

САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАЛОГО И БОЛЬШОГО ГАЛО,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И ТИТАНА**

(научно-исследовательская работа)

Выполнила:

Тимакова Дарья,
11 класс СОФМШ

Научный руководитель:

Филиппов Юрий Петрович,
к.ф.-м.н., старший препода-
ватель кафедры общей и
теоретической физики
Самарского государствен-
ного университета

Самара, 2011 г.

Оглавление

Введение	3
1 Современные физические представления о гало	8
1.1 Гало как физическое явление	8
1.2 Современные классификации гало	11
1.3 Облака атмосферы Земли, порождающие гало	14
1.4 Основные свойства атмосферы Титана	23
2 Новая модель малого гало	30
2.1 Простейший анализ феномена малого и большого гало с учетом эффекта дисперсии	30
2.2 Расчет углового распределения светового потока для одиночно- го гексагонального кристалла	33
2.3 Модель трехкомпонентного облака ледяных кристаллов	40
2.4 Количественный анализ углового распределения потока света в облаке кристаллов	43
3 Новая модель большого гало	48
3.1 Расчет углового распределения потока света для одиночного гексагонального кристалла	48
3.2 Количественный анализ углового распределения потока света в облаке кристаллов	57
Заключение	63
Литература	65

Введение

Актуальность работы. Как известно, атмосфера Земли является ее внешней газовой оболочкой, которая простирается от ее твердой поверхности в космическое пространство приблизительно на 3000 км. Атмосфера Земли — сложная физическая система, характеризующаяся сложным химическим составом, большим количеством динамических и электромагнитных процессов, в которой наблюдается много оптических явлений, в частности, глории, гало, венцы и др. Последние образуются благодаря наличию водяных облаков в атмосфере. Опыт многолетних наблюдений показывает, что таких явлений великое множество, каждое из которых наблюдается только при выполнении особых погодных условий и при определенном местоположении наблюдателя. Указанные оптические феномены изучает *метеорологическая оптика* — один из самых больших разделов физики атмосферы.

Следует отметить, что в настоящее время далеко не все оптические явления, наблюдаемые в атмосфере Земли, получили адекватное научное объяснение. К таким феноменам следует отнести и несколько видов гало.

Гало (от греч. *χαλος* — "круг", "диск"; также *аура*, *нимб*, *ореол*) — светящееся кольцо вокруг наблюдаемого источника света; оптический феномен (см. рис. 1). Оно обычно появляется вокруг солнца или луны, иногда вокруг других мощных источников света, таких как уличные фонари [1]. Сегодня насчитывается более 90 типов гало [2]. Появление большинства из них обусловлено присутствием ледяных кристаллов в перистых облаках на высоте 5–10 км, в верхних слоях тропосферы. Вид наблюдаемого гало зависит от формы и расположения кристаллов. Отраженный и преломленный ледяными кристаллами свет нередко разлагается в спектр, что делает феномен похожим на радуго, однако гало в условиях низкой освещенности имеет малую цветность, что связано с особенностями сумеречного зрения.

Важно отметить, что феномен гало наблюдался с давних времен. Во многих исторических летописях он описан в подробностях. В частности, гало упоминается в произведении "Слово о полку Игореве". До нас из прошлого дошли сотни зарисовок указанных феноменов (например, см. рис. 2). В частности, монах-летописец в древнерусской летописи от 1224 года подробно описал гало. В дополнение к описанию была приведена миниатюра (см. рис. 3). На рисунке

изображено солнце с «кругами» и четыре креста вокруг него. По-видимому, сам монах оказался свидетелем явления.



Рис. 1. Солнечный свет, отраженный шестиугольными кристаллами льда в высоких, тонких облаках, порождает гало, окружающее Солнце. Гало круглое, его радиус равен точно 22 градусам, но оно выглядит сплюснутым из-за дисторсии очень широкоугольного объектива. Зенит (точку прямо над наблюдателем) окружает красивый паргелический круг (другой вид гало), находящийся на той же высоте, что и Солнце. Его создает солнечный свет, отраженный от ледяных кристаллов с почти вертикальными гранями. (Автор: Жан-Марк Леклер, замок Шамбор, Франция, май 2008 г).

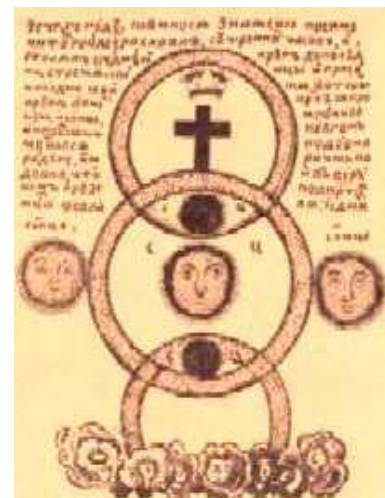


Рис. 2. Миниатюра к русской летописи 1785 года.



Рис. 3. Миниатюра к русской летописи 1224 года.

Анализ данных наблюдений гало и сопровождающих их комментариев, сделанных предшественниками, позволяет сделать ряд важных выводов:

- *во-первых*, эти феномены появляются на небе нерегулярно и не столь часто.
- *Во-вторых*, очевидцы, как правило, приписывали данным событиям, божественное происхождение, полагали, что различные явления гало являются предвестниками чего-то нехорошего, трагического. Сегодня уже

точно известно, что данные феномены не оказывают никакого влияния на жизнь человека.

- *В-третьих*, наши предшественники по появлению гало пытались предсказать погоду на ближайшее время. И в этом есть рациональное зерно, поскольку, как показывают исследования атмосферы Земли [3], эти явления действительно связаны с изменением состояния атмосферы и определенными закономерностями в изменении погоды.
- *В-четвертых*, и что самое главное, изложение большинства событий появления гало носит повествовательный характер. Очевидцы данных оптических явлений не задавались вопросом происхождения этого феномена как физического явления природы. Тому, конечно, есть ряд объективных причин, прежде всего, связанных с темпами развития науки и становления общественного сознания. Но естественным образом возникает вопрос: какова ситуация в настоящее время в отношении научного обоснования указанных феноменов?

Большую часть видов гало удалось объяснить в принципе, с использованием метода геометрической оптики и волновой теории дифракции. В русскоязычной литературе, представленной для широкого круга читателей, [1, 4, 5, 6, 7] даны только простейшие математические выкладки, поясняющие лишь принципиальную схему проявления феномена, которые сопровождаются качественными комментариями. Наибольшее внимание отводится 22° -гало, поскольку последнее чаще других наблюдается и в большинстве своих проявлений имеет четкие границы и хорошо просматривается. В иностранной научной литературе, как правило, уделяется внимание лишь отдельным сторонам физической природы гало [8]–[12], не прибегая к комплексному всестороннему анализу этого феномена. В работах [13, 14] были сделаны попытки моделирования прохождения света через однородный слой кристаллов водяного льда с использованием метода Монте Карло. Однако применение данного метода к физической системе имеет много дискуссионных моментов и сомнительных нюансов, требующих пояснений. Особенно актуальным и трудным моментом здесь является вопрос о распределении кристаллов в облаке по высоте и размерам.

В работе [15] Загородниковой В. – ученицы 11-ого класса СОФМШ 2008 года была предложена простейшая модель малого гало. Автор работы строго доказал, что малое гало образуется на кристаллах водяного льда гексагональной формы. Здесь же была представлена простейшая модель облака из гексагональных кристаллов и были получены кривые углового распределения потока света, рассеянного на данном облаке. Полученные результаты уверенно согласуются с соответствующими данными эксперимента.

В работе [16] автором настоящей работы была разработана простейшая модель большого гало (46° –гало). Автор работы строго доказал, что 46° –гало образуется на кристаллах водяного льда гексагональной формы, с углом при основании, равным 90° . В данной работе была представлена новая модель облака из гексагональных кристаллов трех видов, отличающаяся большей сложностью в сравнение с моделью облака Загородниковой В. Здесь получены кривые углового распределения потока света, рассеянного как одиночными кристаллами трех видов, так и целым облаком кристаллов. Результаты, полученные в рамках настоящей модели, объясняют все особенности визуального образа большого гало и прилежащих к нему областей.

Титан — самый большой спутник Сатурна — шестой по удаленности от Солнца классической планеты Солнечной системы, сегодня находится под пристальным вниманием специалистов. Прямые исследования его атмосферы и поверхности с помощью посадочного модуля Гюйгенс космического аппарата Кассини, доказали существование жидкого метана на поверхности спутника, а в атмосфере — присутствие метановых облаков [17]. Дело в том, что около поверхности Титана температура составляет около 94 К (-179°C), что весьма близко к тройной точке метана ($T_{\text{CH}_4} = 90.7\text{K}$, $p_{\text{CH}_4} = 0.117$ бар).

Метан конденсируется в облака на высоте нескольких десятков километров. Согласно данным, полученным Гюйгенсом, относительная влажность метана повышается с 45% у поверхности до 100% на высоте 8 км. На высоте 8-16 км простирается очень разреженный слой облаков, состоящих из смеси жидкого метана с азотом, покрывающий половину поверхности спутника. Слабая изморось постоянно выпадает из этих облаков на поверхность, компенсируемая испарением (аналог гидрологического цикла на Земле). Выше 16 км, отделенный промежутком, лежит разреженный слой облаков из кристалликов метанового льда.

Существует и другой тип облачности, обнаруженный еще в 90-е годы прошлого века на снимках телескопа им. Хаббла. Фотографии, сделанные с борта Кассини, а также с наземных обсерваторий, показали наличие облаков у южного полюса Титана. Это мощные дождевые облака, хорошо заметные на фоне поверхности, быстро перемещающиеся и меняющие форму под действием ветра. Обычно они покрывают относительно небольшую площадь (менее 1% диска), и рассеиваются за время порядка земных суток. Вызванные ими ливни должны быть очень интенсивными и сопровождаться ветром ураганной силы. Дождевые капли, по расчетам, достигают диаметра ~ 1 см. Однако несмотря на то, что за несколько часов может выпасть до 25 см метана, общий уровень осадков составляет в среднем за земной год несколько см, что соответствует климату самых засушливых земных пустынь. Спектр облаков, вопреки ожиданиям, отличается от спектра метана. Это может объясняться

примесью других веществ (прежде всего, этана), а также перенасыщенностью верхних слоев тропосферы метаном, приводящей к образованию очень крупных капель. Указанные открытия делают актуальным вопрос о возможности наблюдений большого и малого гало в атмосфере Титана [18].

Проведенный автором настоящей работы обзор литературы указал на отсутствие моделей малого и большого гало в атмосфере Титана.

В связи со сказанным, главной целью настоящей работы является построение усовершенствованных моделей феноменов малого и большого гало, образующихся как на кристаллах воды в атмосфере Земли, так и на кристаллах метана и этана в атмосфере Титана.

Согласно сформулированной цели, основными задачами настоящей работы являются следующие положения:

1. *Расчет угловых радиусов гало для гексагональных и других форм кристаллов из метана и этана.*
2. *Построение модели малого гало в случае трехкомпонентного облака кристаллов. Численный анализ полученных результатов на примере гексагональных водяных, метановых и этановых кристаллов.*
3. *Построение модели большого гало в случае трехкомпонентного облака кристаллов. Численный анализ полученных результатов на примере гексагональных водяных, метановых и этановых кристаллов.*

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Метод геометрической оптики.
2. Методы статистической физики.

Данная работа имеет следующую структуру.

Первая глава посвящена современным физическим представлениям о гало.

Во **второй главе** подробно представлены решения поставленных теоретических задач и их анализ.

Резюме по проделанной работе представлено в **заключении**. Финальная часть работы содержит список использованных источников и приложения.