

## АННОТАЦИЯ

Данная выпускная квалификационная работа включает в себя введение, основную часть, состоящую из двух глав, заключение, а также список использованных источников.

Во введении отмечены актуальность, новизна, достоверность исследования выбранной темы.

В первой обзорной главе описаны метеорные потоки, их природа, характеристики, происхождение. Рассмотрены их основные параметры распределения. Приведена полная информация каждого метода наблюдения и изучения метеорных потоков.

Вторая глава посвящена анализу полученных данных, наблюдаемых на телескопе ММТ.

Заключение содержит краткое описание полученных результатов, а также рекомендации для будущих исследователей.

В результате проведенных исследований были выполнены следующие задачи:

1. На основе алгоритмов современной вычислительной физики проанализированы параметры распределения метеорных потоков;
2. Проведя редукцию физических параметров спорадических метеорных тел, определены структуры метеорных потоков;
3. Составлена база наблюдений метеорных потоков на основе различных методов, включая радиолокационный и телевизионный;
4. Построена численная модель распределения эволюции метеорного вещества в Солнечной системе.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ.....	4
 <b>Глава 1.ОПИСАНИЕ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ.....</b>	<b>5</b>
1.1. АНАЛИЗ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ: ПРИРОДА, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ.....	5
1.2. МЕТЕОРНОЕ ВЕЩЕСТВО В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ.....	17
1.3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ ПО ОРБИТЕ ЗЕМЛИ.....	21
1.4. МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ПОТО- КОВ.....	24
 <b>Глава 2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ.....</b>	<b>31</b>
2.1. ТЕЛЕСКОП ММТ.....	31
2.2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ С МАССОЙ БОЛЕЕ 0,001 г. В ОКРЕСТНОСТЯХ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ.....	34
 <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>49</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>51</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы заключается в том, что космические аппараты 80% своей стоимости включают защиту от внешних воздействий, одним из которых являются метеорные частицы. Таким образом, знания об их распределении в космическом пространстве, необходимы для построения ГОСТов, которые соответственно, будут использоваться при проектировании космической техники. Также знание о распределении в космическом пространстве играет большую роль при построении теории эволюции нашей Солнечной системы. Поэтому задачи, поставленные в настоящей работе, важны и актуальны.

Здесь следует добавить, что в настоящее время введен в строй уникальный телескоп Mini – MegaTortora. Так как он предназначен для наблюдений текущих процессов на небесной сфере, то уже начат ряд исследований метеорных потоков и соответственно требуется как описание этих метеорных, так и разработка новых методов анализа.

Новизна данного исследования состоит в том, что впервые произведена попытка построения распределения метеорных потоков вне орбиты Земли и их анализ на основе использования уникального телескопа Mini – MegaTortora.

Достоверность полученных результатов определяется анализом используемых метеоров и большим массивом наблюдаемых данных.

Вклад автора в настоящую работу заключается в проведенном анализе наблюдательных данных, в построении соответствующих графиков и анализе способности наблюдения метеорных потоков на телескопе ММТ.

**Методы исследования.** Были использованы такие методы как поиск литературы, анализ, синтез и обобщение.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Цель:** учитывая, что современные теории распределения метеорных тел в околоземном пространстве основаны на вычислительных физических технологиях, которые предполагают учет физических параметров метеорных тел и их движение в космическом пространстве, была выполнена работа по анализу метеорных потоков с точки зрения физических процессов.

Для этого были поставлены следующие **задачи**:

1. На основе алгоритмов современной вычислительной физики проанализировать параметры распределения метеорных потоков;
2. Проведя редукцию физических параметров спорадических метеорных тел определить структуру метеорных потоков;
3. Составить базу наблюдений метеорных потоков на основе различных методов, включая радиолокационный и телевизионный;
4. Построить численную модель распределения эволюции метеорного вещества в Солнечной системе.

## **Глава 1. ОПИСАНИЕ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ**

### ***1.1. АНАЛИЗ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ: ПРИРОДА, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ***

Появление метеоров стало известно человеческому обществу еще с древних времен. Мифы и сказания у разных наций показывают элементарные убеждения и поверья, связанные с неожиданным появлением болидов, а также полётом метеоров и выпадением «камней с неба». Первый раз припоминание о звёздных дождях встречаются в 1768 г. до нашей эры в китайских записях. После всего этого можно обнаружить их в многочисленных записях Руси, Китая, Кореи, стран Западной Европы.

Совместно с Аристотелем многие философы и учёные предполагали, что метеоры считаются исключительно атмосферным явлением, которые возникают при воспламенении земных испарений [1].

Известные китайские записи IX-XI века н.э. довольно детально описывают наблюдения метеоров, а в наши дни они в первый раз научно обработались советским астрономом И. С. Астаповичем. По другим данным было установлено, что много лет назад наблюдались множество из существующих до сих пор метеорных потоков. Некоторые из них полностью исчезли. Согласно древним летописям первую запись о болиде мы встречаем в 1091 году, а в 1202 году - упоминание о густом метеорном потоке Леонид. Достаточно подробно описан каменный дождь 25 июня 1290 года в районе города Великий Устюг в русских летописях. Выпадение метеоритов в этот день сопровождалось очень ярким огненным болидом, сотрясением почвы, громких звуков. 19 мая 1421 года в Великом Новгороде зафиксирован аналогичный яркий болид, сопровождающийся мощными звуковыми явлениями и выпадением потока каменных метеоритов. Известно и ряд других подобных записей.

Конец XVIII века можно полагать веком происхождения метеорной астрономии. В 1794 году, один из член - корреспондентов Петербургской академии наук Е. Ф. Хладни показал, что метеориты падают на Землю из межпланетного пространства[1]. Студенты из Германии И. Брандес и Бенценберг

в 1798 году впервые определили высоту метеора по принципу одновременных наблюдений из двух удаленных точек. Александр Гумбольдт в 1799 году наблюдал во время поездки в Южную Америку звездный дождь метеорного потока Леонид и из рассказов индейцев - старожилы установил, что те же самые звезды дожди наблюдались в 1733 и 1766 году, и что, следовательно, частота возникновения дождей Леонид составляет 33 года. В 1832 году обильный звездный дождь Леонид наблюдался в восточном полушарии Земли, а в 1833 - на западе. В 1832 году, астроном-самоучка из Курска Ф. Семенов, наблюдая Леониды, открыл явление излучения [1], затем высказал свое мнение о связи метеоров с кометами.

В 1852 году в Астрономической обсерватории Московского университета были начаты первые регулярные наблюдения метеоров, проводившиеся в России Б.Я. Швейцером, а затем в Вильно М.М. Гусевым. В 1862 году знаменитый академик по астрономии Ф. А. Бредихин в своей работе "О хвостах комет" подвел итоги российских и зарубежных исследований комет и метеоров и предложил рассмотреть способность распределения метеорных потоков из комет. В 1865-1866 гг. многочисленные исследования метеоров начали осуществлять в Италии Дж. Скиапарелли, в США Г. Ньютоном, Уильямом Деннингом в Англии и в иных странах. Такого рода увеличение заинтересованности учёных к метеорам в тот период характеризуется ожиданием возвращения звёздного дождя Леонид.

Леониды не предали ожиданий астрономов и в 1866-1868 гг. дали яркие звездные ливни. Дж. Скиапарелли в 1866 году установил связь метеорного потока Леонид и кометы Персеид. Ф. А. Бредихин, продолжив собственные мысли, к 1881 году завершил свое исследование о «теории выброса метеорных частиц из ядер комет». Идеи Скиапарелли и Бредихина и по сей день считаются фундаментом абсолютно всех работ, в которых исследуются взаимосвязь между кометами и метеорных потоков [1].

И.А. Клейбер в 1882 году написал первую русскую монографию о метеорах, опубликованную в Санкт-Петербурге два года спустя.

В завершении XIX века к исследованию метеоров начинают использовать современные астрофизические приемы. Первая фотография метеора была осуществлена в 1885 г. в Праге. Для измерения угловой скорости метеоров в 1893 г. Х. Элькин на Иельской обсерватории в США и независимо от него П.К. Штернберг на астрономической обсерватории Московского университета использовали крутящийся затвор (обтюратор) [1]. Гораздо позже, в 30-х годах XX столетия, и включая наши дни данный способ наблюдения скорости метеоров нашёл широчайшее использование. В 1901 г. И.И. Сикора впервые в России основал регулярное фотографирование метеоров. С.Н. Блажко получил первую спектрограмму метеора в 1904 г. на астрономической обсерватории Московского университета.

С 20 - х годов XX столетия, внимание к метеорам существенно увеличилось в целях исследования верхних слоев атмосферы. Этот период сходится с происхождением советской метеорной астрономии в свете общего развития науки после Великой Октябрьской революции. Советская наука за конечные тридцать с лишним лет выполнила значительные достижения в отрасли освоения метеоров. В первый раз в 1921 г. формируется групповая работа советских любителей астрономии по исследованию метеоров, успешно продолжающейся по сей день. И.С. Астапович в 1925 г. производивший наиболее подробную программу наблюдений метеоров и приступил к систематическому мониторингу по данной программе. Эта серия наблюдений, охватывающая период более 25 лет, является аналогом на ряду с наблюдениями В.А. Мальцева, Н.Н. Сытинской и многих других советских исследователей – ученых.

Один из основных вопросов, ответом для которой, начиная с 20-х годов нашего столетия, был начат немалый ряд работ как в СССР, так и за рубежом, представляется проблема «о взаимодействии метеорного тела с атмосферой и изучение строения атмосферы по наблюдениям метеоров».

Немецкий математик Ф. Линдеман и британский писатель Г. Добсон еще в 1923 году в Англии использовали приблизительные физические суждения метеоров для исследования структуры верхних слоев атмосферы.

В 1931 г. советский радиоинженер и астроном - любитель Н.А. Иванов написал статью, в которой впервые на базе экспериментальных данных была создана связь между ионизацией атмосферы и метеорных явлений Земли. В том же 1931 г. в США были сделаны наблюдения, также установившие существование отношений этих двух явлений[1].

Наш советский астроном Кирилл Петрович Станюкович в 1935 г. заложил основу для освоения физических условий в верхних слоях атмосферы по метеорным фотографиям. «Было сделано очень много работ по изучению метеоров, в том числе фотографическим методом, в 1932-1938 гг. и после 1948 г. членами Московского отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества (К.П. Станюкович, Н.И. Гришин и др.)». Регулярное фотографирование метеоров специализированным патрулем было начато в 1938 г. на Сталинабадской астрономической обсерватории.

Б.Ю. Левиным в 1939-1941 гг. была развита весьма подробная физическая теория полёта метеоров в атмосфере.

Следующей главной проблемой, заинтересовавший исследователей, является вопрос о природе самих метеорных тел. Огромную роль здесь дает получение спектров метеоров, показывающие нам информацию об их химическом составе.

Начиная с 1935 г. в советском союзе проводятся работы по исследованию свечения метеоров, которые первоначально начала Н.Н. Сытинская. В 1940 г. она создала метод определения массы метеоров по их яркости.

Регулярные эффективные визуальные и фотографические исследования выполняются в Чехословакии на астрономической обсерватории в Онджейове и в других местах. Весьма ценные работы о природе метеоритов и метеорных потоков, а также методология наблюдения метеоров сделаны в Чехословакии В. Гутом, Ф. Линком, М. Плавецом и З. Цеплейхой. Следует от-



метить долголетние регулярные наблюдения метеоров, выполнявшиеся К. Хоффмейстером в Германии и Южной Африке и отдающие занимательные достижения.

Одним из самых новых методов исследования метеоров, сообщаемым невероятно многообразные факты, служит радиолокация метеоров.

В первый раз радиолокационную аппаратуру для наблюдения метеоров использовали в Англии в 1945 г. Дж. Хей и Г. Стюарт. Рядом с Манчестером в ДжодреллБэнке была сконструирована большая современная радиообсерватория - экспериментальная станция Манчестерского университета, которую возглавил А. Ловелл. Здесь исследования метеоров проводятся как днем, так и ночью, в любых погодных условиях, даже во время частых в Англии туманов и дождей.

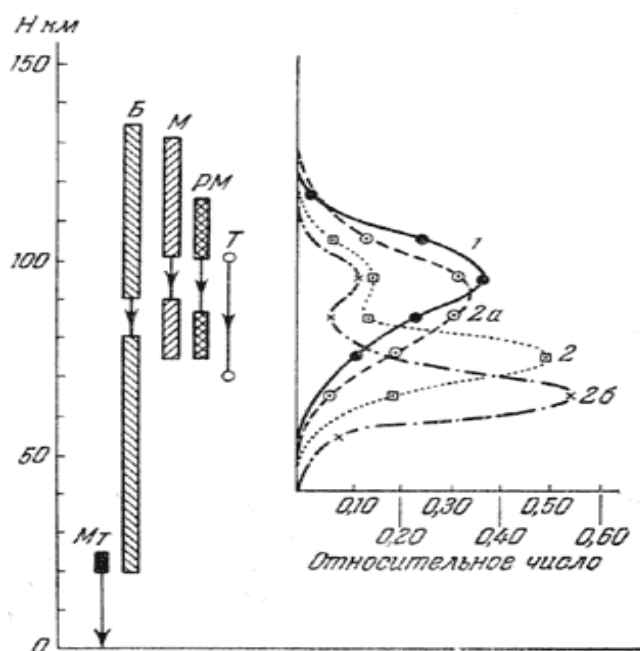
Первые в СССР радиолокационные наблюдения метеорных потоков провели 1946 г. П.О. Чечик и Б.Ю. Левин [1]. В нынешнее время такого рода наблюдения осуществляются в нескольких советских обсерваториях. Радионаблюдения метеоров, кроме Англии и СССР, проводятся в Канаде, где значительные ряды исследований начаты П. Миллманом и Д. Мак-Кинли, в США (У. Лиллер), а также в Индии (С. Чоманлал, К. Венкатораман)[1].

Во времена советского союза А.Г. Калашников разработал и успешно применил новый метод фиксации метеоров, созданный на исследовании магнитного действия, осуществляемые метеорами при их стремлении в земную атмосферу.

В настоящее время метеорная астрономия считается одной из самых быстро изменяющейся областью естествознания. Трудности, с которыми столкнулась современная метеорная астрономия: 1)наблюдение и изучение метеоров, попадающих в атмосферу земли, 2)изучение метеорного вещества, его путь и формирование в космическом пространстве, 3) изучение важности метеоров в образовании и развитии солнечной системы[1].

Метеоры рождаются на высоте 130 км, даже немного ниже, и пропадают приблизительно на высоте 75 км. Эти параметры меняются в зависимо-

сти от массы и скорости метеорных тел, входящих в атмосферу. Визуальные нахождение высот метеоров из трех и больше мест (так называемые коррелирующие) относятся главным образом к метеорам 0-3-й звёздной величины [2]. Когда мы анализируем воздействия достаточно заметных погрешностей, визуальные исследования передают нам намеченные величины высот метеоров: высота появления  $H_1 = 130-100$  км, высота исчезновения  $H_2 = 90 - 75$  км, высота середины пути  $H_0 = 110 - 90$  км (рис. 1.1.1)[2].



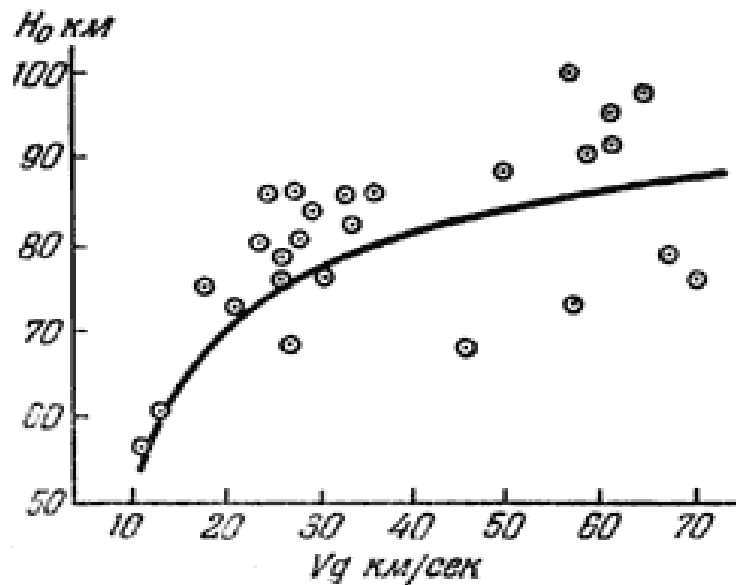
**Рис. 1.1.1.**Высоты( $H$ )метеорных явлений. Пределы высот (слева): начало и конец пути болидов (Б), метеоров по визуальным наблюдениям (М) и по радиолокационным наблюдениям (РМ),телескопических метеоров по визуальным наблюдениям (Т); ( $M_T$ ) - область задержки метеоритов. Кривые распределения (справа): 1 - середина пути метеоров по радиолокационным наблюдениям, 2 - то же по фотографическим данным, 2а и 2б - начало и конец пути по фотографическим данным[2]

Наиболее признанные фотографические исследования высот принадлежат, по большей части, к очень ярким метеорам, от -5-й до 2-й звёздной величины, или преимущественно ярким местам их траекторий. По фотографическим наблюдениям в советском союзе высоты ярких метеоров содер-

жаты в следующих пределах:  $H_1 = 110 - 68$  км,  $H_2 = 100 - 55$  км,  $H_0 = 105 - 60$  км. Радиолокационные наблюдения помогают решить отдельно  $H_1$  и  $H_2$  только для наиболее ярких метеоров. По радиолокационным сведениям для этих объектов  $H_1 = 115 - 100$  км,  $H_2 = 85 - 75$  км [2]. Необходимо увидеть, что радиолокационное измерение высоты метеоров входит исключительно к тому разделу метеорной траектории, вдоль которой создается значительно усиленная ионизационная полоса. Вследствие этого для одних и тех же метеоров высота по фотографическим показаниям будет значительно различаться от высоты по радиолокационным сведениям.

Для того, чтобы определить более слабые метеоры, на помощь приходят радиолокаторы. Но можно определить лишь их среднюю высоту. По телескопическим наблюдениям И.С. Астаповича и его сотрудников - специалистов в Ашхабаде, изрядное количество метеоров наблюдается также ниже 75 км, преимущественно на высотах 60 – 40 км. Это, вероятно, медленные и поэтому слабые метеоры, которые начинают светиться лишь врезавшись в земную атмосферу [2].

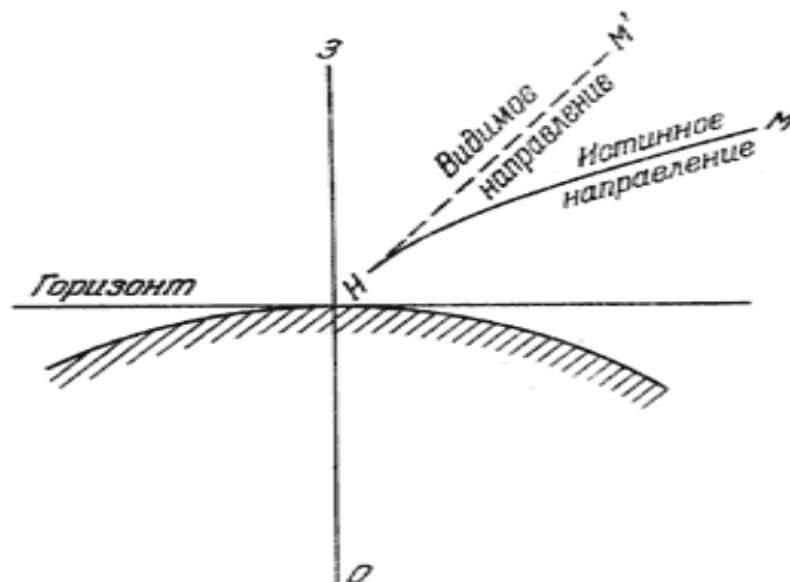
Переключаясь к наиболее крупным объектам, мы выясняем, что болиды появляются на высотах  $H_1 = 135 - 90$  км, имея высоту конечной точки пути  $H_2 = 80 - 20$  км. Болиды, проникающие в атмосферу ниже 55 км, сопровождаются звуковыми эффектами, а достигающие высоты 25 – 20 км обычно предшествуют выпадению метеоритов [2].



**Рис. 1.1.2.** Зависимость между средней высотой  $H_0$  и геоцентрической скоростью  $V_g$  метеоров по фотографическим определениям [2]

Длина метеоров находится в зависимости от массы метеорного тела, когда геоцентрическая скорость постоянна. Высота прохождения метеора обратно пропорциональна ее массе. Также длина метеоров взаимосвязаны с их скоростью относительно Земли. Если скорость метеора большая, то и высота на которой он начинает светиться становится выше, так как метеор с большей скоростью даже в разреженной атмосфере очень часто встречается с частицами воздуха, чем метеор с меньшей скоростью.

Заметная часть линии метеора, т.е. длина его пути в атмосфере, измеряется значениями высот его возникновения и пропадания, а также наклоном траектории к горизонту. Чем круче наклон траектории к горизонту, тем короче видимая длина пути. Длина пути обычных метеоров не превышает, как правило, нескольких десятков километров. Но для необыкновенно светящихся метеоров и болидов она может достигать сотен, а порой и тысяч километров [2].



**Рис. 1.1.3.** *Зенитное притяжение метеоров [2]*

Метеоры сияют на непродолжительном заметном отрезке своей траектории в земной атмосфере протяженностью в несколько десятков километров, с которым они проносятся за несколько десятых долей секунды (изредка за несколько секунд). При подходе к Земле исходная скорость метеора под действием земного притяжения возрастает, и путь отклоняется так, что наблюдаемый радиант его смещается к зениту (зенит - точка над головой наблюдателя). Поэтому действие притяжения Земли на метеорные тела называется зенитным притяжением (рис. 1.1.3) [2].

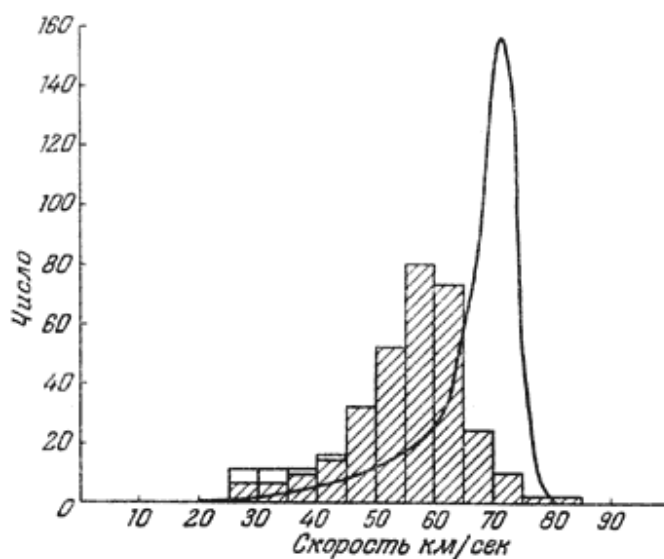
Чем медленнее метеор, тем больше влияние зенитного притяжения, как это можно видеть из следующей таблички 1.1.1.

$V_g$	0	0	0	0	0	0	70 км/сек
$V'_g$	5,0	2,9	2,0	1,5	1,2	1,0	70,9 км/сек
$\Delta z$	3°	0	0	0	0	1°	

**Таблица 1.1.1.** Определение скорости метеора при влиянии зенитного притяжения, где  $V_g$  обозначает начальную геоцентрическую скорость,  $V'_g$  - ту же скорость, искажённую притяжением Земли, а  $\Delta z$  - максимальная величина зенитного притяжения [2].

Прорываясь в атмосферу Земли, метеорное тело претерпевает, помимо того, торможение, сначала почти незначительно, но вполне заметное в прекращении своего пути. По чехословацким и советским фотографическим наблюдениям торможение может доходить на окончательном отрезке траектории 30-100 км/сек<sup>2</sup>, в то же время вдоль большей части траектории торможение колеблется от 0 до 10 км/сек<sup>2</sup>. Медленные метеоры испытывают максимальную относительную трату скорости в атмосфере [2].

Кажущаяся геоцентрическая скорость метеоров, искажённая зенитным притяжением и торможением, корректируется учетом воздействия этих факторов [2].



**Рис. 1.1.4.** Распределение метеорных потоков по скорости согласно из радиолокационных наблюдений. Плавная кривая - расположение, которое должно было быть при параболической скорости метеоров. Столбики - исследованные величины, представляющие, что метеоры имеют эллиптическую скорость [2]

Преимущественно безошибочным служит фотографический метод

измерения скорости метеорных потоков с использованием обтюлятора. Все без исключения измерения скорости метеоров, взятые фотографическим методом в США, СССР и Чехословакии, свидетельствуют о том, что метеорные тела должны передвигаться вокруг Солнца по замкнутым эллиптическим линиям (орбитам). В связи с этим, оказалось, что подавляющая часть метеорной материи, если не вся она, относится Солнечной системе. Данный результат хорошо сходится с данными радиолокационных измерений, хотя по итогам фотографических исследований обычно входят в состав самых ярких метеоров. Кривая распределения скоростей метеоров, найденная с помощью радиолокационных наблюдений (рис. 1.1.4), демонстрирует, что геоцентрическая скорость метеоров находится в основном в пределах от 15 до 70 км/сек. Данные рассуждения ещё раз доказывают то, что метеорные тела перемещаются вокруг Солнца по эллипсам [2].

Дело в том, что скорость движения Земли по орбите составляет 30 км/сек. Получается, что встречные метеоры, которые имеют геоцентрическую скорость 70 км/сек, движутся относительно Солнца со скоростью 40 км/сек. Но на расстоянии Земли параболическая скорость (т.е. скорость, необходимая, чтобы тело унеслось по параболе за пределы Солнечной системы) составляет 42 км/сек. Следовательно, все скорости метеоров не превосходят параболической и поэтому, их орбиты показываются в виде замкнутых эллипсов.

Судя по спектрам метеоров, заметно, что в состав метеорных частиц может входить или железа, имея плотность свыше  $8 \text{ г/см}^3$ , или камни, что соответствует плотности от 2 до  $4 \text{ г/см}^3$ . Яркость и спектр метеоров дают возможность просчитать их массу и размеры. Видимый радиус сияющей оболочки метеоров 1-3-й звёздной величины рассчитывается приблизительно в 1-10 см. Вместе с тем радиус сияющей оболочки, определяемый распространением светящихся частиц, намного преобладает радиус самого метеорного тела. Метеорные тела, которые влетают в атмосферу со скоростью 40-50 км/сек и образуют явление метеоров нулевой звёздной величины, имеют ра-

диус порядка 3 мм, а массу порядка 1 г. Яркость метеоров пропорциональна их массе. И таким образом масса метеора некоторой звёздной величины в 2,5 раза меньше, чем для метеоров предыдущей величины. Помимо всего, яркость метеоров пропорциональна кубу их скорости относительно Земли [2].

На высоте 80 и более километров, входящие в атмосферу Земли на больших скоростях, частицы метеора сталкиваются с очень сильно разреженной газовой средой. На этой высоте воздух в тысячу более миллионов раз менее плотный, чем на плоскости Земли. Именно из-за этого метеорное тело в данной зоне, взаимодействуя с атмосферной средой, разбрасывается отдельными молекулами и атомами. Это - молекулы и атомы кислорода и азота [2], потому что атмосферные свойства в зоне метеоров примерно как на уровне моря. При упругом столкновении атомы и молекулы газов могут проникнуть в кристаллическую решетку метеорного тела. В результате тело нагревается, плавится и испаряется. Сперва частицы исчезают с маленькой скоростью, а потом оно увеличивается до максимального значения и снова уменьшается в конце видимого пути метеора. Атомы, которые испаряются, выходят из метеора с огромными скоростями и, имея большую энергию, соударяются с атомами воздуха и это приводит к нагреванию и ионизации. Из испарившихся атомов образуется оболочка метеора, которое светится. В результате столкновений некоторые атомы целиком лишаются внешних электронов, и из-за этого вокруг пути метеора появляется ионизированный газ, который состоит из свободных электронов и положительных ионов. Ионизированный след содержит в себе электроны в количестве  $10^{10}$ - $10^{12}$  на 1 см пути. Нагревание, свечение и ионизация забирают себе кинетическую энергию примерно в следующем соотношении  $10^6:10^4:1$ .

Следы, остающиеся уже после полёта метеорных потоков, можно рассмотреть как невооруженным глазом, так и с помощью радиолокаторов. Наиболее удачно возможно пронаблюдать ионизационные следы метеоров в светосильные бинокли или телескопы (так называемые кометоискатели).



Следы болидов, проходящих в гораздо низких и густых слоях атмосферы, наоборот, существенным образом содержат пыли и благодаря этому заметно, что они как мрачные дымные облачка на фоне голубого неба. Если такой пылевой след высвечивается лучами зашедшего Солнца или Луны, он бывает виден, как серебристые полосы на фоне ночного неба. Следы же не очень ярких метеоров, возникающих на высотах 75 км и больше, содержат лишь очень малую долю пылевых частиц и видны исключительно в результате самосвечения атомов ионизованного газа. Длительность зримости ионизационного следа невооружённым глазом образует для болидов -6-й звёздной величины около 120 сек., а для метеора 2-й звёздной величины 0,1 сек., в то время как продолжительность радиоэха для тех же тел (при геоцентрической скорости 60 км/сек) равна 1000 и 0,5 сек., соответственно [2].

## ***1.2. МЕТЕОРНОЕ ВЕЩЕСТВО В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ***

Ранее мы рассматривали метеорные потоки во время их возникновения перед глазами наблюдающего, когда они начинают ярко сверкать в верхних слоях атмосферы либо когда падают на земную поверхность в виде метеоритов. Как раз на этом окончательном этапе жизни метеорных потоков мы можем получить о них всю информацию. За границаминашей атмосферы невозможно найти существование маленьких метеорных частиц и исследовать их свойства. Тем не менее, анализируя показания наблюдений метеоров во время их встречи с Землёй, можно получить очень значимые и достаточно подробные данные об их характеристиках и космической природе.

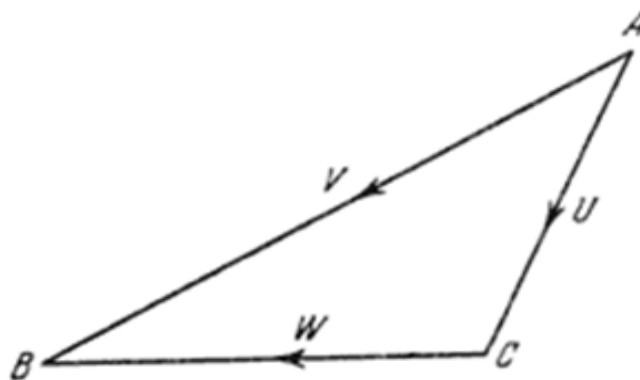
Самый главный вопрос, касающийся космической природы метеорного вещества, это вопрос о количестве, пространственной плотности и массе метеорных тел. Для этого нужно вычислить истинное суточное число метеоров. Метод подобного вычисления достаточно легкий. По радиолокационным показаниям установлено, что средняя высота метеоров составляет 87 км. Допустим, что радиус поля зрения наблюдателя, внутри которого он может ви-

деть все метеоры 0-2-й звёздной величины, составляет  $25^\circ$ . Отсюда можно вычислить величину площадки, которая является этим полем зрения на высоте 87 км. Она примерно равняется 5000 кв. км, в то время как площадь всей Земли составляет 5000 кв. км. Если часовое число метеоров, например, 2-й звёздной величины будет 1,2, то истинное суточное число  $N$  таких метеоров для всей Земли будет[3]:

$$N = 1,2 \frac{5 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^3} \times 24 = 2,9 \cdot 10^6 \quad (1.2.1)$$

Это отношение прекрасно доказывается радиолокационными наблюдениями. Но все же это среднее соотношение, написанное для общих метеоров, встречающих Землю, не выполняется у других метеорных потоков.

При встрече метеоров с Землёй их геоцентрическая скорость является результатом сложения скорости движения Земли по отношению метеоров к Солнцу (их гелиоцентрической скорости) (рис. 1.2.1). Направление движения метеоров относительно к Земле характеризуется угловым расстоянием (элонгацией) радианта от точки, куда движется Земля (апекса). Так как исследуемые геоцентрические скорости метеоров лежат в пределах от 10 до 71 км/сек, а скорость движения Земли составляет 30 км/сек [3], то гелиоцентрическая скорость метеоров не превышает 41 км/сек, т. е. она меньше параболической скорости. Таким образом, все орбиты метеоров вокруг Солнца являются замкнутыми эллиптическими орбитами [1].



**Рис. 1.2.1.** Гелиоцентрическая ( $V$ ) и геоцентрическая ( $U$ ) скорость метеоров;  $W$  - скорость Земли на орбите [1]

С другой стороны, скорость метеоров может быть просчитана не из наблюдений, а следующим статистическим методом, предложенным Дж. Скиапарелли (Италия) и развитым К. Хоффмейстером (Германия). Предположим, что все направления движения метеоров в окрестности Земли равновероятны. Когда апекс стоит высоко над горизонтом, на небесной полусфере, рассматриваемой наблюдателем, число метеоров должно быть больше. Это связано с тем, что мы видим над горизонтом множество встречных метеоров, а также метеоры, движущиеся медленнее Земли и догоняемые ею. И наоборот, когда над горизонтом находится антиапекс (т.е. точка, откуда уходит Земля) и наблюдатель видит на своей небесной полусфере только догоняющие Землю метеоры, число метеоров должно быть меньше. Если метеоры были неподвижны относительно Солнца, то отношение числа догоняющих метеоров к встречным было бы равно нулю. А если бы метеоры обладали бесконечной скоростью, это отношение обратилось бы в единицу. Для всех промежуточных значений средней гелиоцентрической скорости метеоров при условии равновероятности различных направлений мы будем иметь величину этого отношения меньше единицы, число догоняющих метеоров меньше числа встречных [3].

В самое последнее время значительные находения скорости и направления движения отдельных метеоров радиолокационным методом дали возможность конкретизировать характер орбит спорадических метеоров, встречающих Землю. По результатам данных Д. Дэвиса, полученных на радиообсерватории ДжодреллБэнк в 1954 г., большая часть орбит метеоров представляет собой эллипсы с периодами обращения вокруг Солнца от 0,5 до 10 лет. Наибольшее количество метеорных орбит соответствует периоду обращения вокруг Солнца около 3 лет. Радианты спорадических метеоров рассеяны по всему видимому полушарию неба, так что их орбиты наклонены к плоскости земной орбиты (эклиптики) под всевозможными углами. Данные сведения соответствуют с не столь значительными фотографическими на-

блюдениями метеорных орбит, выполненными Ф. Уиплом и Л. Яккиа в США, Л. А. Катасевым в СССР.

Как происходит распространение метеорного вещества в Солнечной системе? На этот вопрос можно ответить только предположительно, ведь мы знаем лишь те метеоры, которые в своём движении вокруг Солнца приближаются к Земле, точнее, орбиты которых пересекаются с орбитой Земли. По причине этого мы можем изучать исключительно ограниченный вид орбит метеорных тел. Делать выводы обо всей совокупности метеорных тел в Солнечной системе весьма сложно. Без всякого сомнения, можно допустить, что плотность метеорного вещества уменьшается с расстоянием от Солнца. Метеорное вещество в основном группируется в плоскости эклиптики, т. е. в одной и той же плоскости, что и орбиты больших планет, что в составе частей метеорного облака по мере удаления от Солнца могут иметь место качественные изменения[3].

По линиям элементов мы можем утверждать о химическом составе метеоритов, которые были найдены в спектрах. Спектры метеоров подразделяются на две группы. Первая группа характеризуется интенсивными линиями кальция, во второй группе особенно характерными являются линии железа. Остальные спектральные линии определяются в метеорных спектрах по их расположению относительно линий кальция и железа. Спектры I группы встречаются наиболее часто - в 75% случаев. Они содержат, помимо линий кальция, также линии железа, хрома, алюминия, никеля, кремния, марганца, магния, натрия, титана и: кобальта. Таким образом, метеорные тела, свечение которых даёт спектры I группы, совершенно одинаковые по своему химическому составу с каменными метеоритами [3].

Спектры II группы встречаются только в 25% случаев, включают в себя линии железа и никеля и вызываются свечением железных метеорных тел, абсолютно соответствующих железным метеоритам. Отсюда следует вывод, что метеориты и более мелкие метеорные тела похожи по своему химическому составу и образуют единый ряд [3].

Это всеобщие особенности природы метеорных потоков в Солнечной системе. А вот вопрос о происхождении метеорного вещества просит детального рассмотрения взаимоотношений между метеорами и другими телами Солнечной системы.

### ***1.3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ ПО ОРБИТЕ ЗЕМЛИ***

Совокупность метеорных элементов в Солнечной системе является упорядоченным. Некоторые метеоры проделывают свой путь вокруг Солнца по замкнутым орбитам, в том же направлении, что и наиболее большие тела Солнечной системы - планеты и их спутники [4]. Данная ситуация делается ещё больше обоснованной и упорядоченной, если иметь в виду, что целые рои метеорных тел перемещаются по общим орбитам, образуя более или менее сильные метеорные потоки. Эти потоки нетрудно рассмотреть при наблюдении с Земли. Метеоры, относящиеся к одному и тому же потоку, передвигаются по взаимно параллельным путям, и наблюдатель думает, что они вылетают из одной точки неба, называемой радиантом. Радиолокация дала возможность более расширить наши данные о метеорных потоках, выявив так называемые дневные потоки, радианты которых возникают над горизонтом наблюдающего исключительно лишь днем [5].

Радиолокационные наблюдения не только предоставляют информацию положения радиантов метеорных потоков с точностью, приближенно равной визуальным определениям[4], но еще и дает выявить геоцентрическую скорость самых активных из них, т.е. обнаруживать их орбиты. Ввиду этого все данные о дневных метеорных потоках, взятые только радиолокационным методом, оказываются совершенно безошибочными.

Имея радиант, т.е. направление перемещения метеоров сравнительно около Земли и их геоцентрическую скорость, возможно рассчитать орбиты метеорных потоков. Орбита метеорного потока [4], похожего на любые другие тела Солнечной системы, задаётся шестью компонентами. Эти компонен-

ты сначала определяют взаимное положение плоскостей орбиты потока и Земли, затем положение и вид эллипса орбиты в этой плоскости, и, в последнюю очередь, время прохождения метеоров через перигелий - самую близкую к Солнцу точку орбиты (обратная ей, самая отдаленная от Солнца точка орбиты называется афелием) [4].

В связи с тем, что необходимо знать форму и положение в пространстве орбиты метеорного потока, нужно выяснить пять элементов, такие как: наклон плоскости орбиты к эклиптике ( $i$ ); долготу восходящего узла, являющимся угловым расстоянием в плоскости эклиптики от точки весеннего равноденствия до точки, где сходятся плоскости орбиты Земли и метеорного потока; угловое расстояние перигелия от восходящего узла, вычитываемое в плоскости орбиты ( $\omega$ ); расстояние потока от Солнца в перигелии ( $q$ ), также большую полуось эллипса орбиты ( $a$ ); эксцентриситет орбиты ( $e$ ), величина которого для эллипсов находится в пределах от 0 до 1. Период обращения потока вокруг Солнца ( $P$ ) связан с величиной большой полуоси орбиты третьим законом Кеплера:  $P = a^{3/2}$  Время прохождения объекта через перигелий, обыкновенно вычисляемое для планет и комет [4].

Метеорные потоки, для которых известны орбиты, можно разбить на три категории. К первой категории относятся метеорные потоки, афелии которых уходят на дальнейшее расстояние за пределы орбиты Юпитера. Орбиты этих потоков сильно вытянуты, наклонены к плоскости эклиптики под значительными углами, временами превышающими  $90^\circ$  (в случае обратного движения). Периоды обращения таких потоков вокруг Солнца исчисляются десятками лет. Такими метеорными потоками являются Персеиды и Леониды, Лириды, Ориониды,  $\gamma$  – Аквариды [4].

Ко второй категории входят метеорные потоки, афелии орбит которых ближе к орбите Юпитера. Такие орбиты несущественно наклонены к плоскости эклиптики. Эта категория потоков очень часто испытывают возмущения со стороны Юпитера, создавая так называемое семейство Юпитера. Таковы

Дракониды, Андромедиды, Боотиды. Периоды обращения этих потоков составляют несколько лет [4].

И в конце концов, третья категория, принадлежит к семейству орбит метеорных потоков, расположенных около орбиты Земли. Метеоры этой категории движутся в том же направлении, что и Земля. Их орбиты незаметно наклонены к эклиптике. К этой категории относятся Квадрантиды, Виргиниды,  $\delta$ -Аквариды, Скорпиониды, Геминиды и очень обильные дневные метеорные потоки. Периоды обращения этих метеорных потоков составляют 1-3 года [4].

По распределению метеорного вещества вдоль орбиты все метеорные потоки можно разделить на две группы. К первой группе входят метеорные потоки с резко выраженным скоплением метеоров в одном из участков орбиты. При ежегодной встрече с Землёй такой поток проявляется слабо. В годы же, когда Земля встречает основное скопление метеорных тел, наблюдается чрезвычайно обильное появление метеоров, так называемый звёздный, точнее, метеорный дождь. К такому виду потокам относятся Лириды, Леониды, Дракониды, Андромедиды (Биэлиды) [4].

У других остальных потоков относящихся ко второй группе, метеорное вещество размещено примерно одинаково вдоль всей орбиты, создавая своего рода "баранку", обращающуюся вокруг Солнца [4]. Классическим примером такой группы метеорного потока служит Персеиды, наблюдаемые каждый год приблизительно в одном и том же количестве. Большая часть метеорных потоков принадлежат именно к данной группе.

Пространственная плотность метеорного вещества в потоках выше, чем средняя плотность спорадических метеоров. Но даже в таких обильных потоках, как Персеиды или Геминиды, одна частица, дающая метеор, заметный невооружённым глазом, приходится в среднем на кубический объём пространства с ребром в 100-120 км. И только для более плотных участков метеорных потоков первой категории, когда часовое число метеоров достигавший до нескольких тысяч, взаимное расстояние между такого рода части-

цами убывает до 30 и даже до 15 км, как например во время звёздного дождя Леонид 1833 г. [4].

Распределение частиц по массе в потоках значительно различается от распределения для спорадических метеорных данных. Величина  $n$ , показывающая, насколько раз увеличивается число метеорных частиц при переходе от одной звёздной величины к другой, по данным К. Хоффмейстера имеет для каждого метеорного потока свойственное ему значение и изменяется от 4,0 для Орионид до 1,7 для Лирид. По более достоверным, радиолокационным наблюдениям, включающим метеоры до 8-9-й звёздной величины, величина  $n$  для Геминид, Квадрантид, Персеид колеблется в пределах 1,7-1,9. Это означает, что большая часть этих метеорных потоков в основном содержатся из крупных метеорных тел. В то же время некоторые метеорные потоки, как, например, Ориониды ( $n = 4$ ) или Арнетиды ( $n = 3,2$ ), наоборот, относительно обогащены мелкими частицами. Это состояние объясняется разным возрастом метеорных потоков, находящихся на различных стадиях своего развития [4].

Зная плотность метеорного вещества в потоках и массу отдельных метеорных тел, мы можем вычислить общую массу потока. Для такого потока, как Персеиды, она равна  $10^{10}$  т, что примерно в  $10^{12}$  раз меньше массы Земли. Все потоки, вместе взятые, имеют общую массу, вероятно, порядка  $10^{-10} - 10^{-11}$  массы Земли. Таким образом, метеорное вещество, находящейся в видимых нами потоках, образует малую часть (около  $10^{-16}$ ) всей массы Солнечной системы [4].

#### ***1.4. МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ***

Наблюдения метеоров можно осуществлять визуально, при помощи фотографирования и с использованием различных устройств и механизмов.

Оптические способы наблюдения метеоров невооружённым глазом были необыкновенным и безопасным способом метеорной астрономии в



протяжении XIX и начала XX столетий и на сегодняшний день не лишились достоинства. В четкую безлунную ночь свидетель всего этого наблюдения может обнаружить метеоры 5-й и даже 6-й звёздного размера, которые обладают такой же яркостью, как и в особенности, неяркие звёзды, которые видны невооружённым глазом. За одну ночь в протяжении одного часа можно обнаружить примерно десять метеоров невооружённым глазом.

Установление заметной позиции радиантов на небосводе необходимо для исследования перемещения метеорных тел в Солнечной системе. Тем не менее, они образуют самую главную задачу зрительных наблюдений метеоров.

Действенное использование фотографии к исследованию метеоров сделалось доступным за минувшие 20 лет в следствии возникновения короткофокусных светосильных фотокамер с огромным полем зрения и увеличения восприимчивости фотографических эмульсий. На некоторых снимках небосвода, сфотографированный с иной целью, изредка попадают и кадры метеоров. Этими photographиями тоже можно воспользоваться для изучения полёта метеоров в атмосфере. Но для решения ключевых проблем, связанных с исследованием метеоров, нужна специализированная организация по фотографированию метеоров при помощи короткофокусных камер. Их располагают в двух местах, удалённых друг от друга на 5 - 40 км. Подобные двойные снимки дают возможность определить высоты и скорости метеоров. Объективы камер раскрываются на несколько часов, и на пластинках сохраняются следы абсолютно всех довольно ярких метеоров, пронесшихся в поле зрения камер [5]. С целью установления быстроты полёта метеоров используется обтюратор, т. е. затвор, вращающийся перед объективом как крылья ветряной мельницы.

К тому же наиболее сложным процессом, нежели съёмка метеоров, считается добывание снимков их спектров. Вплоть до нынешнего периода во всём мире получено только лишь приблизительно 120 спектров. Призмённая

камера, в первый раз использованная полсотни лет назад С.Н. Блажко, длительный период считался основным прибором для этих целей.

Как правило, спектр метеора содержит ряд единичных линий химических элементов, входящих в состав метеора. Наряду с этим любая линия предоставляет изображение метеора таковым, каковым он представлялся бы, в случае если бы состоял лишь из данного химического элемента. Очевидно, что изображение метеора в проблесках одного какого-нибудь элемента будет намного слабее, нежели совместное его изображение на обыкновенных фотографиях. В связи с этим, для фотографирования спектров метеоров, используют небольшие короткофокусные светосильные камеры. При малых масштабах спектров на снимках сложно заявлять о достоверном определении всех спектральных линий.

Преимущественно сильным новейшим устройством исследования метеоров, безусловно, считается радиолокация. Усовершенствование оборудования радиолокации в последние годы предоставило возможность использовать данный метод дальновидения и для отслеживания метеоров. Отныне метеоры могут наблюдаться целыми днями, ночью, в дождь и в туман. С целью исследования метеоров используются простые радиолокаторы, предусмотренные на длину волны от 4 до 12 м. Выяснено, что в радиолокаторе расстояние до цели, отражающей радиоволны, обуславливается по времени их пробега туда и противоположно, так как скорость их распространения известна (300000 км/с) [5].

Главной составляющей приемного прибора радиолокатора считается так именованная катодно-лучевая трубка, популярная большинству людей в качестве одного из элементов телевизора. В этой трубке отражённые от цели радиоволны изменяются в большое количество электронов - электронный луч, порождающий в сияющем экране радиолокатора возникновения яркого пятнышка. Состояние данного пятна на экране находится в зависимости от времени расстояния радиоволн.

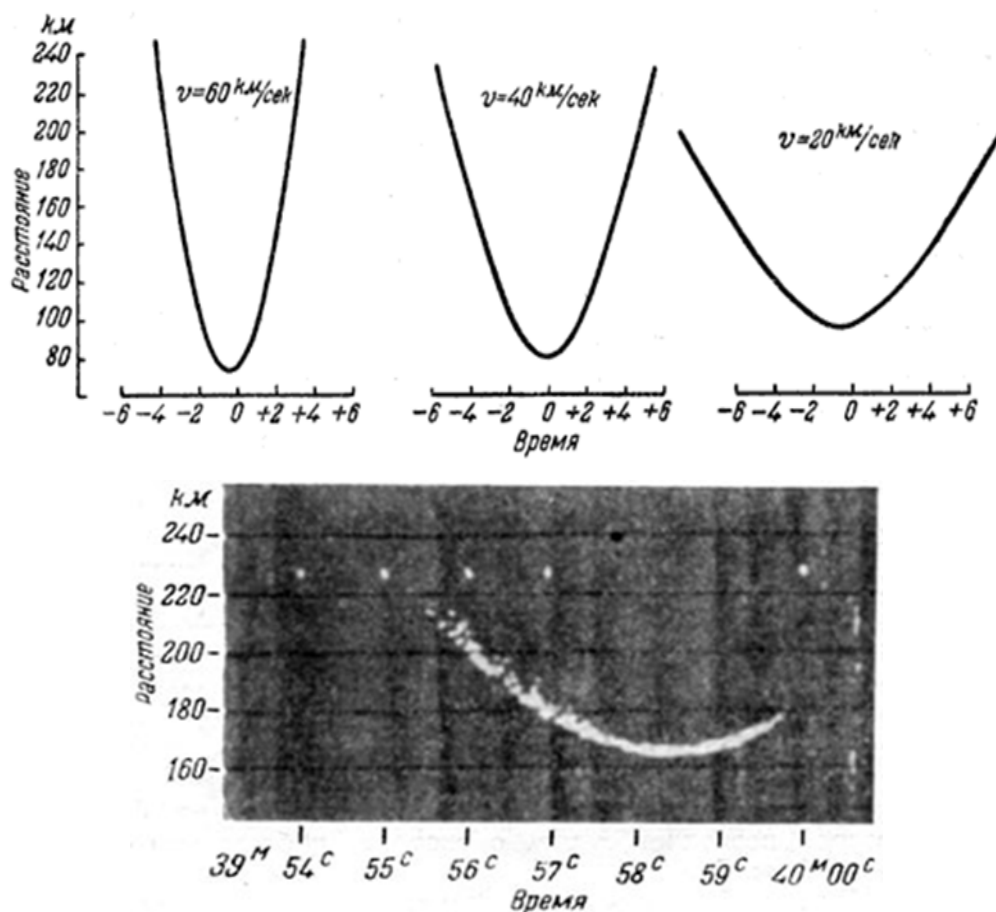
Импульсы (сигналы), передаваемые антенной радиолокатора, разнятся в большей степени по установленным направлениям, притом их насыщенность стремительно снижается с колебанием от данного направления. Ежели создать диаграмму насыщенности сигналов по направлениям, в таком случае вся она будет содержаться как бы из лепестков, называемых «лепестками направленности антенны». Один из этих лепестков считается основным. Данные лепестки вырезают на небе участки, где возможно подобным методом фиксировать полёт метеоров[5].

Калибровка на экране катодно-лучевой трубки радиолокатора шкалы расстояний в километрах дает возможность установить напрямую расстояние до метки - в нашем случае вплоть до метеора [5]. Предварительно направлять антенну радиолокатора на метеор невозможно, поскольку метеоры неожиданно возникают в каждом участке небосклона и полёт их длится доли секунды. По этой причине антенна радиолокатора ставится неподвижно или неспешно вращается вокруг вертикальной оси, разглядывая небо в разных местах. Вместе с тем метеоры, проникающие в зону лепестка антенны, способны передавать радиоэхо.

То, что относится технологии установления радиантов, в таком случае она сформирована в использовании двух радиолокаторов, антенны которых обращены взаимно под прямым углом. Воспроизведение радиосигнала от метеора совершается по лучу, перпендикулярному пути прохождения метеора. По этой причине его радиант расположен по направлению, отдаленный на  $90^\circ$  от направления главного луча каждого из двух радиолокаторов [5].

Иной метод установления радиантов подходит к некоторым другим блестящим метеорам, предоставляющих отблеск не только по перпендикуляру к своей траектории, но и боковые. Расстояния до двух точек метеорного следа формируются из трех пунктов, находящихся вверху примерно как равносторонний треугольник со сторонами почти 60 км. Это даёт направление траектории, а значит, и радиант метеора.

Весьма немаловажную роль играет выяснение скоростей метеоров с помощью радиолокации. Применение радиолокатора с протяженностью волны 8-10 м дает возможность взять незеркальные отражения от метеорного следа. Потому и на экране радиолокатора возможно просмотреть перемены расстояния вплоть до метеора по прошествии времени. В то же время на экране катодно-лучевой трубки радиолокатора появляется гиперболическая кривая, форма которой дает судить о быстроте скорости наблюдаемого метеора (рис. 1.4.1).



**Рис. 1.4.1.** *Определение скорости метеоров при помощи радиолокации. Вверху - форма диаграммы "время - расстояние" для метеоров различной скорости. Внизу – изображение диаграммы на экране электронно-лучевой трубки [5]*

Во время полета метеорного потока насквозь участка небосклона, вырезаемый лепестком антенны, прослеживается крайне удивительная картина дифракции радиоволн, опять же разрешающее измерить скорость полёта ме-

теоров. В период возникновения метеора на перпендикулярном луче антенны датчик считывает стремительно усиливающееся радиоэхо. Уже потом данные первоначальной радиоволны, отражённые от промчавших дальше метеоров, будут налагать с основным отражением, т.е. накладываться на него и увеличивать либо уменьшать это отражение, зависимо от разности фаз обоих отражений. А данная разность фаз, в свою очередь, вычисляется разностью расстояний по основному лучу антенны и по устремленности на передвигающийся метеор [5].

Скорость метеора данным способом вычисляется по промежуткам времени среди максимумов радиоэха. Так например, длину отрезков  $PB'$ ,  $PD'$  и т.д. несложно вычислить, зная расстояние до метеора  $R$  и длину радиоволны  $\lambda$ , из этого уже просто взять и скорость на всём участке пути [5]. Дифракционный способ разрешает отыскать скорость метеоров с довольно значительной точностью, и его удаётся использовать около к 20% всех метеоров, получаемых радиолокатором.

Завершая анализ нынешних способов исследования метеоров, необходимо выделить их разнообразие. С целью основательного выяснения ряда вопросов, имеющих отношение к геофизической и астрономической стороне метеорных событий, в действительности оказалось более подходящим комплексное использование разных способов изучения метеоров. Одновременно с этим один из способов применяется как главный, а другие используются как дополнительные при решении более трудных задач. Самыми значительными способами исследования метеоров в наше время считаются радиолокационный и фотографический.

Завершая рассмотрение метеорных потоков, необходимо заметить их отношение со спорадическими метеорами. Длительный период в астрономии проходила четкая линия среди этих двух групп метеоров. Спорадические метеоры анализировались как посторонняя для Солнечной системы среда, состоящая из частиц, неупорядоченно движущихся вдоль и поперек. Совершенствуясь схожие описания, значительная часть астрономов делали заключе-

ния о межзвёздном возникновении спорадических метеоров. Но выяснилось, что это неверно при более внимательном исследовании метеорных явлений. По мере наблюдений как спорадических метеоров, так и метеорных потоков, становится все более размытым исторически сложившиеся мнения учёных. Конечные сведения радиолокационных исследований дают возможность рассмотреть спорадические метеоры, упорядоченно движущиеся вокруг Солнца с периодами в среднем примерно 3 года. Это сближает их с очень большим классом короткопериодических метеорных потоков второй и третьей категорий [4]. Спорадические метеоры отличаются от метеорных потоков только тем, что они не связаны в тесные группы, отношение между отдельными членами которых обнаруживается для наблюдателя. Есть еще кое-какое отличие в распределении метеорных тел по яркости, свидетельствующая, скорее всего, на разнообразный возраст спорадических метеорных тел, входящих к некоторым потокам. Впрочем, данные отличия в природе разных категорий метеоров незначительный. Все метеоры, наблюдаемые нами, возгораются из-за встречи Земли с метеорными телами, входящими к Солнечной системе и формируют всеобщее могучее облако метеорного вещества вокруг Солнца.

## Глава 2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

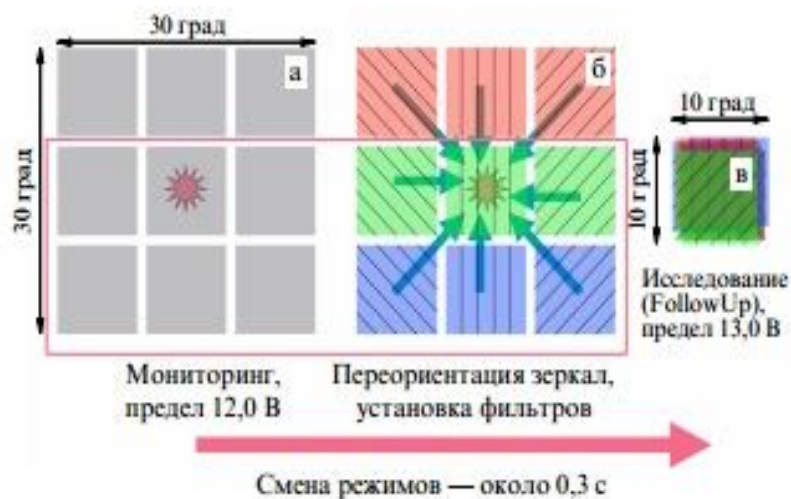
### 2.1. ТЕЛЕСКОП ММТ

Система Mini – MegaTORTORA, так же известная как ММТ (многоканальный мониторинговый телескоп), представляет собой набор отдельных каналов-объективов (рис.2.1.1), установленных попарно на экваториальных монтировках [6].

Перед каждым объективом расположено плоское зеркало, изменяющее положение по двум направлениям на  $\pm 20^\circ$  и меняет само поле зрения отдельных каналов. Помимо этого, каждый объектив снабжен набором цветowych и поляризационных фильтров, которые могут вводиться в световой пучок в процессе наблюдений. Это позволяет быстро переходить от широкопольного мониторинга без фильтров к узкопольным наблюдениям, при которых все объективы направляются на одну область (например, на область, содержащую только что обнаруженный транзиент) и фиксирует ее с применением всевозможных вариаций цветowych и поляризационных фильтров (рис.2.1.2). Еще можно параллельное исследование транзиента всеми объективами в одном фильтре для увеличения точности фотометрии за счет суммирования их данных [7].



**Рис. 2.1.1.** *Отдельный канал системы регистрации. Несколько (шесть или девять) таких каналов составляют базовый блок [8].*



**Рис. 2.1.2.** Различные режимы функционирования базового блока. (а) Режим широкопольного мониторинга в белом цвете или в одном из цветовых фильтров. (б) Введение в световой пучок цветовых и поляризационных фильтров как первый шаг после обнаружения оптического транзientа. (в) Перенаведение всех объективов на поле, содержащее транзient, для получения информации о нем в трех различных фотометрических полосах при трех ориентациях плоскости поляризации (показанных различными направлениями штриховки) одновременно. Точное время, необходимое для перехода от одного режима к другому, зависит от аппаратной конфигурации, но ожидается, что оно не превысит 0,3 с. (В – «синяя» звездная величина) [6].

Каждый объектив снабжен стремительным детектором (быстрая матрица, оснащенная ЭОП). Технические характеристики канала с оснащенной ЭОП быстрой матрицей показаны в табл.2.1.1. Регулирование системой в целом и обработка получаемых ею сведений происходит в настоящем времени программным обеспечением, подобно применяющихся в камерах FAVOR и TORTORA.



Главный объектив		ЭОП		ПЗС - матрица	
Диаметр D	71 мм	Фотокатод	GaAs	Модель	SONY 2/3 " IXL 285 interline
Фокусное расстояние F	85 мм	Диаметр	17,5 мм	Размеры	1388×1036 пикселей
D/F	1/1,2	Усиление	40000	Масштаб	30" - 40" на 1 пик- сел
Поле зре- ния	10×10 град.	Масштабирование	1/1	Экспозиция	0,128 – 10 с
		Квантовый выход	30% на 4500А	Размер пиксела	6.45 мкм

**Таблица 2.1.1.** Технические параметры отдельного канала Mini – Mega TORTORA [6]

Главный порядок деятельности телескопа - мониторинговый. Созданный метод, рассматривая материалы своей метеостанции, может самостоятельно осуществить начало исследований, подобрать наилучшее место на небе и приступить его исследовать. В данном порядке все девять каналов системы ориентированы на схожие, немного перекрывающиеся территории неба любой площадью примерно 100 квадратных градусов. Спустя определенное время область для мониторинга изменяется. Отсюда следует, за одну исследовательскую ночь ММТ сумеет рассмотреть всю небесную сферу, видимую с места наблюдения, полтора раза. Целью данного мониторинга считается выявление астрофизических явлений и объектов, для которых, во-первых, нельзя предварительно узнать время и место (на небе) их появления, а во-вторых, которые длятся не более нескольких минут, а то и секунд. Например, оптических вспышек, возможно сопутствующих космическим гамма-

всплески. Последние фиксируются орбитальными гамма-телескопами. А их оптическое излучение по сей день остается почти неуловимым [9].

Заметив такое явление, телескоп ММТ в продолжительности меньше одной секунды машинально преступает к исследованию, где увиденный объект в то же время изучается всеми остальными каналами системы, параллельно с этим отдельные три канала фиксируют излучение в отмеченном месте видимого спектра (желтом, синем, фиолетовом) и разными поляризационными характеристиками. В связи с этим, телескоп не только фиксирует заново возникшие оптические объекты, но и выясняет их физические свойства.

## ***2.2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ С МАССОЙ БОЛЕЕ 0,001 Г В ОКРЕСТНОСТЯХ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ***

Основной задачей метеорной астрономии является построение модели распределения и эволюции метеорного вещества в Солнечной системе. В качестве модели распределения можно принять либо распределение орбит метеорных тел в Солнечной системе, либо распределение плотности потока метеорных тел по небесной сфере как функции координат точки Солнечной системы [10]. Необходимое условие – приведение распределений к одной минимальной массе метеорита. Чтобы выполнить это условие, необходимо будет правильно учесть физический и аппаратный отбор. К первой относится тот факт, что свечение и ионизация, производимые метеорным телом в процессе его разрушения в атмосфере Земли зависят от его скорости. Одинаковому порогу чувствительности аппаратуры при оптических и радионаблюдениях метеоров с разными скоростями метеоритов будут соответствовать различные минимальные регистрируемые массы. Приведение наблюдаемых данных к единой минимальной регистрируемой массе метеорита в данном случае и есть учет физической селекции. От скорости зависит и высота мете-

орного следа, что, в свою очередь, влияет на амплитуду отраженного от метеорного следа радиосигнала при радиолокационных наблюдениях. Насколько велико это влияние, зависит от параметров радиолокатора. Внутри диаграммы направленности антенной системы чувствительность радиолокатора различна, так же как различна чувствительность оптической системы наблюдения метеоров в пределах поля видимости. В данном случае приведение к единой минимальной регистрируемой массе метеорита и есть учет аппаратной селекции.

Более 99 % метеорных наблюдений производятся с поверхности Земли и только менее 1% с помощью аппаратуры, установленной на космических аппаратах. Следовательно, надежно мы можем построить модель распределения плотности потока метеорных тел или их орбит только в окрестностях орбиты Земли. Правда, имеется метод экстраполяции модели распределения на сферу радиусом 1 а.е. с центром в Солнце, который учитывает зависимость вероятности встречи метеорного тела с Землей в зависимости от параметров его орбиты (учет астрономической селекции).

Первая попытка выполнить такую работу была предпринята в США в начале 60-х годов прошлого века, это, так называемый, Гарвардский проект. Было выполнено два цикла радиолокационных наблюдений орбит метеорных тел. На основе этих наблюдений была построена первая модель распределения метеорного вещества в Солнечной системе, которая использовалась при проектировании космических аппаратов (расчет защиты от метеорной опасности). Данные по этой модели были засекречены и не опубликованы полностью до сих пор. Каталог орбит метеорных тел был передан в Международный центр данных (г.Лунд, Швеция) в конце 80 годов прошлого века.

В Советском Союзе похожая работа выполнялась по постановлению Правительства в 1980 – 1985 гг. Формулировалась она как “Разработка модели распределения метеорного вещества в окрестности орбиты Земли для расчета надежности функционирования человека и технических устройств космических аппаратов в условиях воздействия на них метеорного вещества”.

Непосредственно в построении модели распределения на основе радиолокационных наблюдений метеоров принимали участие 3 коллектива исследователей: Астрономическая обсерватория им. В.П.Энгельгардта (АОЭ), научный руководитель О.И.Белькович, Харьковский институт радиоэлектроники, научный руководитель Б.Л.Кашеев и Институт Астрофизики Таджикской АН, научный руководитель П.Б.Бабаджанов. В 1985 г. работа была закончена, и был принят вариант модели распределения, разработанный в АОЭ. На основе этой модели был создан ГОСТ, используемый для проектирования космических аппаратов – искусственных спутников Земли.

В 1985-1990 гг. в метеорном отделе АОЭ по заданию НПО им. Лавочкина выполнена работа по составлению модели распределения метеорного вещества между орбитами Земли и Марса. Эта работа потребовала учета астрономической селекции наземных наблюдений метеоров. Модель использовалась для проектирования космических аппаратов предназначенных для полета к Марсу.

При разработке обеих моделей для определения распределения радиантов по небесной сфере использовались наземные радиолокационные наблюдения на радиолокаторе с антенной, которая каждые 5 минут поворачивалась на  $30^\circ$ , совершая за час полный оборот вокруг своей оси. Распределения скоростей метеорных тел определялись по каталогам метеорных орбит, полученным по радионаблюдениям. Такой подход оказался наиболее продуктивным, так как решать эту задачу, используя только каталоги орбит метеорных тел не корректно, ибо в этом случае практически невозможно редуцировать плотность падающего потока к одной минимальной массе по причине случайного положения зеркальной точки на метеорном следе. Есть еще одна причина: для определения орбиты метеорного тела радар должен зарегистрировать более десятка параметров радиосигнала. Это привело к тому, что только не более 35% зарегистрированных метеорных радиоэхо можно было использовать для определения параметров орбит. К каким это приводит искажениям можно только представить. С этой точки зрения новый квазитомо-

графический метод, который можно использовать с применением комплекса телескопов Мини - МегаТартора, дает колоссальные преимущества для решения данной задачи. Для его осуществления достаточно зарегистрировать два угла прихода отраженного от метеорного следа радиосигнала в азимутальной системе координат. Этот метод лежит в основе решения поставленной задачи.

Что касается зарубежных работ по построению модели распределения метеорного вещества, то наиболее серьезными являются работы, выполняемые под руководством Э.Грюна. Первоначально он занимался построением модели на основе наблюдательных данных, полученных на космических аппаратах. В настоящее время он осуществляет проект с использованием и каталогов орбит метеорных тел, полученным по радарным наблюдениям.

№, п/п	Имя файла (рабочей книги)	Источник	Количество метеоров	Примечания
Фотографические каталоги				
1	MCR040812.xls	Lund, IAU MDC	2529	
2	SOVP040803.xls	Lund, IAU MDC	1111	
3	HARP040803.xls	Lund, IAU MDC	1245	
4	FIRB040812.xls	Lund, IAU MDC	554	
Телевизионные каталоги				
10	TVJ040803.xls	Lund, IAU MDC	531	
11	MSS040803.xls	IMO	2917	
12	CHE040809.xls	Publ. AI AcadSCzR	841	
13	UF040811.xls		528	
14	SAA040812.xls		79	

Радиолокационные каталоги				
5	HAR6165_040803.xls	Lund, IAU MDC	19327	
6	HAR6869_040803.xls	Lund, IAU MDC	19818	
7	ADE6869_040803.xls	Lund, IAU MDC	1521	
8	MOG040803.xls	Lund, IAU MDC	5328	
9	KHA040803.xls	Lund, IAU MDC	5317	

**Таблица 2.2.1.** Каталоги наблюдений метеорных потоков, существующих в настоящее время[11]

Нами был проработан метод определения распределения плотностей потока метеорных тел с массой более  $10^{-3}$  г как функции координат радианта на небесной сфере и скорости метеороида представим в виде:

$$Q_r(\varepsilon, \Psi, v) = Q_r \cdot p(\varepsilon, \Psi) p_\varepsilon(v) F(m), \quad (2.2.1)$$

где  $Q_r$  – плотность потока метеорных тел с массой более  $10^{-3}$  г со всей небесной сферы и во всем интервале скоростей  $v$  в данной точке пространства, определяемой вектором  $r$ ,  $\varepsilon$  – угол элонгации радианта от апекса Земли,  $\Psi$  – азимутальный угол, отсчитываемый от плоскости эклиптики от направления на Солнце к зениту. Интегральное распределение метеорных тел по массам  $F(m) = \left(\frac{m}{m_0}\right)^{1-S}$  необходимо для пересчета плотности потока метеороидов от плотности с массой выше  $m_0 = 10^{-3}$  к потоку с массой выше  $m$ . В процессе работы выявилось, что зависимость параметра  $S$  от угла элонгации  $\varepsilon$  фактически отсутствует, а изменения в величине  $S$ , найденные по распределениям амплитуд радиоэхо и по распределениям метеоров по звездным величинам, вызваны какой-то другой причиной. Поэтому все расчеты производились при  $S = 2$  [12].

Для определения распределения плотности потока метеорных тел по небесной сфере  $Q_r(\varepsilon, \Psi, v)$  необходимо по каталогам орбит метеорных тел с

учетом селекции найти условные плотности распределений скоростей метеорных тел  $p_\varepsilon(v)$ , а затем, используя квазитомографический метод определения радиантов, определить  $Q_r \cdot p(\varepsilon, \Psi)$  [10].

Как показали исследования, в распределениях радиантов и скоростей спорадических метеорных тел существуют два важных свойства: 1) распределения скоростей метеорных тел зависят только от угла элонгации  $\varepsilon$  и не зависят от угла  $\Psi$ ; 2) распределения радиантов метеорных тел симметричны относительно плоскости эклиптики и плоскости, проходящей через апекс, зенит и антиапекс. Последнее свойство приводит к тому, что имеется возможность усреднения всех данных по плотности радиантов на четверть небесной сферы, что значительно увеличивает статистическую надежность.

Модель распределения спорадических метеорных тел  $Q$ , представляет собой сумму моделей  $Q_i$  для групп метеорных тел, составляющих весь комплекс [13].

Таким образом,

$$Q = \sum_i Q_i. \quad (2.2.2)$$

Модель для каждой группы представляет собой плотность потока метеорных тел  $Q_i$ , которая равна произведению весового коэффициента  $W_i$ , плотности распределения гелиоцентрических радиантов  $P_i(E)$  и скоростей метеорных тел  $P_{Ei}(V)$ :

$$Q_i = W_i P_i(E) P_{Ei}(V), \quad (2.2.3)$$

здесь

$$P_{Ei} = S_i^{-1}(E) (1 - v)^{(P_i(E)-1)} * v^{(q_i(E)-1)}, \quad (2.2.4)$$

$S_i(E)$  – нормирующий множитель;  $P_i(E)$  и  $q_i(E)$  – параметры распределения;  $v = V/V_{Earth} \sqrt{2}$  – относительная гелиоцентрическая скорость;  $V_{Earth}$  – орбитальная скорость Земли.

Было найдено, что малые тела Солнечной системы - кометы и астероиды - наиболее четко разделяются на группы с помощью двух параметров: уг-

ла наклона орбиты метеороида  $i$  и постоянной Тиссерана относительно Юпитера  $T_j$ :

$$T_j = \frac{1}{a} + 2A_j^{-3/2} \sqrt{a(1-e^2) \cos i}, \quad (2.2.5)$$

здесь  $A_j$  – большая полуось орбиты Юпитера,  $a, e$  и  $i$  – элементы орбиты малого тела. По этой причине весь комплекс спорадических метеороидов был разделен на четыре группы.

	Постоянная Тиссерана	Наклонение
Группа 1a	$T_j < 0,36$	любое
Группа 1b	$0,36 \leq T_j < 0,576$	любое
Группа 2	$T_j \geq 0,576$	$i < 90^0$
Группа 3	$T_j \geq 0,576$	$i \geq 90^0$

Первые две группы относятся к кометам, долго- и коротко периодическим. Группа 2 относится к астероидам. Метеорные тела, попавшие в Группу 3, не имеют аналогов среди известных в настоящее время малых тел. Дальнейший анализ показал целесообразность деления каждой из первых двух групп на две подгруппы по углу наклона – с  $i \leq 90^0$  и  $i > 90^0$ .

Для каждой группы метеороидов строилась модель распределений, а модель комплекса является суммой этих распределений с соответствующими весами.

Поток на единичную  $1^2$  произвольно ориентированную площадку, являющуюся частью конструкции космического аппарата, определяется соотношением:

$$N = N(m)I \quad (2.2.6)$$

$N(m)$  – плотность потока метеорных тел с массой больше  $m$ , если  $m \times 10^{-6}$  г, то  $N(m)$  вычисляют по формуле:



$$N(m) = 410^{-14} \cdot \Phi(r)m^{-12}, \quad (2.2.7)$$

$$I = \iiint H d\tau d\eta dW, \quad (2.2.8)$$

$$H = fP_\varepsilon(V)P(\varepsilon, \tau) \left(\frac{W}{V}\right)^3 \sin^2 \tau \cdot \cos \tau \cdot \sin \varepsilon, \quad (2.2.9)$$

где  $V, \varepsilon_\psi$ - значения скорости (км с<sup>-1</sup>) и координат радианта (градус) метеорного тела в гелиоцентрической системе координат;

$W, \tau$  и  $\eta$  – значения скорости (км с<sup>-1</sup>) и координат радианта (градус) метеорного тела в системе координат, связанной с экспонируемой площадкой;

$P_\varepsilon(V)$  – примерное распределение скоростей метеорных тел при зарегистрированном значении  $\varepsilon$  (с км<sup>-1</sup>) в гелиоцентрической системе координат;

$P(\varepsilon, \Psi)$  – двумерное распределение плотности радиантов, градус<sup>-2</sup>, (плотность вероятности появления метеорных тел в направлении  $\varepsilon, \Psi$  во всем интервале скоростей и масс) в гелиоцентрической системе координат;

$\Phi(r)$  – функция, определяющая изменение плотности потока метеорных тел в зависимости от расстояния от Солнца  $r$  между орбитами Земли и Марса;

$f(\tau, \eta)$  – функция, характеризующая загромождение площадки элементами конструкции КА [14].

Сферическая система координат  $\varepsilon, \psi$  выбирается таким образом, то полюс  $\varepsilon_0$  совпадает с направлением вектора скорости гипотетического тела, движущегося на данном расстоянии от Солнца  $r$  по круговой орбите. Для орбиты Земли ( $r = 1$  а.е.)  $\varepsilon_0$  соответствует апексу движения Земли, угол  $\varepsilon$  – угол элонгации от апекса. Угол  $\psi$  отсчитывается от плоскости эклиптики от направления, на Солнце в сторону северного полюса эклиптики до плоскости, проходящей через точку, заданную координатами  $\varepsilon, \psi$  и точки  $\varepsilon_0 = 180^\circ$ . Пределы изменения углов:  $0^\circ \leq \varepsilon \leq 180^\circ, 0^\circ \leq \psi \leq 360^\circ$ .

Сферическая система координат  $\tau, \eta$  связана с проекцией нормали к рассматриваемой единичной площадке, направление  $\tau^0$ , угол  $\eta$  отсчитывается от плоскости, в которой лежат точки  $\varepsilon = 0^\circ, \varepsilon = 180^\circ, \tau = 0^\circ$ . Следует учитывать,

что система координат  $\tau, \eta$  движется по отношению к системе координат  $\varepsilon, \psi$  со скоростью и в направлении, соответствующими вектору скорости космического аппарата, поэтому между величинами  $\varepsilon, \psi, V$  и  $\tau, \eta, W$  существует функциональная зависимость.

Whipple (1967), проанализировав результаты наблюдений метеоров, получил зависимость (кумулятивного) потока от массы в виде  $m^{-1.34}$ . Этот наклон (-1.34) должен иметь силу в диапазоне масс  $10^{-4} \leq m \leq 10^2$  г.

Распределение потока, полученное по лунным данным имеет точно такой же наклон для больших частиц ( $m \geq 10^{-4}$  г.) (цитируется по Grunetal 1985). Вследствие установленной симметрии в распределении радиантов значения функции  $P(\varepsilon, \psi)$  равно значениям  $P(\varepsilon, \psi - 180^\circ)$ ,  $P(\varepsilon, 180^\circ + \psi)$  и  $P(\varepsilon, 360^\circ - \psi)$ .

Значения функций  $P\varepsilon(V)$  и  $P(\varepsilon, \psi)$  определяются из таблиц по координатам  $\varepsilon, \psi$  скорости  $V$  гелиоцентрического движения метеорного тела. Вследствие табличного задания информации комплексе метеорных тел, для того, чтобы вычислить интеграл (2.2.8), необходимо заменить его тройной суммой и выполнить следующие операции.

Пусть КА движется по траектории Земля-Марс в плоскости эклиптики и на какой-то момент времени заданы его эклиптические координаты:  $r$  – расстояние о Солнца (а.е.) долгота  $L$ , широта  $B_0$ , а также величина вектора скорости  $V$  (км с<sup>-1</sup>) и его направление  $L_v$  и  $B_v$ , направление нормали к экспонируемой площадке  $L_0 B_0$  [15].

Задана также минимальная масса, выше которой вычисляется поток метеорных тел.

1. Определяем долготу  $L_A$ , соответствующую направлению  $\varepsilon = 0^\circ$ :  $L_A = L + 90^\circ$ .

2. По заданным  $L_0, B_0$  в системе координат  $\varepsilon, \psi$  определяется направление проекции нормали к площадке на небесную сферу:

$$\cos \varepsilon_0 = \cos B_0 \cdot \cos (L_0 - L_A), \quad (2.2.10)$$

$$\cos \psi_0 = (\cos B_0 - \cos \varepsilon_0 \cos (L_0 - L_A)) / (\sin \varepsilon_0 \sin (L_0 - L_A)), \quad (2.2.11)$$

$$\sin\Psi_0 = \sin B_0 / \sin\varepsilon_0. \quad (2.2.12)$$

3. В этой же системе координат определяется направление проекции вектора скорости на небесную сферу,  $\varepsilon_v, \Psi_v$ :

$$\cos\varepsilon_v = \cos B_v \cos(L_v - L_A), \quad (2.2.13)$$

$$\cos\Psi_v = (\cos B_v - \cos\varepsilon_v \cos(L_v - L_A)) / (\sin\varepsilon_v \sin(L_v - L_A)), \quad (2.2.14)$$

$$\sin\Psi_v = \frac{\sin B_v}{\sin\varepsilon_v}. \quad (2.2.15)$$

Наэкспонируемую площадку попадают метеорные тела с полусферы с полюсом в точке с координатами  $\varepsilon_0, \Psi_0$ .

4. Вычисляется максимально возможная относительная скорость метеорного тела на заданном гелиоцентрическом расстоянии  $W_{l0} = V_0 + 30 \sqrt{2/r}$ .

5. Определяется шаг задания относительной скорости  $\Delta W = W_{l0}/36$

В частности, для орбиты Земли результат деления будет соответствовать  $2 \text{ км с}^{-1}$ .

Вычисление интеграла (2.2.6-2.2.8) осуществляется путем организации трех циклов.

6. Берем значение  $\tau = 5^0$ .

7. Берем значение  $\eta = 0$ . Определяем значение функции  $f(\tau, \eta)$ .

8. Для заданных значений  $f(\tau, \eta)$  вычисляем координаты видимого радианта в системе координат  $\varepsilon_0, \Psi_0$ :

$$\cos\varepsilon' = \cos\tau \cos\varepsilon_0 - \sin\tau \sin\varepsilon_0 \cos\eta, \quad (2.2.16)$$

$$\cos\Psi' = (\cos\tau - \cos\varepsilon' \cos\varepsilon_0) / (\sin\varepsilon' \sin\varepsilon_0), \quad (2.2.17)$$

$$\cos\Psi' - \sin\tau \sin\eta / \sin\varepsilon'. \quad (2.2.18)$$

9. Задаем значение относительной скорости  $W = \Delta W/2$ .

10. По определенным значениям  $\varepsilon', \Psi'$  и  $W$  находится угол между вектором относительной скорости и скоростью КА:

$$\cos k = \cos \varepsilon' \cos \varepsilon_v + \sin \varepsilon' \sin \varepsilon_v \cos \Psi' \quad (2.2.19)$$

11. Вследствие того, что КА движется в гелиоцентрической системе координат со скоростью  $V_0$ , гелиоцентрическая скорость метеорного тела

$$V^2 = W^2 + V_0^2 - 2WV_0 \cos k \quad (2.2.20)$$

12. Если скорость  $V > 0 \sqrt{2/r}$ , то переходим к следующему значению  $\eta$  (см. пункт 20).

13. В противном случае находятся координаты гелиоцентрического радианта:

$$\cos \varepsilon = \cos \chi \cos \varepsilon_v + \sin \chi \sin \varepsilon_v \cos \beta, \quad (2.2.21)$$

$$\cos \Psi = (\cos \chi - \cos \varepsilon \cos \varepsilon_v) / \sin \varepsilon \sin \varepsilon_v, \quad (2.2.22)$$

здесь

$$\cos \beta = (\cos \varepsilon' - \cos k \cos \varepsilon_v) / \sin k \sin \varepsilon_v, \quad (2.2.23)$$

$$\cos \chi = \frac{W^2 - V^2 - V_0^2}{2VV_0}, \quad (2.2.24)$$

$$\sin \chi = \sin k \left( \frac{W}{V} \right). \quad (2.2.25)$$

14. Определяется номер ячейки для  $P_\varepsilon(V)$ . Для этого определяется величина  $N_v = \frac{v\sqrt{r}}{30\sqrt{2}} / 21$ .

15. Для  $P(\varepsilon, \psi)$  определяются номера ячеек по этим координатам:

$$N_\varepsilon = \varepsilon / 10,$$

$$N_\psi = \Psi / 10.$$

16. По таблицам определяются значения функций  $P_\varepsilon(V)$ ,  $P(\varepsilon, \Psi)$ .

17. Определяются все сомножители подынтегральной функции.

18. Определяется сумма  $S = S +$  подынтегральное выражение.

19. С шагом  $\Delta W$  меняется относительная скорость и осуществляется цикл по  $W$ .

20. С шагом  $10^0$  меняется координата  $\eta$  и осуществляется цикл по  $\eta$ .  
Пределы изменения  $\eta$ : от  $0^0$  до  $360^0$ .

21. С шагом  $10^0$  меняется координата  $\tau$  и осуществляется цикл по  $\tau$ .  
Пределы изменения  $\tau$ : от  $0^0$  до  $90^0$ .

По достижении этих пределов процесс суммирования завершается.

На практике в некоторых случаях для заданной площадки требуется определить не поток метеорных тел с массой выше заданной, а поток метеорных тел, создающих эффект выше некоторой заданной величины  $A_0$ . Этой величиной могут быть, например, импульс, нормальный к поверхности площадки

$$A = mWcost \quad (2.2.26)$$

или пробой покрытия

$$A = m(Wcost)^{2.486} \quad (2.2.27)$$

или в общем виде:

$$A = F(m, W, t) \geq A_0. \quad (2.2.28)$$

Пусть

$$m \geq G(A_0, W, \tau) \quad (2.2.29)$$

–решение неравенства (2.2.6 - 2.2.10), тогда

$$\begin{aligned} N &= 4.8 \times 10^{-14} \varphi(r) \iiint H \int m^{-2.2} dm d\tau d\eta dW \\ &= 4.8 \times 10^{-14} \varphi(r) \iiint HG(A_0, \tau, W)^{-1.2} d\tau d\eta dW \end{aligned} \quad (2.2.30)$$

В том случае, когда экспонируемая площадка ориентирована в течение полета космического аппарата по траектории случайным образом (КА «кувыркается»), процедура вычисления интеграла (2.2.8) несколько изменяется:

1) вычисляется некоторое среднее значение функции  $f$  в формуле (2.2.9), и она выносится изпод знак интеграла;

- 2) перед интегралом ставится множитель 0.5, так как на площадку всегда падают метеоры с полусферы;
- 3) из формулы (2.2.9) убирается множитель  $\cos \tau$ ;
- 4) для упрощения вычислений предполагается, что нормаль к площадке всегда направлена в ту же сторону, что и вектор скорости КА;
- 5) интегрирование по  $t$  производится от  $0^0$  до  $180^0$ .

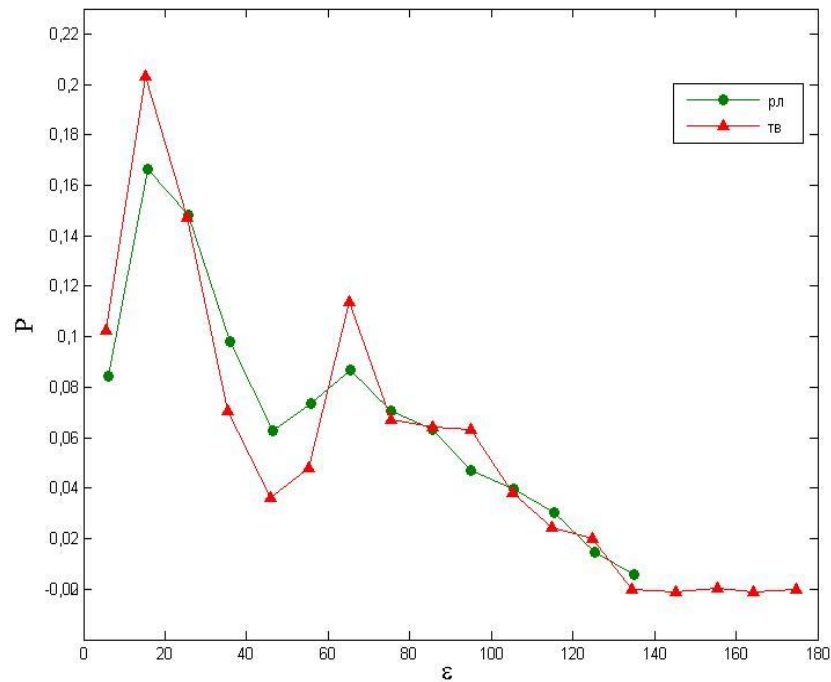
Для того, чтобы вычислить вероятность  $P$  попадания на определенную площадку метеорной частицы массой больше некоторой заданной  $m$ , необходимо траекторию КА разбить на участки, для каждого участка подсчитать величину потока  $N_i$  затем вычислить вероятность по формуле:

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{S}{\sum N_i}\right) \Delta t_i, \quad (2.2.31)$$

где  $S$  – площадь площадки,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta t_i$  – время прохождения КА  $i$  –го участка траектории в секундах.

Формула справедлива для пуассоновского потока событий. Но нарушения закона Пуассона вблизи Земли могут быть обусловлены группированием метеоров за счет разрушения в верхних слоях атмосферы во время касательного пролета более крупных частиц на мелкие. Поэтому на траектории полета к Марсу для вычисления вероятности можно пользоваться формулой (2.2.31).

В результате было получено распределение плотности потока метеорных тел по углу элонгации от апекса Земли, которое приведено на Рисунке 2.2.1.



**Рис. 2.2.1.** *Распределения плотности потока метеорных тел по углу элонгации от апекса Земли.*

При сравнении радиолокационных наблюдений с телевизионными, полученных по данным для станций различной чувствительности и с различной длиной волны радиолокатора, показало, что нет существенных различий в распределениях. К сожалению, любительские телевизионные наблюдения, как показал анализ, не являются репрезентативной выборкой и не могут быть основой построения модели.

Из всех радиолокационных наблюдений в лучшую сторону выделяется второй ряд наблюдений, выполненный по Гарвадскому проекту. В первом ряде наблюдений, как и по всем остальным каталогам, скорость метеорных потоков определялась по дифракционной картинке в амплитудно-временных регистрациях. Как показала практика, такой метод регистрации не позволяет с достаточной степенью точности регистрировать скорости менее 20 км с-1. Поэтому второй ряд наблюдений был выполнен с модернизированной аппаратурой, которая регистрировала скорости метеорных потоков по времени пролета между зеркальными точками для нескольких разнесенных приемных

пунктов. Поэтому за основу построения распределения скоростей были взяты данные наблюдений второго ряда Гарвардского проекта.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За все свое время развития метеорная астрономия собрала немало сведений о метеорах, их значимости в Солнечной системе и определила важность метеоров для исследования верхних слоев земной атмосферы. На сегодняшний день есть много нерешенных задач.

Временные изменения физических параметров атмосферы и их зависимость от географического местоположения не употреблены при исследовании верхних слоев атмосферы. Исследование циркуляции верхних слоев атмосферы началось совсем недавно. Не рассмотрены проблемы связанные с движением ракетных кораблей в верхних слоях атмосферы и в пространстве космоса. Природа метеорных тел, их отношения с различными телами Солнечной системы, их происхождение остаются нерешенными вопросами.

Для изучения этих вопросов необходимо и в дальнейшем проводить научно-исследовательские работы по исследованию метеоров. Эта область будет полезна тем, кто интересуется той или иной отраслью метеорной астрономии.

Моя данная работа была посвящена анализу распределения метеорных потоков в околоземном пространстве. В результате были произведены:

- 1) анализ, с точки зрения природы, характеристики и происхождения метеоров;
- 2) определены основные параметры распределения метеорных потоков;
- 3) изучены методы наблюдения и изучения этих потоков.

Все выше сказанное позволила:

- провести анализ телескопа ММТ для того, чтобы выяснить его пригодность для исследований метеорных явлений;
- произвести предварительные построения модели распределения метеорных тел с массой 0,001 г. в околоземном пространстве.

После проведения работы, автор считает, что необходимо продолжить уточнение параметров модели распределения метеорных тел, как в его про-

странстве, так и за его пределами с использованием больших массивов наблюдательных данных телескопа ММТ. А также нужно разработать новые методы редукции таких наблюдений.

Автор выражает большую благодарность кафедре вычислительной физики за оказанную помощь в написании данной работы, а также своему научному руководителю Ю.А. Нефедьеву за постановку важной научной темы и ценной консультации. Можно уверенно сказать, что мы и в дальнейшем станем усиливать применения ММТ с целью преждевременного выявления небезопасных космических объектов, чтобы получить новейшие знания о Вселенной.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федынский В.В. Метеоры[Текст] / В.В. Федынский /Популярные лекции по астрономии. – Москва: Изд-во ГИТТЛ.– 1956. – № 4.
2. Воронцов - Вельяминов В.П. Очерки о вселенной [Текст] / В.П. Воронцов-Вельяминов - М.: Наука, 1980. – 672с.
3. Кузнецова Л.И. Вестники вселенной [Текст] / Л.И. Кузнецова - М.: Знание, 1980. – 160 с.
4. Гетман В.С. Внуки Солнца[Текст] / В.С. Гетман- М.: Наука, 1989.– 176 с.
5. Цесевич В.П. Что и как наблюдать на небе[Текст] / В.П. Цесевич - М.: Наука, 1984. - 304 с.
6. Многоканальная широкоугольная мониторинговая система Mini-MegaTORTORA [электронный ресурс]. Режим доступа:<http://www.moip.msu.ru/>
7. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии [Текст]/П.Г. Куликовский - Москва: «Наука», 1989. -87 с.
8. Метеорный поток [Электронный ресурс] – Режим доступа:[http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%E5%F2%E5%EE%F0%ED%FB%E9\\_%EF%E5%F2%E5%EA](http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%E5%F2%E5%EE%F0%ED%FB%E9_%EF%E5%F2%E5%EA), свободный.
9. Энциклопедия астронома [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://astro.kosmos-x.net.ru/index/meteornyj\\_potok/0-46](http://astro.kosmos-x.net.ru/index/meteornyj_potok/0-46), свободный.
10. Метеоры [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1198013/index.html#toc>, свободный.
11. Белькович О.И. Астрономическая селекция при наблюдениях метеоров и методы ее учета[Текст] / О.И. Белькович - Астроном. Вестник - 1983, Т. 17, №2. - С. 108-115.
12. Муртазов А.К. Космические воздействия на геосистемы[Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.rsu.edu.ru/wordpress/wp-content/uploads/users/m.mahmudov/Posobie\\_Murtazov.pdf#10](http://www.rsu.edu.ru/wordpress/wp-content/uploads/users/m.mahmudov/Posobie_Murtazov.pdf#10).

13.Вещество метеорное. Модель пространственного распределения. ГОСТ 25645.128-85. Москва, 1985. 24 с.

14.Метеоры и метеориты [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://astrohome-kherson.narod.ru/images/slice\\_4/meteor.htm](http://astrohome-kherson.narod.ru/images/slice_4/meteor.htm), свободный.

15.Белькович О.И.Вычисление распределения метеорных радиантов по наблюдениям на одной метеорной станции с угломером / О.И. Белькович, В.В. Сидоров, Т.К. Филимонова //Астрон. Вестник. 1991 Т. 25, №2, 225-232.