

Секрети краси СНІЖИНОК

Сніжинки – це листи, надіслані
з небес і написані таємними ієрогліфами...
Укітіро Накая



Роберт Гук

Йоганн Кеплер



Завжди шестикутні

Напевно, кожен з нас хоч раз у житті спостерігав, як, кружляючи, повільно падали сніжинки, даруючи нам можливість насолоджуватися їхньою красою.

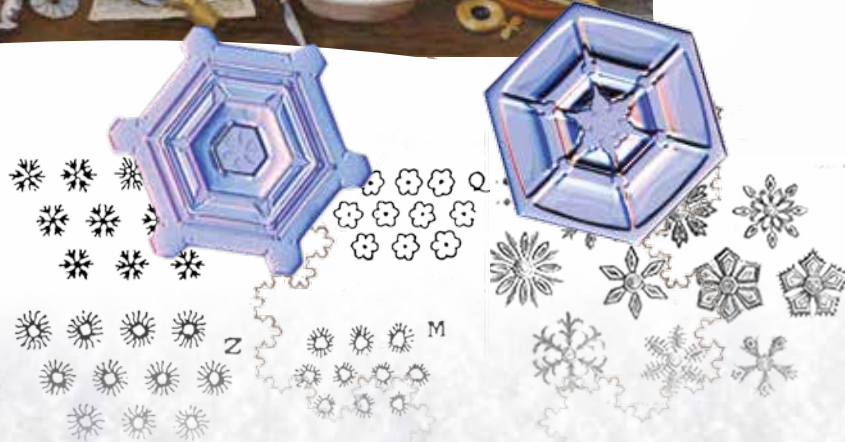
Сніжинки зачаровують та дивують різноманіттям форм. Ти сам можеш створити неповторні новорічні сніжинки з паперу, а природа мимохідь формує мільйони несхожих і довершених кристаліків льоду з однаковісінських молекул води. Як це їй так легко і невимушено вдається?

Одна з найбільш ранніх згадок про сніжинки датована II ст. до н. е. У трактаті, написаному в Китаї у 135 році до нашої ери, сказано: „Квіти рослин і дерев зазвичай мають п'ять пелюсток, а сніжинки завжди шестикутні...” Описання сніжинок знаходимо в роботах відомих вчених, як-от Йоганн Кеплер, Рене Декарт, Роберт Гук.

Йоганн Кеплер відкрив людству закони руху планет. Наприкінці трактату „Новорічний подарунок шестикутного снігу” (1611 рік) він зізнався, що дуже далекий від того, щоб „осягнути справжню природу цього явища”.

Рене Декарт уперше пов'язав геометрію й алгебру, створивши аналітичну геометрію, і визначив подальший розвиток математики та фізики. У праці „Метеори” (1637 рік) він із захопленням описує свої спостереження за сніжинками і наводить малюнки десяти різних їхніх типів.

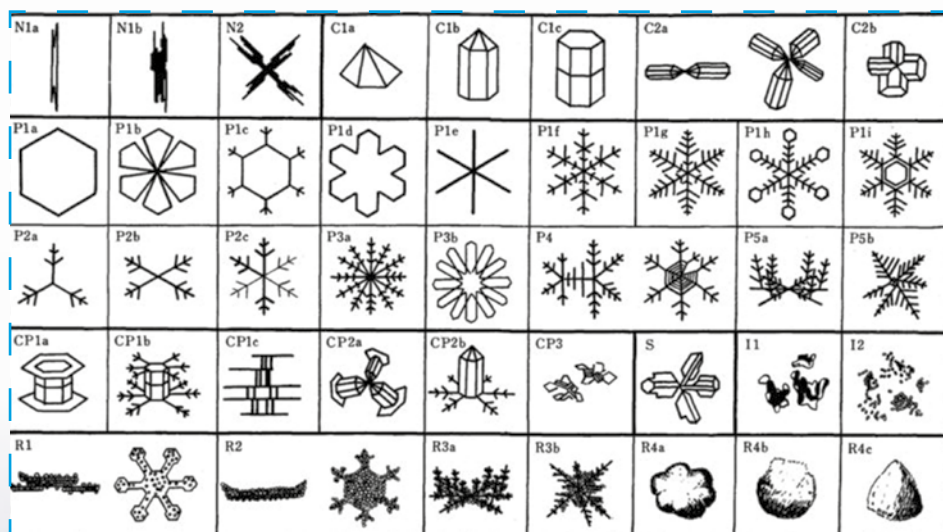
Роберт Гук – учений-енциклопедист, один із засновників експериментальної фізики, автор знаменитого закону Гука, багатьох відкриттів в астрономії та біології. Саме він ввів поняття „клітина” (*cellula*) через схожість з тісними монашими келіями. У фундаментальній праці „Мікрографія” (1665 рік) серед вражаючих ілюстрацій побаченого у власноруч виготовлений мікроскоп Роберт Гук наводить малюнки сніжинок у збільшенні і зізнається: „Навіть у найпростіших діях природи ми ще неuki”.



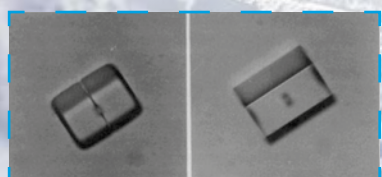


Красу і різноманіття сніжинок поетично пояснює Борис Вейнберг у книзі „Сніг, іній, град, лід і льодовики”, яка вийшла в Одесі у 1909 році: „Кожна сніжинка плоттю і кров’ю записує метеорологічні показники на шляху свого падіння”. Змінюються навколишні умови, і на сніжинці наростають нові „гілочки”. Але цей вишуканий запис є для нас ієрогліфами, які важко зрозуміти. Науковці намагаються розшифрувати їх та дізнатися більше про умови виникнення і росту сніжинок. Можливо, їм не вистачає саме твоїх ідей і насаги.

Уперше штучно виростити сніжинку вдалося японському фізику Укітіро Накая, фахівцю в галузі рентгенівського випромінювання. В університеті Хоккайдо, де він отримав посаду доцента, не було потрібного йому обладнання, і Укітіро Накая почав вивчати сніг, якого навколо було вдосталь. Три роки поспіль він намагався штучно виростити сніжинку, аж поки випадково не побачив льодовий кристал на кінчику волосинки хутра кролика. Така ж волосинка і стала ключовим елементом обладнання, на якому 12 березня 1936 року вперше в історії людства вдалося штучно відтворити маленьку небесну гостю.



Класифікація снігових кристалів за Накая



Подвійні призми



Пірамідальні кристали

12-кутні сніжинки

Як утворюються сніжинки?

Формування снігових опадів в атмосфері залежить від багатьох факторів, але головним чином від температури навколишнього середовища і вологості повітря. Спочатку в результаті конденсації водяної пари у висхідній теплій повітряній масі формується хмара. Тільки-но температура в хмарі падає нижче 0°C , виникають умови, сприятливі для утворення снігу. За температури приблизно -5°C ядра кристалізації, присутні в атмосфері, формують найдрібніші кристали льоду – майбутні сніжинки. Рухаючись всередині хмари, кристалики льоду ростуть завдяки переходу водяної пари безпосередньо з газоподібної фази у тверду.

Типовою і найбільш поширеною формою снігових кристалів є пластинчаста шестигранна призма, що обумовлено особливістю будови молекул води і їхнім взаємним розташуванням у кристалічній ґратці льоду. Зазвичай молекула води містить два атоми Гідрогену ^1H і один атом Оксигену ^{16}O . Однак у природі трапляються ізотопи, брати наших атомів. Ізотопи відрізняються різною кількістю нейтронів у ядрі. Найбільш поширені ізотопи Гідрогену – протій ^1H і дейтерій ^2H , а Оксигену – ізотопи ^{16}O і ^{18}O . Отже, не всі молекули води однакові! Приблизно одна молекула природної води з кожних 3–4 тис. має замість одного з атомів протію ^1H атом дейтерію ^2H , ядро якого складається з одного протона та одного нейтрона, і кожна 500 молекула замість звичайного ^{16}O містить ізотоп Оксигену ^{18}O . Таким чином, середньостатистичний кристалик снігу містить приблизно 10^{15} (мільйон мільярдів) молекул, які відрізняються від основної маси. Ці незвичайні молекули, безладно розсіяні по об’єму кристалу снігу, надають йому унікальної і неповторної структури. Ймовірність, що два кристали снігу мають однакове розташування цих молекул, дуже і дуже мала. Саме у цьому вчені вбачають причину неповторності сніжинок.

Іншою причиною різноманіття кристалів снігу є чутливість до зовнішніх умов, які постійно змінюються. Сніжинка падає, пролітаючи крізь різні шари повітря, і її остаточна форма відображає всі навколишні зміни. Фахівці крижаних кристалів стверджують, що найкрасивіші сніжинки потребують мінімальної вологості і відсутності вітру. Тоді вода і вітер не руйнують їхні візерунки.





Є різні пояснення, чому сніжинки мають симетричну форму. І справді, завдяки чому всі шість променів сніжинки виростають однаковими? Невже заздалегідь домовились? Адже, на відміну від морських зірок, сніжинки не мають ендокринної та нервової регуляції, щоб узгоджувати процеси в різних частинах тіла. Стандартним поясненням є те, що сніжинки ростуть у вільному просторі, і їхня форма визначається змінами, що відбуваються навколо них. Враховуючи, що зовнішнє середовище навкруги маленької сніжинки однакове, а вона повільно падає й обертається, зміна температури та вологості охоплює сніжинку з усіх боків. Тому вона росте однаково в усіх шести напрямках і виростає симетричною красунею.

У 1957 році Дан МакЛаклан пояснив симетрію сніжинки внутрішнім фактором, а саме, наявністю термічних та акустичних стоячих хвиль, які виникають в ній в процесі росту. Це щось схоже на коливання струни музичного інструмента, коли на ній виникає стояча хвиля і коливання у різних частинах відбуваються з різною інтенсивністю. Що менша інтенсивність, то зручніше молекулам води з повітря приєднуватись до льоду.

Інше цікаве запитання: чому сніжинка плоска, чому вона не росте в усі боки? Відповідь доволі проста: вигляд майбутньої сніжинки переважно визначається її початковою формою і потоком зовнішнього середовища. Якщо сніжинка має вигляд стовпчика, то вона падає вертикально вниз. Потік набігає на торець цієї витягнутої вертикальної призми. Вздовж її бокових сторін повітря летить з великою швидкістю, і тому такий кристал росте з торця.

Зазвичай сніжинка зароджується у вигляді плоскої призми. У такому разі траєкторія руху сніжинки дуже складна: вона обертається і ковзає у повітрі, наче осінній лист. Швидкість падіння становить від 0,1 м/с до 2 м/с. Повз сніжинку летить потік повітря, який забез-

	N1a Elementary needle		C1f Hollow column		P2b Stellar with sectorlike ends
	N1b Bundle of elementary needles		C1g Solid thick plate		P2c Dendrite with plates at ends
	N1c Elementary sheath		C1h Thick plate of skeletal form		P2d Dendrite with sectorlike ends
	N1d Bundle of elementary sheaths		C1i Scroll		P2e Plate with simple extensions
	N1e Long solid column		C2a Combination of bullets		P2f Plate with sector extensions
	N2a Combination of needles		C2b Combination of columns		P2g Plate with dendrite extensions
	N2b Combination of sheaths		P1a Hexagonal plate		P3a Two branches
	N2c Combination of long solid columns		P1b Sector plate		P3b Three branches
	C1a Pyramid		P1c Broad branch		P3c Four branches
	C1b Cup		P1d Stellar		P4a Broad branch with 12 branches
	C1c Solid bullet		P1e Ordinary dendrite		P4b Dendrite with 12 branches
	C1d Hollow bullet		P1f Fernlike dendrite		P5 Malformed crystal
	C1e Solid column		P2a Stellar with plates at ends		P6a Plate with spatial branches

	P6b Plate with spatial dendrites		CP3d Plate with scrolls at ends		R3c Graupel-like with nonrimed extensions
	P6c Stellar with spatial plates		S1 Side planes		R4a Hexagonal graupel
	P6d Stellar with spatial dendrites		S2 Scalelike side planes		R4b Lump graupel
	P7a Radiating assemblage of plates		S3 Side planes with bullets and columns		R4c Cone-like graupel
	P7b Radiating assemblage of dendrites		R1a Rimmed needle		I1 Ice particle
	CP1a Column with plates		R1b Rimmed columnar		I2 Rimmed particle
	CP1b Column with dendrites		R1c Rimmed plate or sector		I3a Broken branch
	CP1c Multiple capped column		R1d Rimmed stellar		I3b Rimmed broken branch
	CP2a Bullet with plates		R2a Densely rimmed plate or sector		I4 Miscellaneous
	CP2b Bullet with dendrites		R2b Densely rimmed stellar		G1 Minute column
	CP3a Stellar with needles		R2c Stellar with rimmed spatial branches		G2 Germ of skeletal form
	CP3b Stellar with columns		R3a Graupel-like snow of hexagonal type		G3 Minute hexagonal plate
	CP3c Stellar with scrolls at ends		R3b Graupel-like snow of lump type		G4 Minute stellar
					G5 Minute assemblage of plates
					G6 Irregular germ

Мал. 1. Класифікація сніжинок
Чожі Магона й Чунг Ву Лі

печує надходження молекул води (речовини, що кристалізується) з вузької бічної грані. Саме тому бічна грань росте швидко. Водночас молекули води пролітають паралельно плоскій грані сніжинки і не прилипають до неї. Оскільки, падаючи, сніжинка обертається, вона росте симетрично з усіх боків.

Температура замерзання води залежить від діаметра краплі. Як не дивно, що менший діаметр, то нижча температура замерзання. Наприклад, за діаметра 1,57 мм (дрібний дощ) температура замерзання становить -6,4 °C, за діаметра 0,24 мм (мжичка) це значення зменшується до -13,3 °C, а за діаметра 0,06 мм (великі краплі туману) – до -18 °C. У краплях хмар діаметром приблизно 0,02 мм температура замерзання води може бути ще нижчою. Це тому, що чим менший розмір краплі, то менша ймовірність утворення центру кристалізації. Якщо такий центр з'явиться, крапля майже миттєво перетворюється на лід. Ось чому це становить небезпеку для літаків, які під час польоту швидко вкриваються шаром льоду.

На сьогодні є багато відомостей щодо видів і типів сніжинок, але найбільш точною вважають класифікацію (мал. 1), яку розробили у 1966 році Чожі Магона й Чунг Ву Лі на основі класифікації Укітіро Накая. Вона містить достатньо деталей, щоб описати майже всі типи кристалів. Кожен тип поділяється на кілька видів, які також мають свої різновиди. Всього розрізняють приблизно 80 різновидів хмарних кристалів і частинок опадів.



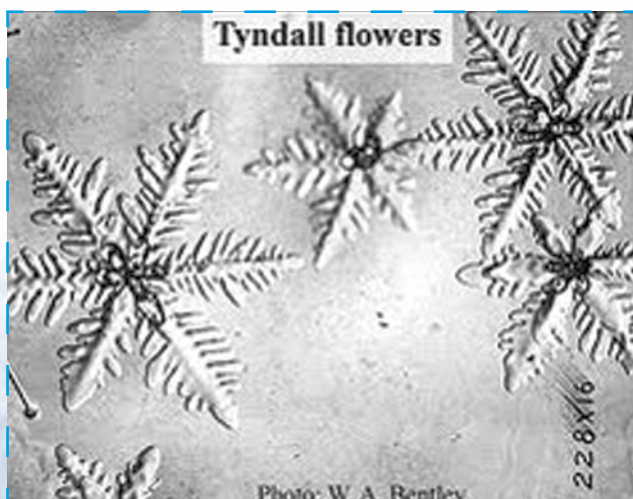
„Антисніжинки”

Кристалізація та плавлення – протилежні процеси. Немов одне й те ж, але навпаки. Поглинаючи світлову енергію, лід нагрівається до температури плавлення і починає танути. Найсильніше світло поглинається на неоднорідностях, центрами яких можуть бути пил, бульбашки повітря тощо. У таких місцях лід у невеликому об'ємі нагрівається і починає танути. Виявляється, цей ефект аналогічний утворенню кристалів льоду! Усередині льоду внаслідок плавлення виникають негативні кристали, так звані „крижані квіти”, „водяні квіти”, які мають форму сніжинок та називаються антисніжинками. Але вони, на відміну від звичайних сніжинок, заповнені талою водою.

Уперше такі картини спостерігав англійський фізик Джон Тіндаль у 1855 році, вивчаючи альпійські льодовики. На честь нього ці фігури іноді називають крижаними зірочками Тіндаля, фігурами Тіндаля, квітами Тіндаля або негативними кристалами.

Погляньте (мал. 2): „водяні” квіти дуже схожі на справжні сніжинки. Вони також мають шість майже однакових променів. І тепер це не можна пояснити рухом повітря, обертанням та одночасною зміною зовнішніх умов. Так само неможливо пояснити симетрію сніжинок тим, що деякі молекули води відрізняються від інших.

Мабуть, ці „крихітні чудеса краси”, за образним висловом Вілсона Бентлі, приховують більше секретів та загадок, ніж люди знайшли відповідей...



Мал. 2. „Квіти Тіндаля”. Фото Вілсона Бентлі, американського фермера, відомого фотографа сніжинок

