

Секрети краси

Сніжинки - це листи,
надіслані
з небес і написані таємними
ієрогліфами...

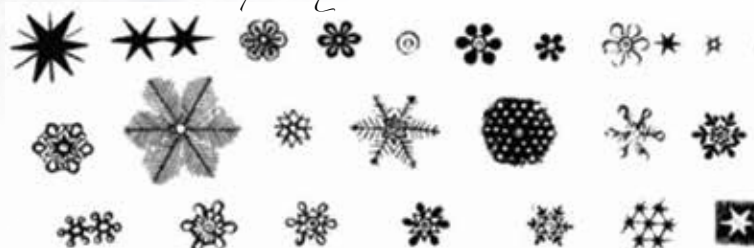
Укітіро Накая



сніжинки



Роберт Гук наводить малюнки сніжинок



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 тисячі тисяч несхожих і довершених кристаликів льоду з однаковісньких молекул води. Як це їй так легко і невимушено вдається?

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

Йоганн Кеплер відкрив людству закони руху планет. У 1611 році у трактаті „Новорічний подарунок шестикутного снігу” він наприкінці зізнався, що дуже далекий від того, щоб „осягнути справжню природу цього явища”.

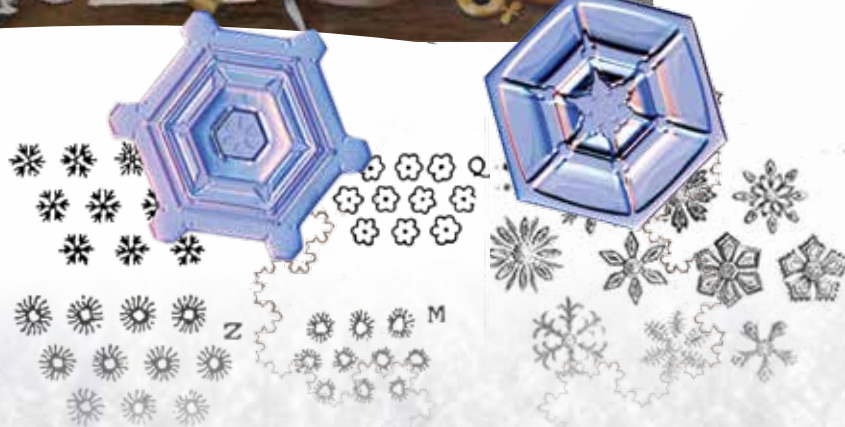
Рене Декарт вперше пов'язав геометрію і алгебру, створивши аналітичну геометрію і визначив подальший розвиток математики і фізики. У 1637 р. у праці „Метеори” він із захопленням описує свої спостереження за сніжинками і наводить малюнки десяти різних їхніх типів.

Роберт Гук – учений енциклопедист, один із засновників експериментальної фізики, автор знаменитого закону Гука, багатьох відкриттів в астрономії та біології. Саме він ввів поняття „клітина” (cell) через схожість з тісними монашими келіями. У 1665 р. у фундаментальній праці „Мікрографія” 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”.



Роберт Гук

Йоганн Кеплер



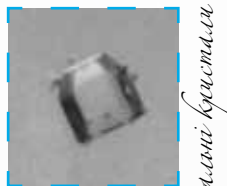


Красу і різноманіття сніжинок поетично пояснює Борис Вейнберг у книзі „Сніг, іній, град, лід і льодовики”, яка вийшла в Одесі у 1909 р.: „Кожна сніжинка плоттю і кров’ю записує метеорологічні показники на шляху свого падіння”. Змінюються навколишні умови, і на сніжинці наростають нові „гілочки”. Але 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.

Вперше штучно виростити сніжинку вдалося японському фізику Укітіро Накая, фахівцю в галузі рентгенівського випромінювання. В університеті Хокайдо, 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 р. вперше в історії людства вдалося штучно відтворити маленьку небесну гостю.

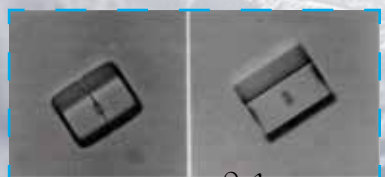
N1a	N1b	N2	C1a	C1b	C1c	C2a	C2b	
P1a	P1b	P1c	P1d	P1e	P1f	P1g	P1h	P1i
P2a	P2b	P2c	P3a	P3b	P4	P5a	P5b	
CP1a	CP1b	CP1c	CP2a	CP2b	CP3	S	I1	I2
R1	R2	R3a	R3b	R4a	R4b	R4c		

(Класифікація снігових кристалів по Накая.)



Індивідуальні кристали

Дванадцятикутній снігові зірочки



подвійні призми



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 водяного пару в висхідній теплій повітряній масі формується хмара. Як тільки температура в хмарі падає нижче 0 °С, виникають умови, сприятливі для утворення снігу. За температури приблизно -5 °С ядра кристалізації, присутні в атмосфері, формують найдрібніші кристали льоду – майбутні сніжинки. Рухаючись всередині хмари, кристалики льоду ростуть за рахунок 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 ¹⁶O. 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 ¹⁶O і ¹⁸O. Отже, не всі молекули води однакові! Приблизно одна молекула природної води з кожних 3000-4000 має замість одного з атомів протію ¹H атом дейтерію ²H, ядро якого складається з одного протона та одного нейтрона, і кожна 500-а молекула замість звичайного ¹⁶O містить ізотоп Оксигену ¹⁸O. Таким чином, середньостатистичний кристалик снігу містить приблизно 10¹⁵ (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 те ж саме 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. Під час росту кристалу зовнішні умови 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 неповторні візерунки.





Існують різні пояснення того, 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 систем, 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 однако-ве, а вона повільно падає й обертається, зміна температури та вологості охоплює сніжинку з усіх боків. Тому сніжинка однаково росте 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 інструменту, 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 питання: чому сніжинка плоска, чому вона не росте в усі боки? Відповідь доволі проста: форма 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 цьому випадку траєкторія руху сніжинки є дуже складною: 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,

	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 Conelike 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 Малона й Лі.

який забезпечує надходження молекул води (речовини, що кристалізується) з вузької бічної грані. Саме тому бічна грань росте швидко. При цьому молекули води пролітають паралельно плоскій грані сніжинки і не прилипають до неї. Оскільки падаюча сніжинка обертається, її ріст відбувається симетрично з усіх боків.

Температура замерзання води залежить від діаметра краплі. Як не дивно, що менший діаметр, то нижча температура замерзання. Наприклад, при діаметрі 1,57 мм (дрібний дощ) температура замерзання складає $-6,4^{\circ}\text{C}$, при діаметрі 0,24 мм (мжичка) це значення зменшується до $-13,3^{\circ}\text{C}$, при діаметрі 0,06 мм (великі краплі туману) – до -18°C . У краплях хмар діаметром приблизно 0,02 мм температура переохолодженої 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 існує багато відомостей щодо видів і типів сніжинок, але найбільш точною вважається класифікація (мал. 1), розроблена у 1966 р. Магоно і Лі на основі класифікації Укітіро Накая. Вона містить достатньо деталей, щоб описати майже всі типи кристалів. Кожен тип поділяється на кілька видів, які в свою чергу поділяються на різновиди. Всього розрізняють приблизно 80 різновидів хмарних кристалів і частинок опадів.



„Анти сніжинки”

Кристалізація та плавлення – зворотні процеси. Немов одне й те ж, але навпаки. Поглинаючи світлову енергію, лід нагрівається до температури плавлення, а далі починає плавитися. 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 утворюються 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.

Вперше такі картини спостерігав англійський фізик Джон Тиндаль у 1855 році при вивченні альпійських льодовиків. На честь нього ці фігури іноді називають крижаними зірочками Тиндаля, фігурами Тиндаля, квітами Тиндаля або негативними кристалами.

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

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



Уілсон Бентлі

