

УДК 551.593.63; 551.510
PACS 92.60.-e; 92.90.+x

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛО АСТРОНОМІЧНИМ СПОСОБОМ

П. Костюченко

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Дорошенка, 41, 79000 Львів, Україна*

В статті розглянуто мало вивчене атмосферне явище гало, причини його виникнення, а також використання гало для прогнозу погоди. Показано, що характеристики гало можна визначати тригонометричним способом

Ключові слова: атмосфера, явище гало, сузір'я, координати світил, поширення гало, прогноз погоди

1 Явище гало

Слово “гало” в перекладі з грецької означає коло. Воно утворюється на кристалічних перисто-шаруватих або рідше перисто-волокнистих хмарах. Водність (лідність) кристалічних хмар при земній температурі повітря в межах -15°C – -20°C становить приблизно $0,03 \text{ г/м}^3$, а при температурі -30°C лише $0,006 \text{ г/м}^3$. Льодові кристали перистих хмар відрізняються великою різноманітністю форм і розмірів.

Всі форми гало, які виникають на небі, зумовлені переломленням сонячних або місячних променів на льодяних кристалах хмар. 2 % хмар, які розміщені в зоні температур біля -35°C складається з краплин, 11% – змішаний склад, 87 % – хмари із кристалів.

Гало бувають різних кутових розмірів і фігур, найчастіше радіусом 22° . Іноді з концентричним колом радіусом 46° . Його можна бачити протягом чотирьох годин, іноді з перервами. Внутрішня частина гало, яка обернена до Сонця, має червоний колір, а зовнішня – синьо-бузковий.

В Антарктиді виникають яскраві гало і тривають цілий день. Гало виявлено в атмосфері планети Венери, а також в атмосфері Іо – супутника Юпітера. Гало іншої природи можна побачити в телескоп, спостерігаючи галактики. Тут воно займає простір, який рідко заповнений зірками. На подвійній віддалі від центра галактики видно друге гало, назване короною.

Райдуга виникає внаслідок заломлення і відбивання променів Сонця краплинами дощу, а гало зумовлене заломленням і відбиванням променів у льодових кристалах хмар. Райдугу можна побачити у протилежній стороні від Сонця, а при гало Сонце (Місяць) знаходиться у його центрі.

2 Спостереження гало

12 січня 2006 року, перебуваючи в Карпатах на Черногірському географічному стаціонарі ЛНУ імені Івана Франка (960 м над р. м.), я побачив о 19 год. на сході неба яскраве гало. Від Місяця до внутрішнього кільця фон гало був світлого кольору ідеальної чистоти і ні одної зірки на ньому. Лише на внутрішньому чіткому колі ліворуч і вище Місяця була яскрава зірка. Від внутрішнього кільця починався яскравий обруч гало шириною біля 5° , який зі збільшенням віддалі від Місяця поступово зникав у темряві неба. Праворуч і вище Місяця на обручі світилася друга яскрава зірка на віддалі 1° від зовнішнього кільця.

Для порівняння яскравості цього гало можна сказати, що зірки просвічують навіть сильне полярне сяйво, а тут видно лише одну зірку. З 20 год. зверху на обручі гало з'явилася яскрава дотична дуга. Таку дугу, розміщену зверху або знизу гало, ще називають "атмосферними вусами". За зовнішнім кільцем гало світили окремі зірки. Яскравість обруча була мабуть така ж, як і Місяця, і такого ж кольору. Все це створювало захоплюючу картину, рис 1.

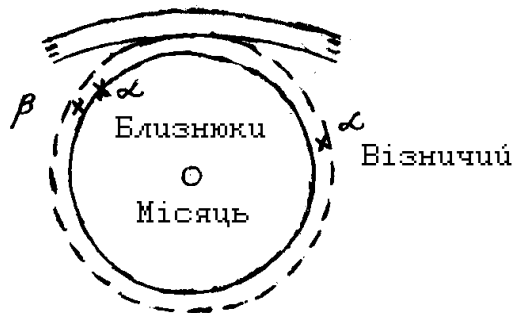


Рис. 1: Місячне гало після 20 год. 12 січня 2006р.

3 Вимірювання і розрахунки

Якщо вимірювати гало вдень теодолітом, то потрібно в результати вимірювань ввести поправки за зміщення об'єкта. Ще важче таким способом вимірювати місячне гало. У цьому випадку я вирішив визначити розміри гало астрономічним способом: замалював схему гало і положення світил, потім по карті атласу [4] визначив, що праворуч і вище Місяця на обручі гало є зірка α сузір'я Візничого, а ліворуч і вище Місяця на внутрішньому кільці гало зірка α сузір'я Близнюки. Поруч з нею на карті також яскрава зірка β сузір'я Близнюки. На небі її не було видно через те, що вона була вкрита яскравим обручем гало. Зірки α Візничого і β Близнюки входять в групу 26 яскравих зірок, які використовують в авіації для навігації.

Для визначення кутових розмірів гало потрібно знати сферичні координати світил. Координати зірок у цьому випадку можна вважати незмінними. Координати Місяця швидко змінюються протягом доби, тому для їх визначення на потрібну годину можна використати інтерполяційну формулу для п'яти табличних значень. У

Табл. 1: Екваторіальні координати світил на 12.I.2006 р.

Година	Світило	Піднесення	Схилення
—	α Візничий	$5^h 16.7^m$	$46^\circ 00'$
20	Місяць	$6^h 14.4^m$	$28^\circ 24'$
—	α Близнюки	$7^h 34.6^m$	$31^\circ 53'$
—	β Близнюки	$7^h 45.4^m$	$28^\circ 02'$

результаті проведених розрахунків одержано екваторіальні координати світил (таблиця 1).

Місяць о 20 годині знаходився на висоті $39,1^\circ$ над горизонтом, а його азимут $89,3^\circ$ від півночі.

Для визначення кутових віддалей Z між світилами можна використати формулу:

$$\cos Z = \sin \delta_1 \cdot \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos t, \quad t = \alpha_2 - \alpha_1$$

де δ_1, δ_2 – схилення двох світил, α_1 і α_2 – їх піднесення. В результаті розрахунків одержано такі віддалі: Місяць– α Візничого рівна 21° , Місяць– α Близнюки – $17,6^\circ$. Діаметри гало становлять: зовнішній 42° , внутрішній – $35,2^\circ$. Так як зовнішнє кільце гало було на 1° західніше від зірки α Візничого, то його дійсний радіус становить 22° .

Згідно даних аерологічного зондування, проведеного о 2 год. 30 хв. 12 січня 2006р. у м. Чернівці, основа перистої Ci хмари знаходилась на висоті 7.6 км. Це дає можливість визначити лінійні розміри гало. У цьому випадку його зовнішній радіус становить 3,07 км, а внутрішній – 2,41, товщина кільця – 0,66 км. Після цього можна теоретично визначити товщину хмари: вона становить 2,1 км, а по даних радіозондування – 2,3 км. Якщо при відкритому горизонті все небо вкрите перистою хмарою, то у такому випадку її товщина, як раніше встановлено, біля 2 км.

За формулами сферичної астрономії можна обчислити швидкість переміщення гало відносно спостерігача, вона становить 0,55 м/с.

Цікаво знати площу, яку займає гало на небі. По раніше обчислених діаметрах його кільця виходить, що загальна площа гало становить 30 км^2 , площа в межах внутрішнього кільця – 18 км^2 . З власного досвіду знаю, що гало можуть бачити одночасно спостерігачі, віддалі між якими перевищує 200 км.

4 Аналіз стану атмосфери

За даними аерологічного зондування на аерологічній діаграмі побудовано криву стратифікації та деграму. По них видно, що до висоти 1 км від землі розміщений шар інверсії з градієнтом температури $-0,76^\circ/100 \text{ м}$. Взагалі шар інверсії досягає висоти 1,2 км, в якому є шари ізотермії. З висоти 0,8 км різко зменшується абсолютна вологість повітря: від $2,8 \text{ г/м}^3$ до $0,57 \text{ г/м}^3$ на висоті 2,1 км, рис. 2.

12 січня у м. Чернівці цілу добу спостерігався туман, лише о 3 і 12 годині в зеніті було ясно. Ця інверсія до висоти 0,8 км свідчить про те, що наземний туман і шаруваті туманоподібні (*St neb*) хмари становлять суцільний масив.

З висоти 3 км абсолютна вологість повітря рівномірно зменшується і на висоті 7 км становить лише $0,02 \text{ г/м}^3$. Ранком і вечором на короткий строк з'являлися з північної сторони шаруваті хмари *St neb* як прикмета периферії прикарпатської інверсії.

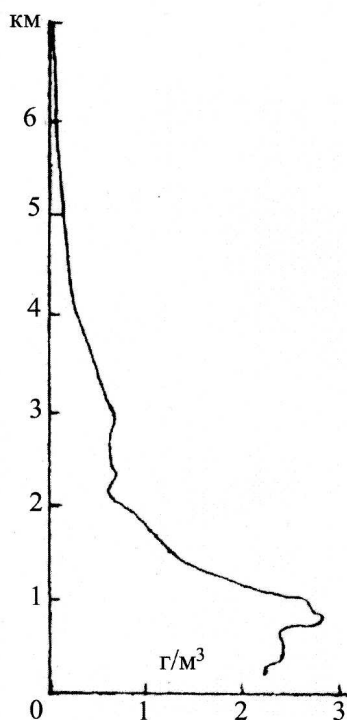


Рис. 2: Абсолютна вологість повітря о 2³⁰ 12 січня 2006р. м. Чернівці, 214 м над р. м.

Шар тропопаузи починається з висоти 10,1 км і має товщину 1,8 км. На її верхній межі температура повітря становить $65,9^\circ$ морозу.

Цього дня зондуванням досягнуто 22 км висоти. Дані в колонках 5-7 визначені автором.

5 Аналіз карт погоди

Гало використовують для прогнозу погоди. Перисто-шаруваті хмари, на яких воно утворюється, в більшості належать до теплового фронту. Раніше встановлено,

Табл. 2: Окремі результати аерологічного зондування 12.1.2006р. в м. Чернівці

Висота над р. м., км	Атмосф. тиск, гПа	Темпер. повітря, °С	Віднос. волог., %	Точка роси, °С	Густина повітря, г/м ³	Абсол. волог., г/м ³	Азимут, °	Вітер, м/с
0.21	1005,6	- 7,8	85	- 9,6	1319	2,2	158	4
1	910,2	-1,7	62	-7,3	1167	2,6	134	3
2	802,8	-2,9	17	-22,4	1034	0,6	72	5
3	706,8	-7,7	24	-23,1	927	0,6	72	7
4	621,1	-12,2	14	-32,3	829	0,25	82	10
5	544,2	-19,9	11	-41,	749	0,10	79	11
6	474,7	-28,3	12	-47,3	675	0,05	72	15
7	412,2	-35,5	12	-53,3	604	0,02	80	18

що після гало сніг починає випадати через 12-18 годин. З власного досвіду знаю, що після сонячного гало дощ може розпочатися через годину.

У Чернівцях 12 січня гало не було видно і наступного дня після обіду випав сніг 0,2 мм.

По карті погоди на 3 год. 13 січня видно, що над центральною Європою розмістився антициклон з максимальним атмосферним тиском 1038 гПа над м. Краків. Його довжина з заходу на схід становить 2500 км. Суцільний шар туману і шаруватих хмар *St neb* в м. Чернівці зумовлений осіданням повітря цього антициклону і його охолодженням над землею. Антициклон переміщувався протягом 4-х діб на південний схід із швидкістю 10 км/год.

17 січня на лінії Санкт-Петербург – Ростов–на–Дону розмістився холодний атмосферний фронт, який рухався зі сходу, а з обіду наступного дня у м. Яремча (531 м над рівнем моря) випав сніг, тобто майже через 6 діб після яскравого гало. Кількість опадів за 18-19 січня становила 3.1 мм.

11 лютого біля 23 години високо в небі зафіксоване повне, але бліде гало. Наступного ранку уже випадав сніг, потім із заметіллю. За 12-14 лютого випало 6.9 мм. Цей сніг зумовлений холодним атмосферним фронтом, який 12 лютого з'єднався з молодим циклоном, розміщеним над м. Харків.

6 Висновки

1. Гало тим яскравіше, чим менше вологи в повітрі на рівнях хмар нижнього і середнього ярусів.
2. Після яскравого гало опади можливі не наступного дня, а через кілька днів.

Список використаної літератури

1. *Астрономічний календар* (Київ, 2005).
2. Н.А. Белова *Курс сферической астрономии* (Москва, 1971).
3. В.И. Воробьев *Синоптическая метеорология* (Ленинград, 1991).
4. А.А. Михайлов *Атлас звездного неба* (Ленинград, 1974).
5. П.М. Тверской *Курс метеорологии* (Ленинград, 1962).

Стаття надійшла до редакції 3.9.2013
прийнята до друку 10.10.2013

DETERMINATION OF HALO PROPERTIES USING ASTRONOMICAL TECHNIQUES

P. Kostyuchenko

*Ivan Franko National University of Lviv
41 P.Doroshenka Str., 79000 Lviv, Ukraine*

Poorly studied atmospheric phenomenon – halo, causes of its appearance, as well as use of halo for weather forecast is considered in the article. It was demonstrated that properties of halo can be determined using trigonometric techniques.

Key words: atmosphere, halo phenomenon, constellation, coordinates of celestial bodies, halo propagation, weather forecast

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛО АСТРОНОМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

П. Костюченко

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Дорошенко, 41, 79000 Львов, Украина*

В статье рассмотрено мало изученное явление гало, причины его возникновения, а также использование гало для прогноза погоды. Показано, что характеристики гало можно определить тригонометрическим методом.

Ключевые слова: атмосфера, явление гало, созвездия, координаты светил, распространение гало, прогноз погоды