

Кафедра общей и теоретической физики

Д. Тимакова¹

Простейшая модель феномена большого гало

(научно-исследовательская работа)

Аннотация

В работе дан обзор современных представлений о физической природе гало, их классификациях, кратко рассмотрены основы физики облаков, представлена современная классификация облаков. Рассмотрена задача об определении углового распределения потока света для одиночного гексагонального кристалла. Построены кривые угловых распределений потоков излучения, прошедшего через кристалл с одним неполным внутренним отражением для трех видов кристаллов (длинных, с квадратной боковой гранью, коротких). Показано, что при угле отклонения $\theta = 46.38^\circ$ наблюдается острый максимум потока излучения (для всех кристаллов), что служит прямым доказательством существования 46° -гало. Сформулирована модель облака, состоящая из кристаллов трех видов. С использованием ряда допущений определена зависимость концентрации кристаллов водяного льда от высоты над поверхностью земли. Выполнен расчет углового распределения потока света, рассеянного облаком, содержащим кристаллы трех видов. Показано, что 93.2% излучения, падающего на облако, не изменяет своего направления распространения и лишь 6.8% подвергается рассеянию на углы $\theta > 0^\circ$. Именно эта часть излучения порождает гало. Получен полный профиль распределения потока излучения по углу отклонения θ . Полученный результат объясняет все основные особенности визуального образа 46° -гало.

Комментарии: работа выполнена под научным руководством старшего преподавателя кафедры общей и теоретической физики СамГУ, к.ф.-м.н., Филиппова Ю.П.² и отмечена дипломом победителя третьей степени в секции "Теоретическая физика" на Итоговой научно научно-практической конференции школьников СОФМШ в 2010 г.



Работа выставлена на **ASTRODROME**: 07.04.2010

¹E-mail:

²E-mail:yuphil@ssu.samara.ru

Оглавление

Введение	3
1 Современные физические представления о гало	7
1.1 Гало как физическое явление	7
1.2 Современные классификации гало	10
1.3 Облака порождающие гало	13
2 Физическая модель феномена большого гало	22
2.1 Прохождение светового луча сквозь трехгранную призму	22
2.2 Расчет углового распределения потока света для одиночного гексагонального кристалла	25
2.3 Моделирование ледяного облака	34
2.4 Количественный анализ углового распределения потока света в облаке кристаллов	37
Заключение	43
Литература	45
Приложения	47
Приложение А. Фотографии гало различных классов	47
Приложение В. Фотографии облаков, порождающих гало	52

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).

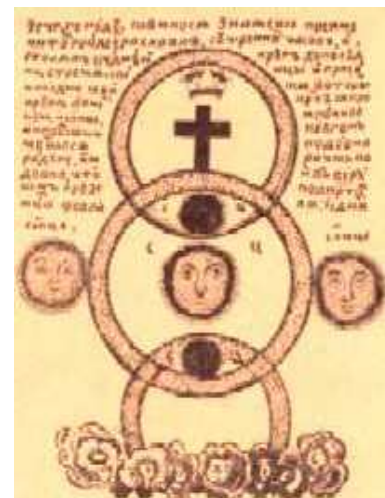


Рис. 2. Миниатюра к русской летописи 1785 года.



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 интенсивности света, рассеянного на данном облаке. Полученные результаты уверенно согласуются с соответствующими данными эксперимента.

Физика феномена большого, 46° –гало является столь же актуальным вопросом, как и физика феномена малого гало. Однако, данный тип гало является более редким и трудно наблюдаемым явлением [1, 4] и, как следствие, большому гало уделено еще меньшее внимание в литературе, чем малому.

В связи со сказанным, главной целью настоящей работы является построение простейшей физической модели феномена 46° -гало с использованием основных результатов геометрической оптики и физики атмосферных облаков.

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

1. Численное моделирование углового распределения потока света, рассеянного гексагональными кристаллами водяного льда разных размеров, для любого угла падения светового пучка.

2. Моделирование функций распределения ледяных кристаллов различных видов по высоте в облаке.

3. Расчет углового распределения потока света, рассеянного облаком гексагональных кристаллов различных видов, при произвольной ориентации последних в пространстве.

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.

Глава 1

Современные физические представления о гало

В настоящей главе будут подробно изложены современные представления о гало как о физическом явлении. Большое внимание будет уделено классификациям гало и облаков, благодаря которым эти феномены образуются.

1.1 Гало как физическое явление

Явление радуги – хорошо известный природный феномен, который каждый из нас наблюдал хотя бы раз в жизни и имеет простейшее представление о нем. Другое дело – гало. По сравнению с радугой, это явление гораздо более редкое. Многие не то, чтобы не видели, а даже и не слышали о таком феномене. Главное отличие радуги от гало – она видна только в стороне, противоположной Луне или Солнцу. Гало – это светлые круги, дуги, столбы, пятна, наблюдаемые вокруг или вблизи дисков Солнца или Луны. Наиболее часто встречаются кольца вокруг этих светил с угловым радиусом примерно 22° – это, так называемое, *малое гало*. Как правило, малое гало выглядит замкнутым кольцом, кроме тех случаев, когда перисто-слоистые облака неравномерно распределены по небу; оно обычно ярче всего сверху или снизу, справа или слева, реже в промежуточных направлениях. Существенно реже появляется большее кольцо с угловым радиусом $\approx 46^\circ$ – это, так называемое, *большое гало*.

Условия возникновения гало. Необходимым условием возникновения феномена гало являются определенные погодные условия. Как правило, данный феномен наблюдается при смене тихой и ясной погоды на ветреную, что сопровождается падением давления воздуха, небосвод покрывается тонкой белой дымкой. Свет от Солнца, проходя через эту дымку, рассеивается подобно свету настольной лампы на матовом стекле. При этом очертания Солнца становятся расплывчатыми. Такая погода случается довольно часто. Но кажет-