

Кафедра общей и теоретической физики

Загородникова Валентина¹

Простейшая модель феномена малого гало

(научно-исследовательская работа)

Аннотация

В настоящей работе представлена простейшая физическая модель феномена 22° -гало с использованием основных результатов геометрической оптики и физики атмосферных облаков. Здесь решена задача об определении углового распределения потока света для одиночного гексагонального кристалла. Разработан общий алгоритм и подробно рассмотрен его частный случай. Показано, что при $\theta = 22.06^\circ$ наблюдается острый максимум для потока. Задача об определении концентрации кристаллов водяного льда в зависимости от высоты над поверхностью земли решена в аналитическом виде. Выполнен расчет углового распределения потока света, рассеянного облаком кристаллов. Получен полный профиль распределения потока излучения по углу отклонения θ . Полученный результат объясняет все основные особенности визуального образа 22° -гало. Показано, что степень размытости внешней границы гало является надежным показателем степени турбулентности восходящих потоков воздуха удерживающих кристаллы в взвешенном состоянии.

Комментарии: работа выполнена под научным руководством старшего преподавателя кафедры общей и теоретической физики СамГУ, к.ф.-м.н., Филиппова Ю.П.². Работа отмечена дипломом победителя третьей степени в секции "Компьютерное моделирование" на XVIII Всероссийской научно-практической конференции для одаренных школьников "Intel-Династия-Авангард 2009"



Работа выставлена на **ASTRODROME**: 25.03.2009

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 Классификации гало	10
1.3 Современные физические представления об облаках	13
1.4 Морфологическая классификация облаков. Облака, порождающие гало	17
2 Физическая модель феномена малого гало	27
2.1 Расчет углового распределения потока света для одиночного гексагонального кристалла	27
2.2 Моделирование ледяного облака	37
2.3 Количественный анализ углового распределения потока света в облаке кристаллов	44
Заключение	51
Литература	53
Приложения	55
А. Фотографии гало различных классов	55
В. Фотографии облаков различных родов	59

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. Она является сложным природным образованием, характеризующимся сложным химическим составом, большим количеством динамических и электромагнитных процессов, в котором 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.

Следует отметить, что 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 объекта; 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. 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 радугу, 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.

Например, в произведении "Слово о полку Игореве" описывается битва с участием князя Игоря, которая произошла 1 мая 1185 г [2]. В этот день произошло солнечное затмение. "Тогда Игорь взглянул на светлое солнце и увидел, что оно тьмою воинов его прикрыло". Но гордые князья не повернули коней. Первое сражение с половцами было победным. А затем бились еще три дня. Превосходящие по численности половцы начали одолевать русских.

И тут четыре солнца появились на небе. "Черные тучи с моря идут, хотят прикрыть четыре солнца... Быть грому великому..." Дух воинов упал, войско русское все полегло, а Игорь был взят в плен.



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 1224 года.

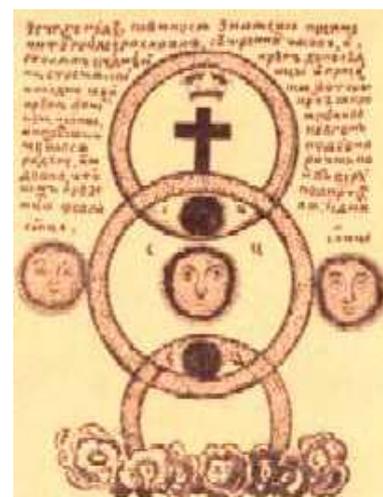


Рис. 3. Миниатюра к русской летописи 1785 года.

А вот как описал гало монах-летописец в древнерусской летописи от 1224 года: "Того же лета бысть знамение в Солнци. Огородися солнце, яко круги". К записи была приведена миниатюра (см. рис. 2). По-видимому, сам монах оказался свидетелем явления. На рисунке изображено солнце с «кругами» и четыре креста вокруг него. Сразу заметим, что подобного рода изображения исчисляются в летописях разных стран десятками, ежели не сотнями.

На рис. 3 приведена еще одна миниатюра к русской летописи, написанной монахом в Ярославле в 1785 году. Данная миниатюра сопровождалась следую-

щими строками: "В 7293 году (т.е. в 1785 г.) явилось знамение в преименитом граде Ярославле, с утренних часов стоял средний круг до полудня с тремя солнцами, и при них к полудню явился второй круг. В нем крест с короною, и солнце мрачное и под большим кругом явилось подобно радуге...".

Из приведенных выше примеров можно заключить следующее. *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 есть предвестники чего-то нехорошего, трагического. Сегодня мы уже не сомневаемся в том, что данные феномены не оказывают никакого влияния на жизнь человека. *В-третьих*, анализ других описаний гало в исторических летописях указал на то, что по появлению гало очевидцы 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 наиболее часто наблюдается, нередко имеет четкие границы и хорошо просматривается. В иностранной научной литературе, как правило, уделяется внимание лишь отдельным сторонам физической природы гало [8]–[12]. 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 связи со сказанным, главной целью настоящей работы является построение простейшей физической модели феномена 22° -гало с использованием ос-

новых 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 гексагональным кристаллом водяного льда, для любого угла падения светового пучка.

2. Моделирование функции распределения ледяных кристаллов по высоте в облаке.

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

4. Численный анализ полученных результатов и посильное сравнение с данными фотометрических наблюдений феномена.

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Метод геометрической оптики.

2. Методы статистической физики.

3. Метод ветвления при построении компьютерных программ численных расчетов.

Данная работа имеет следующую структуру.

Первая глава посвящена современным физическим представлениям о га-ло.

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.