lustren la varietat de formes dels cristalls de neu:

The Snowflake: Winter's Secret Beauty

(amb fotografies de Patricia Rasmussen).

Ken Libbrecht's Field Guide to Snowflakes.

The Little Book of Snowflakes.

The Art of the Snowflake: A Photographic Album.

The Snowflake: Winter's Frozen Artistry

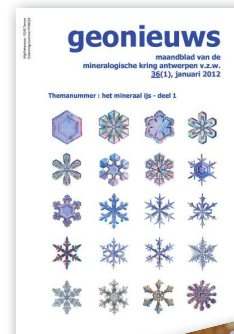
(amb fotografies de la seva dona Rachel Wing).

El Servei Postal dels Estats Units va escollir quatre fotografies de Libbrecht com a dissenys pels segells de la temporada de vacances d'hivern de l'any 2006, amb un tiratge total d'aproximadament 3.000.000 d'unitats. També diverses fotografies van ser escollides per la filatèlia austríaca.

El Dr. Libbrecht ha rebut nombrosos reconeixements. Entre ells destacar el Premi Nacional del Llibre de Natura de l'any 2004, en la categoria de Medi Ambient, per la seva obra "The Snowflake: Winter's Secret Beauty" i el Benjamin Franklin Book Award. També per la seva tasca en el desenvolupament de tècniques per a fotografiar aquests delicats cristalls, com el Lennart Nilsson Award (2010) per *les seves fotografies de cristalls de neu, que converteixen les matemàtiques, física i química en imatges de gran bellesa*. Fotografies seves han estat portada de nombroses revistes científiques de nivell internacional.

A la seva pàgina web podreu trobar tota aquesta i més informació sobre la seva feina en aquest meravellós camp de la ciència.

www.snowcrystals.com



Sabíes que...

L'Institut Caltech (a Pasadena, Califòrnia), té un enfocament en ciències naturals i enginyeria i és una de les principals universitats del món en tot el que es refereix a la nominació i nombre de guanyadors del Premi Nobel.

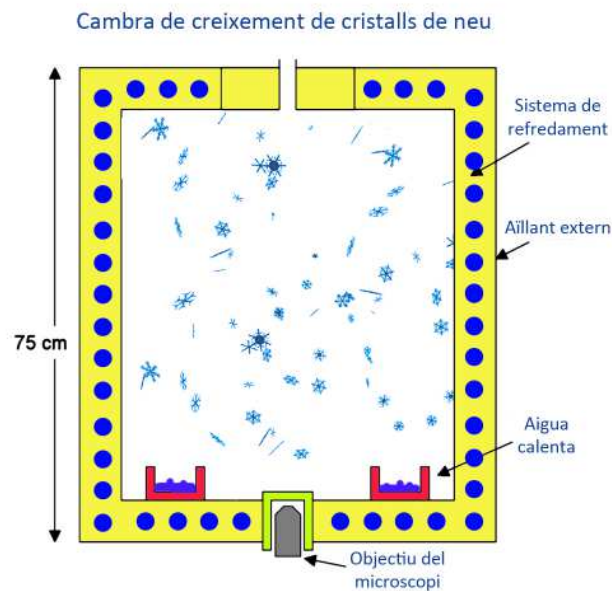
A més, és on treballen com a científics els protagonistes de la sèrie de televisió The Big Bang Theory.



COM ES PODEN FER CRISTALLS DE NEU

El Dr. Libbrecht utilitza un “cambra de cristalls de neu” per obtenir un gran nombre de petits cristalls de gel hexagonals. Aquest aparell està format per una cambra aïllada de l'exterior i que es pot refredar de forma controlada a la temperatura desitjada.

A l'interior de la cambra s'introdueix aigua calenta que genera vapor d'aigua. La humitat dins de la cambra assoleix la sobresaturació. Aleshores s'introdueix un petit fragment de gel sec (CO_2 sòlid que es troba a $-78,5^\circ\text{C}$). Les milions de gotetes de la humitat de la cambra troben aquí la seva “llavor” per començar la nucleació i el creixement cristal·lí. Els cristalls formats són molt petits però quan il·luminem la cambra amb una llum potent o un làser veiem com brillen les cares dels cristalls de neu formats.



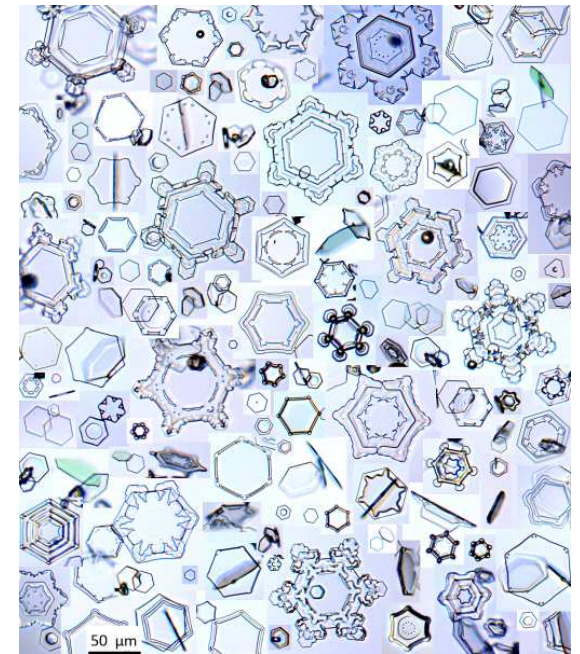
Els cristalls van creixent i el seu pes els fau descendre cap a la part inferior de la cambra. Comencen a caure, generalment, després d'un minut o dos, aquest temps de caiguda és el que limita la mida dels cristalls. Aquest mètode va ser presentat per primera vegada per Vincent Schaefer al laboratori d'investigació de la General Electric Co. l'any 1946.

En una nevera com les que tenim a casa podríem reproduir aquest mètode. Només ens cal trobar una mica de CO_2 sòlid...

Aquesta imatge es mostra un *collage* de moltes fotografies de cristalls de neu obtingudes en el nostre congelador. Aquests cristalls van ser cultivats quan la temperatura de la cambra era -15°C , justa per fer les plaques primes i les estrelles. Hi ha una petita barra d'escala de 50 micres a la part inferior de la imatge. Aquest és sobre el diàmetre d'un cabell humà.

Aquests cristalls es van cultivar emprant aigua molt calenta, així ens assegurem d'un alt nivell d'humitat en l'aire dins la cambra. Una alta humitat implica cristalls més complexos, amb molta estructura. Amb aigua a baixes temperatures, la humitat és més baixa i es formen bàsicament plaques hexagonals simples.

Modificant les temperatures de la cambra podrem obtenir els diferents tipus de cristalls de neu que hem vist anteriorment.



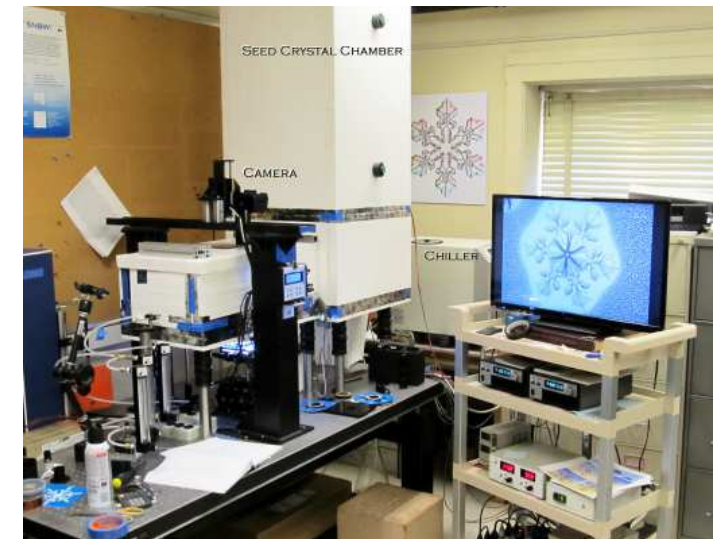
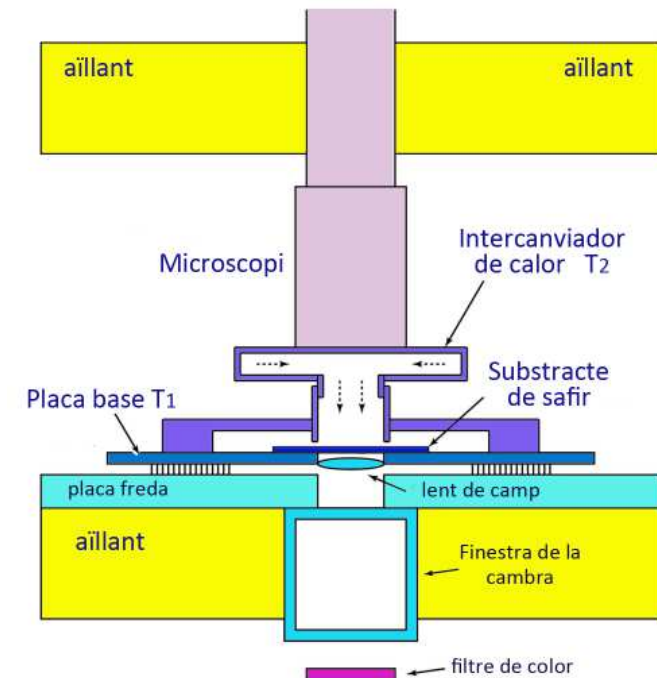
Com treballa el Dr. Libbrecht? Ens explica:

Començo amb un gran nombre de petits cristalls de gel hexagonals que hem obtingut al “congelador de flocs de neu”. En coloco alguns sobre un substrat de safir (el vidre també funciona molt bé, però el de safir no es ratlla).

Aleshores precipitem aire humit suaument, cap avall, sobre el cristall. Aquesta humitat, sota la temperatura controlada, fa que el petit cristall de gel vagi creixent. Ho controlem mitjançant el microscopi i una càmera de TV que ens permet veure'l evolucionar en temps real. Un cristall de creixement ràpid pot trigar uns 15 minuts, però n'he deixat que alguns creixin durant 2 o 3 hores.

Les cares i arestes dels cristalls de neu artificials són molt definits, molt marcats. Els naturals tendeixen a tenir les vores més arrodonides, ja que pateixen una certa evaporació un cop surten dels núvols.

De vegades, nombroses gotetes d'aigua es condensen sobre el substrat de safir. Les petites gotes són com el baf que es forma en un mirall quan es respira sobre ell. El gel absorbeix vapor d'aigua de l'aire del seu entorn, per això no hi ha gotes de condensació prop dels cristalls.



Aquests cristalls de neu creixen sobre un petit peu de gel que es forma en el seu centre, com si fos un bolet... Aquest peu és extremadament petit però molt resistent. Inclús els grans cristalls resten en equilibri sobre aquest peu.

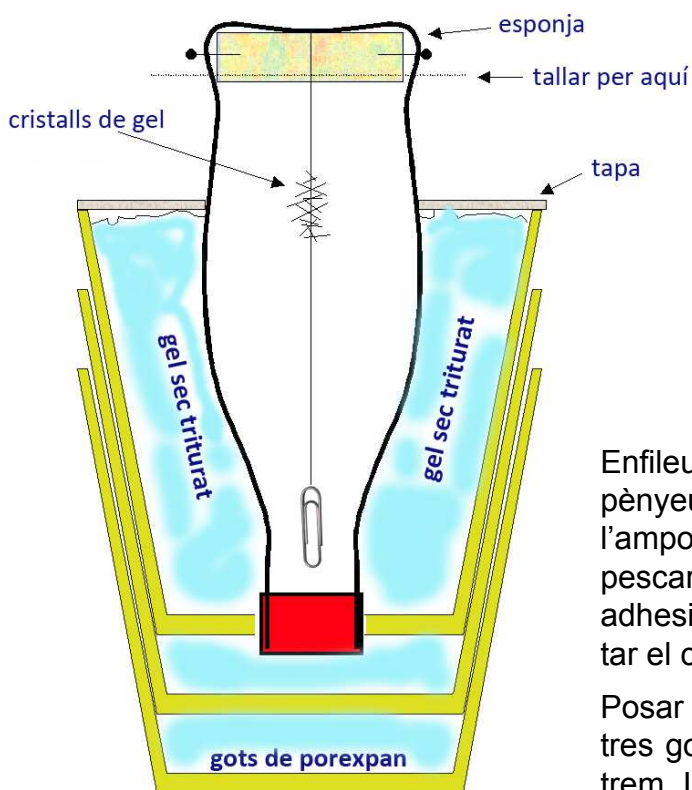
Si voleu entendre millor el funcionament dels aparells per generar i fer créixer els cristalls de neu podeu consultar l'article:

Libbrecht, K. (2015): An experimental apparatus for observing deterministic structure formation in plate-on-pedestal ice crystal growth. <http://arxiv.org/abs/1503.01019v1>. Cornell University Library. [on-line]

FES ELS TEUS CRISTALLS DE NEU

Et caldrà disposar de:

- Una ampolla de plàstic de mig litre.
- 3 gots de poliestirè (porexpan) de gran diàmetre.
- 1 esponja petita, de les de cuina.
- 1 troç fil de niló, dels de pecar.
- 1 agulla de cosir que sigui forta.
- 4 agulles de cosir de cap.
- 1 clip metàl·lic.
- Tovallolletes de paper.
- Gel sec - CO₂ sòlid



Després d'esbandir l'ampolla, utilitza un ganivet esmolat o un cutter per tallar el cul de l'ampolla en dues parts, al voltant de 3 cm. per sobre del cul de l'ampolla, com es mostra a la figura.

Feu un forat al centre de la part inferior de l'ampolla utilitzant una agulla i quatre més als laterals. Encaixeu l'esponja al fons de l'ampolla que heu tallat i la fixeuen el seu lloc col·locant les quatre agulles en els orificis laterals.

Enfileu el fil de pescar a l'agulla de cosir i empènyeu l'agulla a través del forat del fons de l'ampolla i a través de l'esponja. Fixeu el fil de pescar al fons de l'ampolla amb un tros de cinta adhesiva i feu un nus a l'altre extrem per subjectar el clip de paper.

Posar l'ampolla invertida dins del primer dels tres gots de poliestirè de manera que us mostrem. La podeu enganxar al cul del got pel tap,

tot depèn de la mida dels gots de poliestirè. Hi ha d'haver al voltant d'uns 3 cm. d'espai lliure entre els costats de l'ampolla i la part superior dels vasos de poliestirè.

Gel sec - CO₂: El podeu trobar per internet. Fins i tot us l'envien a casa... Podeu comprar per exemple 5 Kg i en tindreu de sobres. Per manipular-lo cal usar guants ja que es troba a -60 a -70°C i pot provocar cremades per fred. Però encara que fumegi no és perillós...

Ara agafeu la part superior que conté l'esponja i humitejeu-la amb una mica d'aigua i torneu-la al seu lloc.

Ompliu de gel sec triturat (amb un martell ho podreu fer) els vasos de poliestirè, sobretot el que conté l'ampolla. Amb una cullera aneu-lo distribuint homogeniament. Cobrir amb un tros de cartró tallat o amb algunes tires de tovallola de paper. És també una bona idea embolicar els vasos amb algunes tovalloles de paper al voltant de la part superior, per evitar la "transpiració".

Assegureu-vos d'afegir la major quantitat de gel sec com sigui possible a les copes, i afegir més gel sec de tant en tant. Si l'experiment no funciona, és probable que sigui a causa que el nivell de gel sec és massa baix.

Els cristalls petits de gel es començaran a formar en el fil després de 5 a 10 minuts, i després d'una hora tindreu un bon grapat de cristalls.

Si la cosa no va a la primera, podeu treure el cul de l'ampolla i netejar el fil amb els dits i tornar-ho a provar. També podeu colpejar els cristalls de les parets de l'ampolla balancejant el clip de paper.



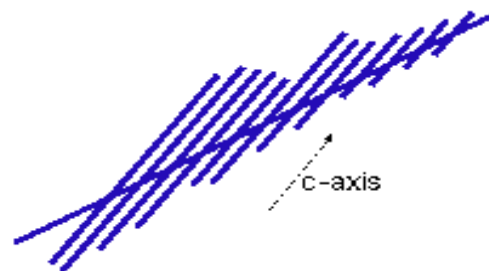
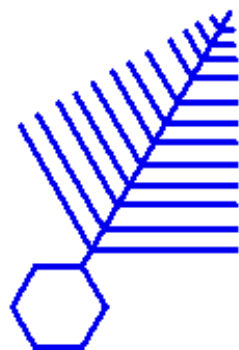
© Kenneth G. Libbrecht

La primera imatge mostra el conjunt del muntatge. Podeu observar els petits cristalls que han cregut al fil de pescar.

Espines de peix i dendrites. Si es mira de prop, es pot observar tant el creixement en forma d'agulla i en forma de placa. Les formes més fàcils d'identificar són les dendrites que es formen a -15°C , especialment si es deixa que els cristalls creixin. Per sobre d'aquests es formaran les *espines de peix*, que són un tipus de creixement que es dona a -5°C . Els cristalls en *espina de peix* tenen una aparença com de plomes, i cadascuna de les branques individuals és un cristall de tipus agulla creix al llarg de l'eix.

Les dendrites. Tenen una forma semblant a una falguera, i els angles entre les branques i la tija són gairebé de 60° . La placa hexagonal en l'esbós ens mostra l'orientació del creixement dels cristalls.

Mireu altres parts de l'ampolla a la recerca d'altres cristalls...



© Kenneth G. Libbrecht



Trobareu més experiments
amb el fred a:

www.snowcrystals.com

AGRAÏMENTS

Voldria agrair al Dr. Kenneth Libbrecht les facilitats per obtenir imatges, continguts i consells per a confeccionar aquesta introducció als cristalls de neu.

I would like to thank Dr. Kenneth Libbrecht facilities for get pictures, contents and comments for making this short introduction to snow crystal science.

