

# КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

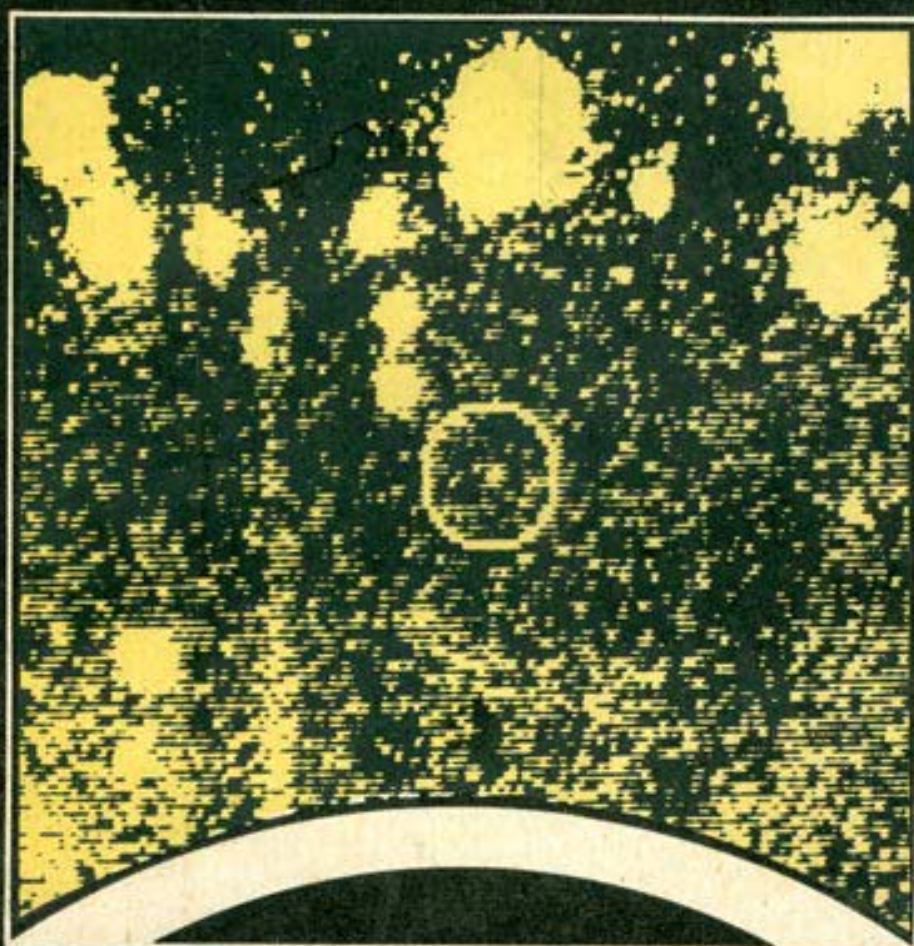
ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1984/1

Б. Ю. Левин  
А. Н. Симоненко

КОМЕТА  
ГАЛЛЕЯ



**ЗНАНИЕ**

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

# КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

1/1984

Издается ежемесячно с 1971 г.

**Б. Ю. Левин,**

доктор физико-математических наук

**А. Н. Симоненко,**

кандидат физико-математических наук

## КОМЕТА ГАЛЛЕЯ

в приложении этого номера  
ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЙ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ

Издательство «Знание» Москва 1984

**ББК 22.655**

**Л 36**

### СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Звездный час кометной астрономии	8
Старые появления кометы	18
Природа комет	22
Предстоящее появление	35
Проекты космических исследований	40
Рой частиц вдоль кометной орбиты	44
Эволюция орбиты	49
Рекомендуемая литература	52
<b>Я. С. Яцкив, К. И. Чурюмов. ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЙ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ</b>	<b>52</b>

**На первой странице обложки** – фотография кометы Галлея (находится в центре кружочка), полученная 16 октября 1982 г.

**На последней странице обложки** – фотографии кометы Галлея, сделанные 6 и 7 июня 1910 г., иллюстрирующие быстрые изменения в ее хвосте.

**Левин Б. Ю., Симоненко А. Н.**

Комета Галлея. – М.: Знание, 1984. – 64 с, ил. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия; № 1).

11 к.

К Солнцу возвращается одна из самых удивительных комет – комета Галлея. Яркая, с длинным хвостом, она вот уже 2000 лет появляется на небе с завидным постоянством через каждые 3/4 века. О роли, которую она сыграла в астрономии, и о том, как ученые и любители астрономии готовятся к предстоящей встрече с кометой, рассказывается в этой брошюре. Также приводятся современные представления о кометах вообще и их происхождении.

Брошюра рассчитана на всех, кто интересуется современными проблемами астрономии.

**1705050000**

**ББК 22.655**

**526**

© Издательство «Знание», 1984 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Наше Солнце родилось из газопылевой (как говорят, протосолнечной) туманности около 4,5 млрд. лет назад. Остатки вещества туманности частично собрались в более или менее крупные тела, а частично рассеялись в межзвездном пространстве. С тех пор Солнце своим притяжением удерживает около себя большую семью, главные члены которой – 9 планет с многочисленными спутниками. В эту семью, или, как говорят, Солнечную систему, входят и многочисленные мелкие тела – астероиды и кометные ядра.

Астероиды состоят в основном из нелетучих веществ и движутся преимущественно между орбитами Марса и Юпитера. Размеры крупнейшего астероида слегка превышают 1000 км, а размеры самого маленького из известных нам – не более 200 м. Мелкие и наиболее прочные их обломки, когда встречаются с Землей, способны преодолеть сопротивление земной атмосферы и выпасть на поверхность Земли в виде метеоритов. Поэтому мы хорошо знаем вещество, слагающее, по крайней мере, некоторые астероиды. Не исключено, правда, что среди метеоритов изредка встречается осколочный материал с Луны и Марса.

Наиболее удивительными среди малых членов Солнечной системы являются кометные ядра. Это глыбы «очень грязного» льда и снега, содержащие большие количества летучих веществ. В поперечнике они могут, по-видимому, достигать сотен и даже тысяч километров. Эти тела сформировались в далеких от Солнца (и поэтому холодных) частях протосолнечной туманности, а затем были выброшены за пределы планетной системы в результате возмущающего воздействия со стороны планет-гигантов – Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Лишь немногие время от времени возвращаются к Солнцу и, испаряясь в солнечных лучах, превращаются в кометы с туманной оболочкой – головой и длинным хвостом. Только тогда они и становятся видны на небе<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Это наиболее распространенное представление о происхождении комет, развиваемое в теории О. Ю. Шмидта. Существует и другое, выдвинутое известным советским исследователем комет С. К. Всехсвятским. По его мнению, кометы являются продуктом вулканической деятельности спутников Юпитера и других планет-гигантов, т. е. телами, выброшенными из их недр. Многие исследователи не соглашались с этой точкой зрения, но она имеет и своих сторонников. Кроме того, советскими и зарубежными учеными обсуждается новая гипотеза – о межзвездном происхождении комет, согласно которой кометные ядра формируются в массивных протозвездных молекулярно-пылевых облаках, а Солнечная система, двигаясь в Галактике с peculiarной скоростью около 20 км/с и встречаясь с ними, увлекает часть кометных ядер за собой.

Сотни лет назад человек уже следил за движением Солнца и планет и научился предсказывать это движение. Кометы же, производившие на протяжении всех веков огромное впечатление на людей, долго оставались для них загадкой. В отличие от планет, движущихся на небе в пределах полосы, включающей в себя 12 так называемых зодиакальных созвездий, кометы могли появиться внезапно в любой части неба. Ни предугадать их появление, ни предсказать их движение вплоть до начала XVIII в. никто не мог. На памяти каждого поколения появлялась, по крайней мере, одна очень яркая, или, как говорили, большая комета. Окруженная туманной оболочкой, с длинным светящимся хвостом, простирающимся иногда на полнеба, она медленно перемещалась по небосводу и, разгораясь все ярче, наводила ужас на людей. А потом так же таинственно ослабевала и исчезала, надолго оставляя о себе память.

С тех пор о кометах узнали много, о чем и будет рассказано в брошюре. Кометы (точнее, кометные ядра) являются членами Солнечной системы и движутся вокруг Солнца, как правило, по вытянутым эллипсам различных размеров и произвольно ориентированным в пространстве. Ежегодно открывают и наблюдают около десятка, а то и больше комет. Исследование их орбит позволяет судить о том, что наблюдаемые кометы движутся по весьма экзотическим орбитам. Однако большинство этих ледяных глыб недоступны наблюдениям, так как перигелии их орбит лежат далеко за орбитами планет-гигантов, а афелии – на расстояниях, в тысячи раз превышающих поперечник планетной системы. Именно среди этих невидимых кометных ядер, вероятно, могут существовать и крупные глыбы. Те же, которые возникают на нашем небосклоне, скрываясь за туманной оболочкой, имеют размеры несколько километров и даже несколько долей километра.

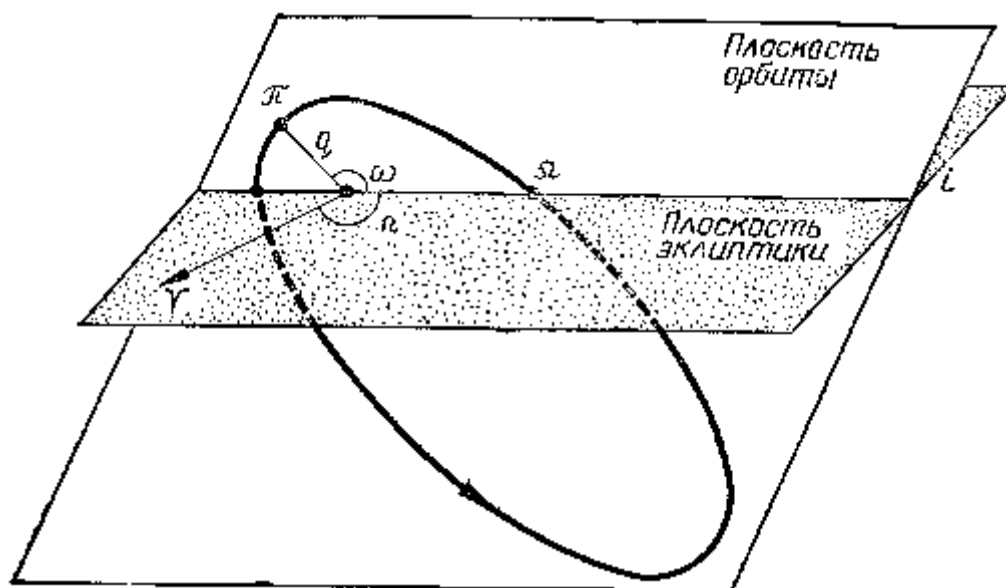


Рис. 1. Эллиптическая орбита и некоторые ее элементы

Комета Галлея – одна из многих, но и одна из самых знаменитых комет. В Солнечной системе она движется по обычной для комет сильно вытянутой эллиптической орбите. Описывая эту орбиту, нам не избежать специальной терминологии, принятой в астрономии, и с этой целью обратимся к рис. 1.

Большая полуось орбиты  $a$  и эксцентриситет  $e$  вряд ли требуют пояснений – они известны всем, кто знаком с коническими сечениями. Ближайшая к Солнцу точка орбиты называется перигелием ( $\pi$ ), а расстояние от Солнца до нее – перигелийным расстоянием ( $q$ ). Наиболее же удаленная от Солнца точка орбиты называется афелием, а расстояние до нее – соответственно афелийным расстоянием ( $q'$ ). Линия, соединяющая перигелий с афелием, – это линия апсид. Имеет значение также и линия узлов, вдоль которой плоскость орбиты пересекается с плоскостью эклиптики – видимого пути Солнца по небу

в течение года (вдоль которой и располагается полоса движения планет). Причем точки пересечения самой орбиты с плоскостью эклиптики называют восходящим ( $\Omega$ ) и нисходящим ( $\gamma$ ) узлами орбиты (в зависимости от того, поднимается ли тело над плоскостью эклиптики, проходя через узел, или опускается под нее; соответственно оно становится видно на небесной сфере в северных или южных эклиптикальных широтах).

Величины  $a$  и  $e$  (или  $a$  и  $q$ ) дают размеры и форму орбиты, а ее ориентацию в пространстве определяют, во-первых, из наклона  $i$  – угла между плоскостью орбиты и плоскостью эклиптики. Причем если тело и Земля обращаются вокруг Солнца в одну и ту же сторону, то  $i < 90^\circ$ , в обратном же случае используется не сам угол, а его дополнение до  $180^\circ$ , т. е. в этом случае  $i > 90^\circ$ . Угловое расстояние от восходящего узла до перигелия орбиты, называемое аргументом перигелия ( $\omega$ ), показывает взаимную ориентацию линии узлов и линии аписид. Наконец, ориентация орбиты полностью определена, если к  $i$  и  $\omega$  добавить долготу узла (обозначаемую, как и сам узел, через  $\Omega$ ) – угловое расстояние восходящего узла от точки весеннего равноденствия, лежащей на эклиптике.

Положение тела на орбите можно получить в любой момент времени, если наряду с указанными выше величинами это положение будет известно хотя бы в какой-то один момент или будет известно, например, когда тело проходит перигелий своей орбиты  $T$ . Шесть из перечисленных величин (элементы орбиты) –  $a$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$  и  $T$  – полностью определяют движение тела в межпланетном пространстве, причем  $\pi$ ,  $q$  (или  $q'$ ) и  $u$  могут заменять соответственно  $\omega$ ,  $e$  и  $\Omega$ .

Теперь мы имеем возможность описать орбиту кометы Галлея (рис. 2). Ее размеры огромны: большая полуось  $a$  составляет около 18 а. е.<sup>2</sup>, а эксцентриситет – 0,97. Плоскость орбиты отклоняется от плоскости эклиптики на угол  $18^\circ$ , а движение кометы обратное. Иначе говоря, она движется вокруг Солнца в направлении, противоположном тому, в котором кружатся около него Земля и другие планеты, и поэтому  $i = 162^\circ$ .

<sup>2</sup> 1 а. е. (астрономическая единица) – это среднее расстояние от Земли до Солнца, равное 149,5 млн. км. Астрономы им пользуются при измерении расстояний в масштабах Солнечной системы.

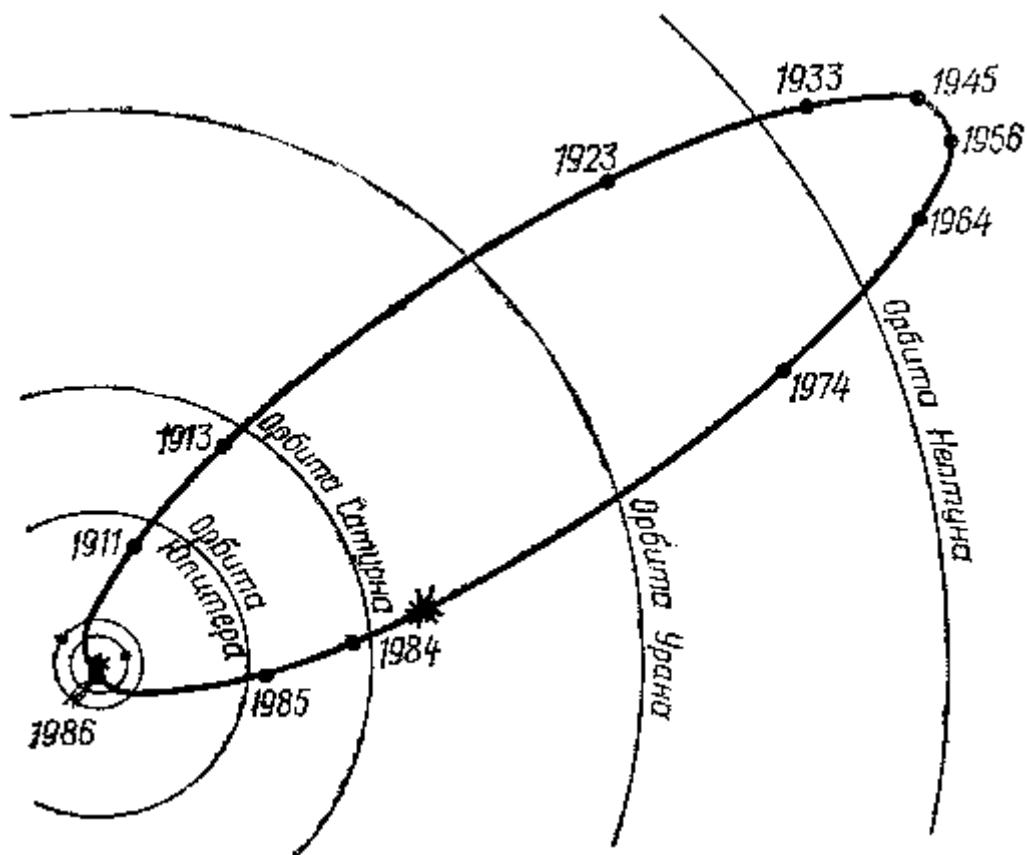


Рис. 2. Проекция современной орбиты кометы Галлея на плоскость эклиптики. Кружочками отмечено положение кометы в разные годы, а звездочкой – в момент обнаружения в 1982 г.

Линия узлов орбиты кометы Галлея образует с линией апсид угол, близкий к прямому. Перигелий находится между орбитами Меркурия и Венеры на расстоянии 0,587 а. е. от Солнца и приподнят над плоскостью эклиптики на 0,17 а. е. Афелий орбиты расположен между орбитами Нептуна и Плутона и опущен глубоко под плоскость эклиптики – на 10 а. е. На одно обращение вокруг Солнца комета затрачивает три четверти века.

Комета Галлея бывает видна лишь на небольшом перигелийном участке орбиты, т. е. весьма короткое время. Последний раз ее видели в 1909 – 1911 гг. По-видимому, это было ее 29-е появление, сохранившееся в памяти человечества: прошлые появления прослеживаются по летописям вплоть до 240 г. до н. э. Ни одна другая комета не наблюдалась на протяжении столь большого промежутка времени, превышающего два тысячелетия. Обратное движение, своеобразное расположение орбиты и некоторые особенности эволюции орбиты (о которых будет сказано позже) предохраняют комету от слишком тесных сближений с планетами-гигантами, а большой период обращения делает и эти сближения редкими. Тем не менее из-за возмущений, испытываемых кометой со стороны планет, период ее обращения вокруг Солнца колебался от 74 до 79 лет.

Наиболее яркой на небосклоне комета была в 837 г., когда проходила на самом минимальном за всю историю наблюдений расстоянии от Земли (0,04 а. е.). Ее видимая звездная величина 11 апреля 837 г. достигла звездной величины  $-3,5$ , поперечник комы (видимой части кометной атмосферы, которая вместе с ядром составляет голову кометы) – 400 000 км, превосходя расстояние от Земли до Луны, а хвост простирался на полнеба.

Небольшое по размерам ядро кометы, поперечником в несколько километров, вращается вокруг своей оси в прямом направлении, совершая один оборот за 10,3 ч. В 1910 г. в спектре кометы наблюдались полосы, принадлежащие молекулам  $\text{CH}$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_3$ ,  $\text{CO}^+$ ,  $\text{N}_2$ , а также желтая линия натрия. Различались хвосты двух типов – ионный хвост I типа и пылевой хвост II типа (о типах хвостов комет будет сказано позже).

С кометой Галлея связаны два активных метеорных потока, наблюдаемых уже в течение тысячелетия. Один из них – Аквариды – действует в начале мая, другой – Ориониды – во второй половине октября.

Теперь комета Галлея вновь возвращается к Солнцу» Она еще очень далеко. 1 января 1984 г. ее расстояние от Солнца составляло 8,2 а. е., а от Земли – 7,3 а. е., и она двигалась по орбите со скоростью около 13 км/с, непрерывно ускоряя свое движение под действием притяжения Солнца. За кометой уже следят с помощью самых мощных телескопов мира. Астрономы, как профессионалы, так и любители, с нетерпением ждут ее приближения, готовятся к встрече с нею. И подобно английскому астроному прошлого века В. Гершелю, ожидавшему ее появления в 1835 г., вновь говорят: «Добро пожаловать, небесная гостья!»

## ЗВЕЗДНЫЙ ЧАС КОМЕТНОЙ АСТРОНОМИИ

В конце августа 1682 г. 26-летний английский астроном Э. Галлей одним из первых обнаружил на небе комету, которой суждено было сыграть большую роль в истории кометной астрономии. Комета быстро увеличивала свой блеск, к концу августа достигла 2-й звездной величины, распустила длинный роскошный хвост на 30°, но затем так же быстро угасла и уже через месяц снова стала недоступна наблюдениям.

Со времен Аристотеля кометы считали атмосферными феноменами, порождаемыми возгорающимися сгустками испарений. Не удивительно, что по ним пытались предсказать засухи, голод и эпидемии. Ведь огромные размеры комет наводили на мысль, что они находятся где-то рядом. И редкие попытки рассматривать кометы как астрономические объекты, подобно Анаксагору, Демокриту и другим некоторым древним философам до Аристотеля, успехов не имели.

Представления Аристотеля господствовали почти два тысячелетия, и только за 100 лет до Галлея кометы по праву заняли место среди прочих астрономических объектов. К этому времени астрономы уже располагали достаточно точными угломерными инструментами. Когда зимой 1577/78 г. появилась очередная большая комета, астрономы постарались тщательно измерить ее видимое положение относительно звезд, и сразу же появились сообщения, что комета движется далеко от Земли<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Спустя 10 лет Тихо Браге опубликовал книгу об этой комете, где привел и проанализировал наблюдения кометы, сделанные из разных точек земной поверхности разными наблюдателями. Несмотря на то что пункты наблюдений были расположены далеко друг от друга, смещения кометы относительно звезд (параллакса) выявить не удалось. Это могло означать только одно: комета находится очень далеко от Земли и даже далеко за пределами лунной орбиты.

После этого стали полагать, что кометы являются межзвездными скитальцами, случайно попадающими в Солнечную систему и вскоре навсегда покидающими ее. Никто не сумел постичь тайну движения комет. Даже И. Кеплер, открывший в первой четверти XVII в. законы планетных движений (т. е. законы эллиптического движения), которые легли в основу небесной механики, не попытался применить их для движения комет и полагал, что кометы по прямой линии приближаются к Солнцу, а затем точно таким же образом удаляются от него.

Все наблюдавшиеся к тому времени кометы, а их число достигло уже многих сотен, считали различными. Мысль о принадлежности комет Солнечной системе не приходила в голову. Но незадолго до обнаружения Э. Галлеем кометы на небе И. Ньютон сформулировал закон тяготения. По просьбе Галлея он занялся исследованием вопроса о том, как под действием тяготения должны двигаться кометы, и показал, что они должны описывать около Солнца одно из конических сечений – эллипс, параболу или гиперболу. Чтобы убедиться в этом, Ньютон сам сделал первую попытку определить орбиту большой



(т. е. яркой) кометы 1680 г. Попытка увенчалась успехом, и Ньютон получил, что комета описывала около Солнца, как около фокуса, эллипс. Размеры эллипса были столь огромны, что его едва можно было отличить от параболы.

Вычислительные трудности при отсутствии ЭВМ и даже более примитивной вычислительной техники в тот век были столь же велики, как и теоретические. Расчеты велись вручную с помощью логарифмических и тригонометрических таблиц. Галлея, который, кстати сказать, стал большим другом Ньютона, эти трудности не остановили. В разных публикациях и рукописных источниках он разыскал обстоятельства наблюдений комет, появлявшихся после 1337 г., и к 1705 г. закончил вычисления орбит двух десятков комет<sup>4</sup>. Среди орбит, вычисленных Галлеем, две оказались удивительно похожими – для комет 1607 и 1682 гг. (табл. 1). Вряд ли это могло быть случайностью. Кометы появились через 75 лет одна после другой. Если это была одна и та же комета, то она могла бы наблюдаться и за 75 лет до 1607 г. И в самом деле, оказалось, что по такой же орбите двигалась комета 1531 г.

<sup>4</sup> Поскольку наблюдения были не слишком точны, он в качестве приближения считал орбиты параболическими. Действительные, т. е. эллиптические, орбиты были столь велики, что это приближение не вносило больших ошибок в величину перигелийного расстояния, наклона орбиты, положение линии апсид и линии узлов. Только большая полуось, афелийное расстояние и период обращения оставались неопределенными.

Это давало право Галлею предсказать новое появление кометы. Он писал: «...согласие элементов трех комет... было бы весьма странным, если бы это были три различные кометы или если бы это не было возвращение одной и той же кометы с эллиптической орбитой, проходящей возле Солнца и Земли. Если, следовательно, согласно нашему предсказанию, она появится около 1758 года, то потомство вспомнит, что этим открытием оно обязано англичанину». Э. Галлею не довелось дожить до предсказанного им события. Он умер в 1742 г. в возрасте 86 лет. Но потомство не забыло того, кто впервые доказал периодичность движения кометы, носящей теперь его имя.

Таблица 1

Элементы орбит комет 1531, 1607 и 1682 гг., полученные Галлеем

Прохождение перигелия, $T$	$180^\circ - i$	$\Omega$	$\pi$	$q$ , а. е.
26.08.1531	17°42'	50°48'	301°36'	0,58
27.10.1607	17°02'	50°21'	302°16'	0,58
15.09.1682	17°36'	49°25'	301°39'	0,57

Э. Галлей, конечно, обратил внимание на то, что период обращения кометы слегка менялся: между прохождением ею перигелия в 1531 и 1607 гг. прошло на 459 сут больше, чем между прохождениями в 1607 и 1682 гг. Причина оставалась не вполне ясной, и это не позволило ему точно предсказать дату следующего прохождения. Между тем уже шел 1758 г., а комета не появлялась. Становилось очевидным, что она запаздывает. Но почему?

Необходимы были детальные исследования возмущений, испытываемых кометой со стороны планет. Методы учета этих возмущений еще не были разработаны, и за эту труднейшую задачу взялся французский математик А. Клеро. Работа оказалась столь трудоемкой, что без помощников было не обойтись. Ими стали известный французский астроном Ж. Лаланд и Н. Лепот, жена парижского часовщика (по тем временам механика очень высокого класса)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Часто в различных книгах можно встретить легенду, появившуюся с «легкой» руки известного популяризатора К. Фламариона, о гортензии – цветке из Индии, названном в честь г-жи Лепот ее именем. На самом деле Лепот звали Николь Рен Этабль.

«Комета, которую ожидают более года, – писал А. Клеро, – сделалась предметом более живого интереса, чем обыкновенно обнаруживается публикой к астрономическим вопросам. Истинные любители науки желают возвращения кометы, так как от этого последует блестящее подтверждение гипотезы... Но многие, напротив, усмеваются, видя астрономов, погруженных в неизвестность и беспокойство, и надеются, что комета не вернется к Солнцу, а открытия как самого Ньютона, так и его последователей станут наравне с гипотезами, взлелеянными одной фантазией».

«Шесть месяцев, – вспоминал позднее Ж. Лаланд, – мы вычисляли с утра до ночи, иногда даже не отрываясь для еды, и следствием этого было то, что я расстроил свое здоровье на все остальные дни своей жизни. Помощь г-жи Лепот была такова, что без нее мы никогда не осмелились бы предпринять этот громадный труд, состоявший из вычислений расстояния кометы от двух планет – Юпитера и Сатурна – для каждого градуса небесной сферы в течение 150 лет». Это требовалось для того, чтобы определить силу притяжения со стороны обеих планет, быстро меняющуюся со временем, и оценить их влияние на орбиту кометы.

Комета вот-вот должна была вернуться, вычисления же все еще продолжались. Поневоле пришлось пойти на упрощения в расчетах, которые хоть и незначительно, но снизили их точность. 15 ноября 1758 г. результаты расчетов были представлены, наконец, в Парижскую академию наук. Клеро назвал дату прохождения кометой перигелия 13 апреля 1759 г., добавив, что этот момент может содержать ошибку в 30 сут из-за сделанных в расчетах упрощений.

Итак, вычисления показали, что комета задержится на 618 сут – на 518 – «по вине» Юпитера и на 100 – «по вине» Сатурна. Комету искали многие, а известный «ловец комет» Ш. Месье, французский астроном, позднее ставший директором Парижской обсерватории, потратил на это целый год. Но удача выпала на долю любителя астрономии из окрестностей Дрездена крестьянина И. Палича, который и обнаружил комету в рождественскую ночь 25 декабря 1758 г. Комета наблюдалась до середины февраля, потом скрылась в вечерних сумерках, а с апреля стала видна вновь, но уже на предутреннем небе. Она достигла приблизительно нулевой звездной величины и имела хвост, простиравшийся на  $25^\circ$ . В начале июня она еще была видна невооруженным глазом, но в последней декаде июня исчезла.

Через перигелий комета прошла 13 марта 1759 г., всего на 32 сут раньше срока, предсказанного А. Клеро. «Но что означают тридцать два дня, – ликовал Ж. Лаланд, – по сравнению с периодом в 75 лет».

Комету наблюдали тщательно, уже отдавая себе отчет в том, что предстоит рассчитывать ее следующее появление. В течение следующих 75 лет астрономия сделала большие успехи. Широкое распространение получили телескопы системы Гершеля. Были выявлены и успешно наблюдались многие периодические кометы. Усилиями П. Лапласа и Ж. Лагранжа была создана небесная механика. На примере кометы Лекселя была продемонстрирована возможность катастрофического преобразования кометной орбиты под действием Юпитера<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Эта комета, открытая в 1770 г., двигалась по орбите с  $a = 3,2$  а. е. и перигелийным расстоянием  $q = 0,67$  а. е. Сведений о прошлых наблюдениях этой кометы не было. Когда же астрономы А. Лексель и У. Леверье рассчитали ее движение в прошлом и будущем, то обнаружилась поразительная вещь: такую орбиту комета приобрела лишь в 1767 г. в результате сближения с Юпитером. До этого она двигалась по почти круговой орбите с  $a = 3$  а. е. и была недоступна

наблюдениям. В 1779 г. комета испытала еще одно тесное сближение с Юпитером и ушла на орбиту огромных размеров, афелий которой оказался за орбитой Плутона, а перигелий – на расстоянии 5,2 а. е., и стала вновь недоступна наблюдениям.

Появление кометы Галлея в 1835 г. было рассчитано заранее с учетом влияния всех известных в то время шести планет. Но в 1781 г. В. Гершель открыл Уран, и вычисления пришлось провести заново, чтобы, учтя влияние Урана на орбиту кометы, добиться большей точности ее вычисления. Сразу же две академии наук объявили конкурс на лучший учет возмущений, испытанных кометой со времени появления в 1759 г. Одну из премий получил М. Дамуазо из Парижа, который с учетом возмущений от всех планет, за исключением Меркурия (но с учетом Урана), предсказал прохождение кометы перигелия 4 ноября 1835 г. Другую премию получил Ф. Понтекулан. Он назвал дату 7 ноября. Однако спустя некоторое время Понтекулан еще раз (!) повторил вычисления, приняв массу Юпитера равной 1/1054 массы Солнца вместо прежнего значения 1/1070, и получил новую дату – 15 ноября.

Впервые в истории кометной астрономии был вычислен не только момент прохождения кометой перигелия, но и предвычислен ее путь на небе среди звезд (эфемериды). Это многим казалось почти невероятным. Уже в декабре 1834 г. телескопы были направлены в ту область неба, где ожидалось появление кометы. Но она была еще слишком слаба. 6 августа 1835 г. директор небольшой обсерватории в Риме С. Дюмушель направил телескоп на ту точку неба, где согласно расчетам должна была находиться комета Галлея, и сразу же обнаружил ее в поле зрения – маленькую, едва заметную светящуюся точку.

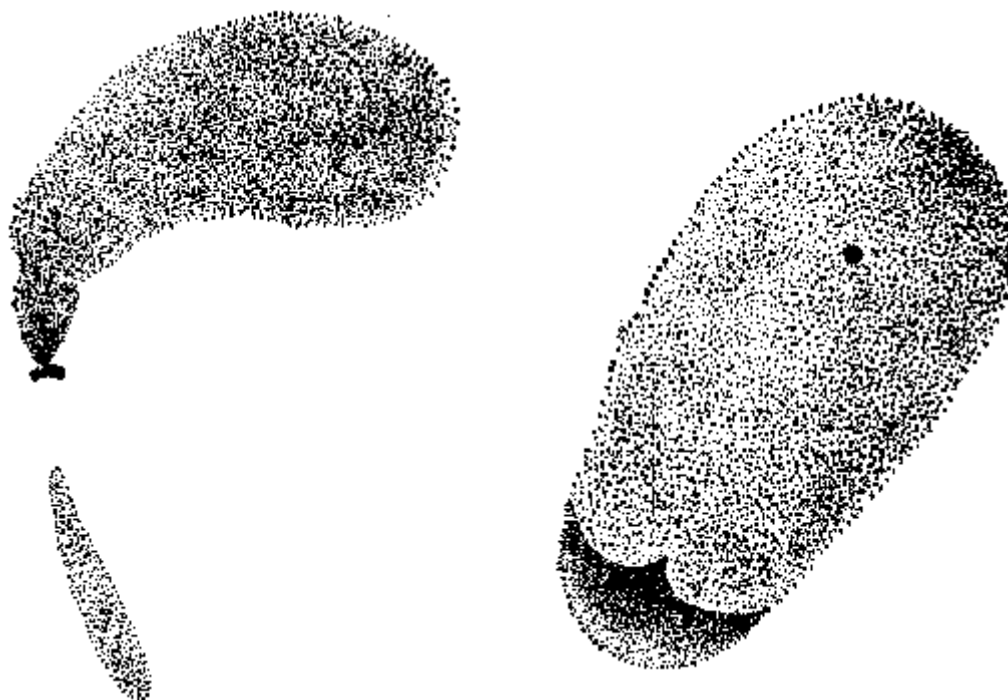


Рис. 3. Зарисовки кометы Галлея, сделанные 12 октября 1835 г. В. Я. Струве (слева) и 29 октября 1835 г. Дж. Гершелем (справа)

Новых наблюдений, однако, не было вплоть до 20 августа, когда комета стала доступна наблюдениям в более северных широтах, и 20 августа ее переоткрыл В. Я. Струве в Дерите, ставший позднее директором знаменитой Пулковской обсерватории. Спустя двое суток он же наблюдал ее уже невооруженным глазом. 24 августа у кометы начал

появляться хвост. В октябре она стала довольно впечатляющей и повсеместно привлекала внимание. Комета достигла 1-й звездной величины и имела хвост около 20°.

В. Я. Струве в Дерпте с помощью большого рефрактора и Дж. Гершель (сын В. Гершеля), уехавший с большим рефлектором на мыс Доброй Надежды, сделали много прекрасных зарисовок кометы (рис. 3). В величине и форме она непрерывно претерпевала какие-нибудь изменения. В центральной части головы кометы то ясно различалось «ядро» с резкими очертаниями, окруженное туманным светом, то рядом с ним появлялось светлое пятно, придавая комете необычный вид. Однажды В. Я. Струве видел комету с двумя тонко очерченными придатками – одним перед кометой и другим позади нее. Иногда комета казалась окутанной призрачным покрывалом, уходящим далеко в хвост.

17 сентября В. Я. Струве наблюдал редчайшее явление – покрытие звезды кометой. Слабая звездочка проходила позади нее, приближаясь к центральной, самой плотной и яркой части головы. Естественно было ожидать, что звезда ослабеет и на время исчезнет, заслоненная «ядром» кометы. Однако ничего подобного не произошло. Яркость звезды несколько не изменилась, и она даже не мигнула. В течение 2 ч В. Я. Струве производил тщательные микрометрические измерения положений звезды, но никакого отклонения света, идущего от звезды, тоже не обнаружил. И то, что вещество кометы не вызывает преломления света, казалось удивительным. В. Я. Струве сделал вывод о том, что вещество в голове кометы крайне разрежено и что у кометы или вовсе нет твердого ядра, или оно ничтожно мало (верным оказалось последнее предположение).

Комета прошла перигелий 16 ноября 1835 г., и это незначительное запаздывание по сравнению с предсказаниями Ф. Понтекулана (всего на сутки) позволило Понтекулану уточнить массу Юпитера и принять ее равной 1/1049 массы Солнца (напомним, что действительное ее значение равно 1/1047,6). После перигелия комета стала ослабевать. Дж. Гершель следил за ней с помощью своего телескопа, бывшего одним из крупнейших телескопов того времени, вплоть до 19 мая 1836 г. и потерял ее где-то на полпути между Марсом и Юпитером.

Прошло еще три четверти века, и к встрече с кометой Галлея стало готовиться еще одно поколение астрономов. К этому времени уже был открыт Нептун, и учет его возмущений позволил английским астрономам из Гринвичской обсерватории Ф. Коуэллу и А. Кроммелину предсказать прохождение кометой перигелия 17 апреля 1910 г. с небывалой, как думали, точностью, точностью – до 3 ч. Но как обычно в вычислениях предстоящего появления принимали участие многие астрономы.

Появление кометы в 1910 г. вблизи Солнца впервые наблюдалось с применением фотографии. Фотографический метод, изобретенный в конце 40-х годов прошлого столетия, медленно осваивался астрономами. М. Вольф в Гейдельберге с 1891 г. ввел его в практику своих наблюдений. Этот метод оказался очень плодотворным и позволил открыть много слабых небесных объектов. На пластинках, снятых в Гейдельберге 11 сентября 1909 г., М. Вольф обнаружил маленькое диффузное пятнышко – изображение кометы Галлея с угловым диаметром около 10" и блеском приблизительно 16 – 17-й звездной величины. При съемке использовался рефлектор диаметром 72 см и фокусным расстоянием 280 см. Экспозиция длилась 1 ч.

Однако первые, еще более слабые изображения кометы М. Вольф отыскал на пластинке, снятой на целых две недели раньше – 28 августа. Правда, тогда у него не было уверенности в том, что это комета Галлея<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Следует заметить, что поиски такой еще слабой кометы фотографическим методом требовали уверенного знания ее эфемеридных положений. Для кометы Галлея они стали известны с необходимой точностью только к этому ее появлению.

Но затем комета была обнаружена на пластинках, снятых еще раньше, 24 августа, в Хелуане (Египет), когда находилась на расстоянии 3,6 а. е. от Солнца. Еще одно изображение нашли на пластинке, снятой 9 сентября в Гринвиче.

Еще долго комета оставалась недоступной наблюдениям невооруженным глазом. До середины января 1910 г. она находилась слишком далеко и от Земли и от Солнца. Потом хотя она становилась все активнее по мере уменьшения гелиоцентрического расстояния, видимый блеск кометы возрастал медленно, так как Земля удалялась от кометной орбиты. Комета находилась на вечернем небе, и ее наблюдениям мешали сумерки. Затем она и вовсе перекочевала на дневное небо.

20 апреля комета прошла перигелий (опоздав на 3 сут по сравнению со сроком, предсказанным Ф. Коуэллом и А. Кроммелином), а вскоре после этого появилась на утреннем небосводе. В начале мая комета превратилась в великолепный объект на небе, сиявший в предрассветные часы. В то же время сквозь хвост кометы прошла Венера. После 8 мая комета вновь начала уходить в сумерки, и 18 мая она оказалась между Солнцем и Землей, а поскольку хвосты комет всегда направлены прочь от Солнца, то наша планета на несколько часов погрузилась в хвост кометы Галлея.

Кометные газы и тончайшая пыль субмикрометровых размеров неслись мимо Земли со скоростью во многие десятки километров в секунду. Часть их, внедряясь в земную атмосферу, застревала в самых верхних ее слоях. Были организованы разные геофизические наблюдения: брались на анализ пробы воздуха, определялась его запыленность, измерялась интенсивность свечения неба и т. д. Однако концентрация кометного вещества была настолько мала, что никаких эффектов, которые можно было бы уверенно приписать действию кометного вещества, не обнаружилось.

18 мая 1910 г. произошло и еще одно событие – комета Галлея прошла по диску Солнца. Это открывало перед астрономами великолепную возможность проверить, действительно ли у кометы Галлея, как предполагал когда-то В. Я. Струве, нет крупного твердого ядра. Достаточно большое ядро можно было бы увидеть на фоне солнечного диска как темное пятнышко. В Москве В. К. Цераский и П. К. Штернберг внимательно следили за солнечным диском, но увидеть пятнышка не смогли. Между тем рефрактор, которым они пользовались, позволял увидеть пятнышко размером 0,2 – 0,3". Комета находилась в это время на расстоянии 23 млн. км, и для создания пятнышка такого размера ядро должно было иметь поперечник всего 20 – 30 км. Поскольку пятнышка обнаружить не удалось, размеры ядра были и в самом деле невелики. То же самое получилось и по наблюдениям в Афинах.

В конце мая – начале июня 1910 г. комета достигла 1-й звездной величины и имела хвост угловыми размерами около 30°. После 20 мая она стала быстро удаляться от Земли, перекочевала на вечерний небосвод и опускалась под горизонт вскоре после захода Солнца. Комета быстро ослабевала, но фотографический метод позволил следить за нею вплоть до 16 июня 1911 г., когда она удалилась от Солнца уже на 5,4 а. е.

На обсерваториях и в специальных экспедициях, предпринятых в Южное полушарие (на Гавайские острова, остров Teneriff и др.) на тот период, когда в Северном полушарии условия видимости были плохие, проводились многочисленные визуальные, фотографические и спектральные наблюдения кометы. Было получено около 500 фотографий головы и хвоста кометы, около 100 спектрограмм, сделано множество отдельных рисунков и огромное количество определений положения кометы среди звезд на небе. Это дало богатый материал как для расчетов ожидаемого нами теперь очередного появления кометы, так и для выяснения сущности физических явлений, протекавших у этой и других комет.

На этих данных мы еще остановимся, а здесь упомянем только, что использование длиннофокусных астрографов дало возможность произвести тщательное исследование очертаний головы кометы. На основании этих исследований С. В. Орлов построил теорию формирования кометной головы.

## СТАРЫЕ ПОЯВЛЕНИЯ КОМЕТЫ

Наблюдения 1531 г. были самыми старыми, которые использовал Э. Галлей для определения орбиты своей кометы. Но удалось проследить и за еще более древними ее появлениями. Суеверный страх, испытываемый нашими предками перед кометами, считая их предвестниками войн, эпидемий и других бед, сослужил хорошую службу астрономам: сведения о появлениях комет остались в летописях, хрониках, на картинах. Историки прошедших эпох связывали кометы со смертью Магомета, Юлия Цезаря, вещего Олега, Ивана Грозного и многих других.

В прошлых появлениях на небе комета Галлея была одной из самых «зловещих» комет. Еще сам Э. Галлей отождествлял свою комету с большой кометой 1456 г., вызвавшей панику в турецких войсках в битве при Белграде. А поскольку это произошло через три года после завоевания турками Константинополя, то и христианами комета была воспринята как угроза их благополучию со стороны турок.

В конце XVIII в. французский математик И. Буркхардт показал, что комету неоднократно видели в Европе и Китае во время ее появления на небе в 989 г. Уже после ее появления в 1835 г. французский астроном П. Ложье нашел свидетельства трех ее древних появлений: в 451, 760 и 1378 гг. Позднее англичанин Дж. Хинд (ему в 1835 г. было всего 12 лет) занялся изучением китайских анналов и разыскал указание на 15 появлений кометы вплоть до 12 г. до н. э. Уже в XX в. Ф. Коуэлл и А. Кроммелин проследили за появлениями кометы вплоть до 240 г. до н. э., обнаружив заодно ошибочность трех отождествлений Хинда.

Отождествление проводилось на основании описаний самой кометы и ее положений на небе, которые сравнивались с тем, что ожидалось на основании вычислений прошлого движения кометы. В правильности этих отождествлений можно не сомневаться. Телескопов в то время не было и описывались только яркие, т. е. большие кометы. Они появлялись достаточно редко. Вряд ли могло случиться так, чтобы какая-нибудь другая комета оказалась в то же время и на том же месте небосклона, какие были предвычислены для кометы Галлея. Так, например, в 1910 г., кроме кометы Галлея, на небе в зимние месяцы была видна еще одна большая комета. В памяти многих очевидцев остались более сильные впечатления, связанные именно с этой, второй кометой. Но она была видна на утреннем небе в январе 1910 г., тогда как комета Галлея в это же время была видна вечером.

Из 29 прошлых появлений, список которых приведен в табл. 2, недостаточно подтвержденным осталось лишь появление в 164 г. до н. э. Приблизительно в подходящее время какая-то большая комета наблюдалась в Японии, но нет данных, позволяющих судить о ее положении на небе. Полагают также, что кометой Галлея могли быть большие кометы, наблюдавшиеся зимой 467/466 г. до н. э. и зимой 1058/57 г. до н. э., описанные в древних китайских анналах. Однако эти описания настолько неопределенны, что уверенного отождествления провести нельзя.

## 30 последних появлений кометы Галлея

№	Дата прохождения перигелия, T	№	Дата прохождения перигелия, T
1	25 мая 240 г.*	16	28 февраля 837 г.
2	13 октября 164 г.*	17	6 сентября 989 г.
3	6 августа 87 г.*	18	21 марта 1066 г.
4	11 октября 12 г.*	19	19 апреля 1145 г.
5	26 января 66 г.	20	29 сентября 1222 г.
6	22 марта 141 г.	21	26 октября 1301 г.
7	18 мая 218 г.	22	11 ноября 1378 г.
8	20 апреля 295 г.	23	10 июня 1456 г.
9	16 февраля 374 г.	24	26 августа 1531 г.
10	28 июня 451 г.	25	27 октября 1607 г.
11	27 сентября 530 г.	26	15 сентября 1682 г.
12	15 марта 607 г.	27	13 марта 1759 г.
13	3 октября 684 г.	28	16 ноября 1835 г.
14	21 мая 760 г.	29	20 апреля 1910 г.
15	9 июля 912 г.	30	9 февраля 1986 г.

\* До новой эры.

Последнее из двух упомянутых появлений большой кометы отождествляет китайский астроном И. Чанг. Ему пришлось с помощью ЭВМ провести расчеты движения кометы в прошлое на 3000 лет, причем с учетом всех планетных возмущений<sup>8</sup>. Согласно Чангу, комета Галлея была в перигелии 7 марта 1057 г. до н. э., и он полагает, что именно она упоминается в анналах, где говорится, что комета появилась на востоке, когда император Ву выступил против Джоу.

<sup>8</sup> Подчеркнем еще раз, что расчеты прошлого движения кометы особенно на промежутки времени, превышающие 1000 лет, очень трудны. Одна из причин кроется в том, что во время появления в 837 г. упомянутого во введении, комета прошла очень близко от Земли. Притяжение Земли немного изменило орбиту кометы, и это создает дополнительные очень серьезные трудности для расчетов.

Прежде чем распрощаться со старыми появлениями кометы Галлея, остановимся немного на тех легендах, которые связаны с нею.

Появление кометы весной 1066 г. встревожило английского короля Гарольда II, недавно взошедшего на трон. Было известно, что в Нормандии Вильгельм Завоеватель готовил для вторжения в Англию флот, и комета казалась англичанам дурным предзнаменованием. Вскоре Гарольд II пал в битве при Гастингсе, решившей судьбу Англии: она была завоевана норманнами, «предводительствуемыми» кометой. Комета, которой приписывалась роковая в истории Англии роль, осталась запечатленной на знаменитом настенном ковре, считавшемся великой драгоценностью у многих поколений английских королей (рис. 4).



Рис. 4. Настенный ковер, хранящийся в Байо (Англия), с изображением кометы Галлея 1066 г. По преданию, он выткан руками жены Вильгельма Завоевателя около 1080 г. в память о покорении Англии норманнами, которым «покровительствовала» комета

То же появление кометы в 1066 г. описано и в древнерусской летописи «Повести временных лет»: «В эти же времена было знамение на западе – звезда превеликая, лучи имеющая как бы кровавые, восходившая с Вечера по заходе солнечном и пробывшая семь дней. Это предвещало недоброе, ибо после того было много усобиц и нашествий поганых на Русскую землю; ведь эта звезда была кровавая, предвещавшая пролитие крови».

О появлении кометы на небе в 1456 г. мы уже упоминали. Тогда римский папа Каликст III ввел особую молитву «Ангелус» с заклинаниями против кометы, сопровождавшуюся колокольным звоном. Эту молитву ежедневно в полдень произносили во всех церквах, прося бога ниспослать все те беды и ужасы, которыми она грозила, на нечестивых турок.

Неблагоприятные для наблюдения положения кометы на небе (особенно для жителей северных широт) в 1758, 1835 и 1910 гг. помешали комете и в этих своих появлениях быть столь же грандиозной, как во время многих древних появлений. (Кстати, предстоящее ее появление на небе будет самым неблагоприятным для наблюдений.) Тем не менее и в 1910 г. во многих странах были в ходу молитвы-заклинания против кометы. В католических церквах сохранилась молитва «Ангелус».

Приведенных примеров достаточно, чтобы понять, что было много радостных и печальных событий в прошлом, которые можно было при достаточно богатом воображении и суеверном страхе перед непознанными силами природы связать с появлением кометы Галлея на небе, где бы ни была она видна. Нужно ли добавлять, что комета Галлея, как и все другие, ни в чем не была повинна?

## ПРИРОДА КОМЕТ

Первые научно обоснованные представления о природе комет были высказаны в начале XIX в. После появления кометы Галлея на небе в 1835 г. Ф. Бессель в статье, специально посвященной этому событию и опубликованной им в 1836 г., высказал соображение, что ядра комет состоят из летучих веществ, легко переходящих в



«состояние возгонки». По существу, Ф. Бессель высказал представления о ледяной природе кометных ядер, хотя и не применял при этом термин «лед».

«То, что улетучивание прежде всего появляется на частях поверхности, прямо обращенных к Солнцу, – писал Ф. Бессель, – и то, что по мере приближения к Солнцу... улетучивание усиливается... соответствует ожидаемому согласно этому предположению, находящемуся, таким образом, в согласии с наблюдениями. То, что улетучивание вследствие связанной с ним потерей тепла может быть средством, защищающим некоторую часть кометной массы от рассеяния, отмечалось, если я не ошибаюсь, еще Лапласом».

П. Лаплас действительно еще раньше писал о «ледяной» (по современной терминологии) природе кометных ядер в «Изложении системы мира». В конце XVIII в. он вместе с А. Лавуазье проводил калориметрические опыты, в которых впервые исследовались фазовые переходы многих веществ, в том числе воды, и было обнаружено постоянство температуры в период плавления и испарения вещества, выяснена сущность скрытой теплоты плавления и испарения. Результаты опытов тогда же были опубликованы в виде двух статей. Через четверть века П. Лаплас вернулся к этим результатам, применил их к ядрам комет, и в третьем издании «Изложения системы мира» (1808 г.) появились новые разделы, освещавшие этот вопрос.

«Какова бы ни была природа тепла, – писал П. Лаплас, – ...оно переводит большое число твердых тел в жидкие, а жидкие – в пары... Существуют тела, которые не могут становиться жидкими при помощи самого большого тепла, которое мы только можем возбуждать. Существуют другие, которые самый большой холод, испытываемый ими на Земле, не может превратить в твердое состояние. Но... чтобы превратить их в это состояние; достаточно было бы удалить Землю от Солнца (подобно тому, как хватило бы их сближения, чтобы заставить воду и многие другие тела войти в нашу атмосферу). Такие большие изменения имеют место на кометах, которые подходят близко к Солнцу в своих перигелиях. Туманности, которые их окружают, являются результатом испарений жидкостей на их поверхности; охлаждение, которое при этом получается, должно умерить чрезвычайный жар, связанный с близостью к Солнцу».

К сожалению, эти здравые рассуждения не оказали полезного влияния на развитие представлений о природе кометных ядер. Повторенные в четвертом издании «Изложения системы мира» (1813 г.), они были изъяты Лапласом из пятого издания (1824 г.), поскольку тот собирался написать на данную тему специальный трактат. Однако трактат остался ненаписанным, так как Лаплас в 1827 г. умер, а в посмертных изданиях «Изложения системы мира», в том числе и во всех изданных переводах с французского, изъятый текст не был восстановлен. По-видимому, никто, кроме Ф. Бесселя, не обратил на него внимания. Можно пожалеть также, что и процитированный отрывок из труда Ф. Бесселя тоже остался незамеченным исследователями комет.

В XIX в. произошли события, изменившие и надолго предопределившие ошибочное представление о природе кометных ядер. Это открытие пояса астероидов, познание космической природы падающих на Землю метеоритов (до этого их, как и кометы, считали атмосферными феноменами, а еще раньше обломками «небесной» тверди) и, наконец, обнаружение связи комет с метеорами и метеорными потоками. Но поскольку происхождение метеоров и метеоритов казалось одинаковым, то кометные ядра стали считать каменными глыбами.

Только в 1950 г. появилась работа американского астрофизика Ф. Уипла, в которой главным образом на основании анализа вековых ускорений движения некоторых комет обосновывалась идея о ледяном составе кометных ядер. Дело в том, что движение комет не удавалось полностью объяснить действием одних только гравитационных сил. Приходилось допускать действие еще каких-то, хотя и очень слабых, негравитационных сил. Вспомним, что хотя эфемерида кометы Галлея для появления в 1910 г. была

рассчитана, казалось, со всей тщательностью – с точностью до 3 ч, наблюдения показали расхождение с эфемеридой на 3 сут.

На это расхождение тогда не обратили особого внимания. Подобные расхождения уже были известны и для других комет. Астрономы понимали, что что-то искажает движение комет, но не знали, что именно. Было предложено несколько гипотез, пытающихся объяснить возмущения движения комет, и в конце концов наиболее популярной стала гипотеза негравитационных сил. Существование таких сил предполагал еще Ф. Бессель в 1835 г., однако о причине этих сил исследователи ничего не знали до середины XX в.

Ф. Уипл предположил, что негравитационные силы – это силы реактивного действия, оказываемого испаряющимися газами на ядро кометы. Но для этого ядро должно состоять из льдов! Через год, в 1951 г., идея о ледяном ядре кометы была высказана на основании космогонических соображений другим американским астрофизиком Дж. Койпером. Многие исследователи ее подхватили, и вскоре она завоевала всеобщее признание. Исследования последующих 30 с лишним лет позволили уточнить, дополнить и конкретизировать наши представления о строении кометных ядер, увязать их с космогонией Солнечной системы и объяснить их происхождение.

Кратко эти представления, сформировавшиеся в результате работ многих советских и зарубежных ученых, сводятся к следующему.

Атомный состав вещества кометных ядер, по-видимому, такой же, как и солнечного вещества, но кометные льды сильно обеднены самыми летучими элементами – водородом и гелием. Согласно космической распространенности разных химических элементов две трети массы кометного ядра должны приходиться на долю водяного льда (снега) и «сухого» льда (снега) из окиси и двуокиси углерода, а также с примесью льдов еще более летучих веществ. Оставшуюся же одну треть составляют нелетучие соединения. Таким образом, ядра комет представляют собой очень «грязный» лед или снег. Однако в каком виде нелетучие вещества примешаны к льдам, остается неясно. Возможно, что важным структурным компонентом кометного ядра являются так называемые клатраты – льды, кристаллические решетки которых заключают в себе атомы и молекулы других веществ.

В каменистом компоненте кометных ядер, так же, как и в каменистом веществе астероидов и других членов Солнечной системы, несомненно присутствовали (и частично сохранились до сих пор) в небольших количествах радиоактивные элементы. Распадаясь, они выделяли тепло и нагревали кометные ядра. Однако в небольших ядрах радиоактивное тепло удерживалось плохо, а присутствие в значительном количестве таких прекрасных поглотителей тепла, как льды, привело к тому, что температура кометных ядер повысилась не более чем на несколько десятков кельвинов<sup>9</sup>. Наиболее эффективным «топливом» являлись сравнительно короткоживущие радиоактивные изотопы алюминий-26 и калий-40, и когда они полностью распались, кометные ядра вновь остыли.

<sup>9</sup> Впрочем, само присутствие в кометных ядрах весьма летучих льдов, начинающих интенсивно испаряться при приближении кометы к Солнцу, показывает, что их внутренняя температура никогда не превышала приблизительно 100 К.

Из всего этого следует, что ядра комет представляют собой наименее измененные образчики первичного вещества Солнечной системы, сохранившиеся до настоящего времени. Они никогда еще не попадали в руки исследователей, вынужденных лишь издали взирать на свечение паров в кометных атмосферах и на вспышки болидов, порожденных в земной атмосфере осколками кометных ядер. Один из самых знаменитых болидов такого происхождения связан с тунгусским явлением 1908 г. Такие болиды могут дать еще более ценную информацию, чем кометные атмосферы, потому что в болидах светятся испарившиеся и тугоплавкие вещества, однако подобные болиды непредсказуемы и очень редки. (Поэтому-то в настоящее время активно осуществляются

проекты непосредственных исследований комет с помощью автоматических космических аппаратов, о чем будет рассказано позже.)

Как уже говорилось, кометные ядра, видимо, образовались вдали от Солнца – в холодных частях газопылевого протопланетного диска (оставшегося после того, как основное вещество протосолнечной туманности сгустилось в Солнце). Там, в условиях низких температур, летучие вещества, входившие в состав пыли (которая, попросту говоря, представляла собой сгустившуюся межзвездную пыль), не испарялись, как это происходило вблизи горячего Солнца. Поэтому мелкие «пылинки» льдистого состава по мере уплотнения облака слипались в крупные «снежинки», из которых потом аккумуляровались крупные тела.

Возмущения со стороны планет-гигантов, выраставших в той же области из таких же снежно-ледяных тел, перевели огромное количество их на почти параболические орбиты, сформировав так называемое облако Оорта. Это гипотетическое облако Оорта, в которое погружена наша планетная система, имеет поперечник 100 000 а. е. и содержит порядка  $10^{11}$  ледяных членов Солнечной системы. Они обращаются вокруг Солнца с периодами несколько миллионов лет и недоступны наблюдениям даже в перигелиях своих орбит, лежащих далеко от нас.

Возмущения от ближайших звезд и массивных молекулярно-пылевых облаков меняют их орбиты, медленно перемешивая облако. Некоторые ледяные глыбы под действием этих возмущений увеличивают скорости движения относительно Солнца до 0,1 км/с и после этого уже навсегда теряют связь с Солнечной системой, уходя в межзвездное пространство. Другие глыбы, напротив, теряют скорость и, словно падая на Солнце, проникают во внутренние районы Солнечной системы, двигаясь по квазипараболическим орбитам. У немногих из них перигелии оказываются в пределах планетной системы, а иногда и вовсе вблизи Солнца.

Когда комета движется в области, занятой планетами, ее орбита меняется под действием планетных возмущений. При этом среди комет, пришедших с периферии облака Оорта, т. е. движущихся по квазипараболическим орбитам, около половины снова ускоряются, приобретая слегка гиперболические орбиты, и теряются в межзвездном пространстве. У других же комет, напротив, размеры орбит уменьшаются, и они чаще начинают возвращаться к Солнцу. Изменения орбит бывают особенно велики при тесных сближениях комет с планетами-гигантами. При благоприятных сближениях некоторые кометы начинают двигаться по эллипсам и вовсе умеренных размеров. Когда-то в прошлом это произошло, вероятно, и с кометой Галлея.

В настоящее время известно около 100 так называемых короткопериодических комет<sup>10</sup>. Многие из них приближаются к Солнцу через несколько десятков лет или даже через несколько лет. Они приобрели свои орбиты в основном в результате сближений с планетами-гигантами.

<sup>10</sup> К ним относят кометы, периоды обращения которых вокруг Солнца меньше 200 лет.

Орбиты комет, сближаясь с орбитами планет и изменяясь под действием планетных возмущений, временами пересекались с планетными орбитами. Поэтому изредка должны были происходить столкновения комет с планетами. Часть кратеров на Луне, Меркурии, Марсе и других телах Солнечной системы, видимо, образовалась в результате ударов кометных ядер. Тунгусское явление 1908 г. также, вероятно, вызвано столкновением Земли с очень маленьким ядром кометы (как показали советские исследователи Г. И. Петров и В. П. Стулов, его размеры не должны были превышать 300 м). Может быть, это был обломок более крупного снежно-ледяного ядра кометы Энке. К счастью, подобные столкновения достаточно редки.

Ядра комет, в том числе ядро кометы Галлея, наблюдать раньше не удавалось. Они скрыты продуктами собственных испарений, когда приближаются к нам, а когда

удаляются настолько, что испарение летучих веществ практически прекращается, то слишком малы, чтобы их можно было бы увидеть в имевшиеся телескопы. На основании косвенных данных размеры ядер у наблюдаемых комет оценивают в 0,5 – 20 км и, следовательно, при плотности плотного льда порядка  $1 \text{ г/см}^3$  их массы должны составлять  $10^8 - 10^{13}$  т. Ядра меньших размеров порождают слишком слабые кометы, практически недоступные наблюдениям. Более крупные ядра проникают во внутренние районы Солнечной системы редко вследствие своей немногочисленности. По своим размерам ядро кометы Галлея ничем не выделяется: его размеры оценивают в 3 – 4 км.

Холод в далеких от Солнца районах космического пространства создает своеобразный холодильник, в котором кометные ядра сохраняются без изменений вот уже 4,5 млрд. лет. Испарение летучих веществ становится заметным, когда кометное ядро приближается к Солнцу на расстояние 4 – 5 а. е., и поверхность ядра начинает нагреваться солнечными лучами до температур, при которых начинается испарение наиболее летучих веществ. Выделяющиеся газы, увлекая за собой каменные и ледяные пылинки, образуют вокруг ядра туманную оболочку – атмосферу кометы, часто называемую ее головой. Ледяные пылинки быстро испаряются, а каменные, напротив, могут расти. В ближайших окрестностях ядра из паров в результате конденсации молекул нелетучих веществ, по-видимому, могут образовываться и новые, очень мелкие каменные частицы.

Поперечник головы растет по мере приближения кометы к Солнцу и у больших комет нередко бывает от десятков тысяч до 1 – 2 млн. км. В голове кометы средних размеров спокойно разместились бы все собранные вместе планеты Солнечной системы. У некоторых же комет размеры головы превышали размеры Солнца. Голова кометы имеет своеобразную невидимую корону – огромную водородную оболочку (из атомарного водорода) размером более 10 млн. км. Расширяясь в космический вакуум, атмосфера кометы, не удерживаемая уже слабыми силами тяготения ядра, непрерывно рассеивается в межпланетном пространстве и существует лишь вблизи Солнца – до тех пор, пока газы, а вместе с ними и пыль выделяются из ядра (рис. 5).

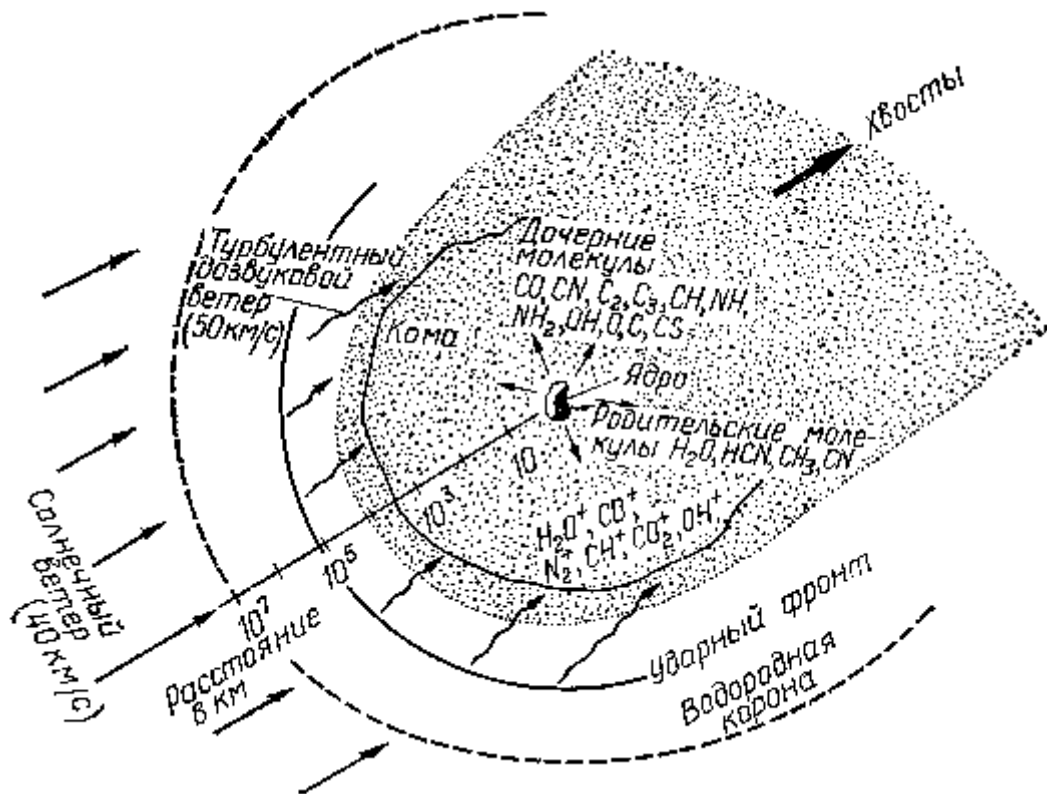


Рис. 5. Модель головы кометы

Часть газов ионизируется, и этот ионизованный компонент уносится из головы кометы в противоположном направлении от Солнца, образуя хвост. Происходит это в основном в результате взаимодействия с солнечным ветром (хотя некоторую роль играет и давление света), причем скорость движения ионизованного газа может достигать десятков и сотен километров в секунду. Так формируется прямолинейный, почти цилиндрический плазменный хвост I типа. Поперечник хвоста составляет 200 – 300 тыс. км, а концентрация ионизованных частиц в нем порядка  $1000 \text{ см}^{-3}$ . В кометном хвосте в объеме  $1000 \text{ км}^3$  содержится меньше вещества, чем в  $1 \text{ см}^3$  обычного воздуха. Каждая молекула отделена от другой расстоянием в несколько метров и даже километров. Вот почему кометы называют «видимым ничто».

Наблюдения за плазменными хвостами, создаваемыми и колеблемыми солнечным ветром, позволили изучить поведение и самого солнечного ветра на больших расстояниях от Солнца, вдали от Земли. И эти наблюдения являются практически единственным источником наших сведений о свойствах солнечного ветра вдали от плоскости эклиптики, где еще не летают космические аппараты.

Теоретическое рассмотрение процесса обтекания комет солнечным ветром привело к заключению, что в голове кометы на обращенной к Солнцу стороне, на расстоянии порядка 100 тыс. км от ядра должна находиться поверхность, отделяющая плазму кометы от плазмы солнечного ветра. На расстоянии около 1 млн. км от ядра находится ударная волна, отделяющая область сверхзвукового течения солнечного ветра от прилегающей к голове кометы области дозвукового турбулентного течения.

Тонкая пыль тоже уносится из головы кометы. Это происходит в основном под действием светового давления. Но скорость движения пылевых частиц оказывается гораздо меньше скорости ионов. Более медленно уходя в хвост, пылевые частицы отстают от плазменного хвоста и образуют так называемые хвосты II и III типов. В отличие от голубоватых ионных хвостов они имеют красноватый оттенок, иногда очень сильный. Слегка изогнутые хвосты II типа образуются частицами разных размеров, непрерывно выделяющимися из ядра. Сильно изогнутые хвосты III типа появляются только в тех случаях, когда из ядра кометы выделяется сразу целое облако пылинок. Пылинки получают под действием светового давления различные ускорения в зависимости от их размеров, и потому облако пыли растягивается в полосу – хвост. В пылевые хвосты попадает и часть нейтральных молекул из головы кометы (под действием светового давления).

У кометы Галлея наблюдались хвосты I и II типов. Хвост III типа был отмечен во время ее появления на небе в 1835 г., но неуверенно (из-за неблагоприятных условий его проецирования на небо).

И голова и хвосты не имеют резких очертаний. Они представляют собой лишь видимую, достаточно интенсивно светящуюся часть паров кометного вещества. Их видимые размеры зависят, с одной стороны, от интенсивности выделения газов из ядра (эта интенсивность определяется размерами, составом и структурой ядра, а также его близостью к Солнцу), а с другой – от условий наблюдений и применяемого инструмента. Одна и та же комета на ясном темном небе, какое бывает вдали от городов, может быть очень впечатляющей, но на светлом белесом небе окажется едва заметной.

Более разреженное вещество хвостов светит слабее, так что хвосты наблюдаются не у всех комет. Однако у больших комет длина видимой части хвостов достигает нескольких миллионов километров (так что они тоже оказываются погруженными в водородную оболочку), а у некоторых исключительных комет хвост удавалось проследить до расстояния 200 млн. км от головы.

Что же светится в комете?

Молекулы, входящие в состав ядра, несомненно, весьма разнообразны. На основании космогонических соображений и исследований свечения комет можно предположить, что среди них могут быть и такие простые молекулы, как вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ), моноокись углерода

(CO), азот (N<sub>2</sub>), углерод (C<sub>2</sub>), метин (CH) и циан (CN), и такие сложные, как циановодород (HCN) и метилцианид (CH<sub>3</sub>CN). Многие из них практически не дают излучения в видимой области спектра. Часть их удаляется от ядра кометы и теряется в межпланетном пространстве, так и не проявив себя. Другая, уже будучи в атмосфере, распадается под действием солнечного света (фотодиссоциация), и излучение некоторых из этих обломков приходится на видимый участок спектра.

По излучению в видимой части спектра было обнаружено присутствие в голове комет атомарного водорода и кислорода, молекул углерода, а также C<sub>3</sub>, CN, CH, OH, NH, NH<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>. Некоторые из них самостоятельно входили в состав ядра, другие получились в результате распада родительских молекул. При этом надо иметь в виду, что эффективность процесса фотодиссоциации у разных молекул различна. Например, молекулы CO и N<sub>2</sub> разрушаются легче, чем молекулы C<sub>2</sub>, CH и CN. Поэтому не так просто судить о действительном соотношении разных молекул в ядре и в атмосфере кометы по интенсивности спектральных линий. Наблюдения в ультрафиолетовом, инфракрасном участках спектра и в радиодиапазоне облегчают решение этой задачи и позволяют обнаруживать все новые молекулы и атомы.

Так, при внеатмосферных наблюдениях по их излучению в ультрафиолетовом диапазоне на длинах волн 156,1, 165,7 и 193,1 нм был обнаружен атомарный углерод. Во время таких же наблюдений была открыта оболочка из атомарного водорода (в излучении линии L $\alpha$ ). Радионаблюдения в миллиметровом диапазоне длин волн позволили выявить радиоизлучение метилцианида CH<sub>3</sub>CN (на длине волны 2,7 мм), циановодорода HCN (3,4 мм) и воды H<sub>2</sub>O (13,5 мм). Кроме того, в сантиметровом диапазоне наблюдалось излучение радикалов CN (9 см) и OH (18 см). У некоторых из этих молекул радиоизлучение возбуждается тепловым механизмом (столкновение молекул близ ядра кометы), у других, по-видимому, имеет мазерную природу. Что же касается атомов и молекул, дающих видимый свет, то для них характерно простое переизлучение поглощенных квантов солнечного света (резонансная флуоресценция).

Если на больших гелиоцентрических расстояниях активность кометы связана с сублимацией наиболее летучих льдов, то уже на расстояниях менее 2 – 2,5 а. е. она определяется в основном сублимацией водяного льда. На расстоянии 1 а. е. скорость сублимации водяного компонента достигает 10<sup>18</sup> молекул в 1 с на 1 см<sup>2</sup>, и у комет с перигелиями у земной орбиты за одно прохождение теряется наружный слой толщиной несколько метров, а у весьма редких комет, пролетающих через солнечную корону (их называют «царапающими Солнце»), – несколько сот метров. Из-за этого кометы, движущиеся по короткопериодическим орбитам, сравнительно быстро растрачивают свое ядро. С уменьшением же ядра связано (по крайней мере, частично) постепенное уменьшение активности таких комет.

Проанализировав старые наблюдения кометы Галлея, О. В. Добровольский показал, что в прошлом она была гораздо активнее. Это и не удивительно: за последние 2500 лет ее ядро только за счет испарения должно было уменьшиться в размерах на 1 км. Если современный поперечник ядра составляет около 3 км, то это значит, что оно потеряло больше половины своей массы.

У комет, приближающихся к Солнцу на расстояния меньше 0,7 а. е., в видимой части спектра появляются линии натрия, который начинает испаряться при более высокой температуре и иногда образует тонкий самостоятельный хвост. В редких случаях, у комет, «царапающих Солнце», происходила сублимация каменистых пылинок и наблюдались линии, принадлежащие нейтральным атомам нелетучих веществ (Na, K, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu). Излучение ионов обнаруживается лишь на некотором расстоянии от ядра. Например, излучение ионов C<sup>+</sup>, CN<sup>+</sup>, N<sub>2</sub><sup>+</sup> появляется только на расстоянии порядка 1000 км от ядра: на такое расстояние успевают удалиться от ядра испаряющиеся молекулы, прежде чем произойдет их ионизация. В хвостах же, как и следует ожидать, наблюдаются ионизованные молекулы CO<sup>+</sup>, CH<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub><sup>+</sup>, OH<sup>+</sup> и H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>.

Что касается пыли, то ее излучение объясняется простым отражением и рассеиванием солнечного света, что дает непрерывный компонент кометных спектров. При малом выделении пыли из ядра непрерывный спектр наблюдается лишь в центральной части головы кометы, а при обильном ее выделении – почти во всей голове. Тогда-то и формируются хвосты II и III типов.

Насколько неэффективно излучение пыли, можно понять на следующем примере. Делалась попытка определить общую массу вещества, светящегося в голове кометы Галлея. Поскольку относительное содержание пыли не было известно, вычисления провели при двух предположениях: излучение создает газ, излучение создает пыль. Это дало две крайние оценки массы. В первом случае свечение могло быть обеспечено ничтожным количеством вещества общей массой всего 100 т. Для его испарения было достаточно около  $100 \text{ м}^3$  льдов. Во втором случае требовалось около 1 млн. т пыли.

Мы плохо знаем, что представляет собой пыль, выделяемая кометным ядром. В конце 70-х годов в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе АН СССР в Ленинграде Е. А. Каймаков с сотрудниками начал проводить специальные эксперименты, целью которых было прояснить этот вопрос. В вакууме под действием света испарялся водяной лед, причем когда он содержал небольшие примеси неорганических веществ (разных солей), на его поверхности из них вырастали частицы порядка 1 мкм. Они объединялись в сложные древовидные структуры – дендриты. Иная ситуация наблюдалась, если в лед были подмешаны органические вещества. В этом случае на поверхности росли кристаллики примесных веществ удлинённой формы, которые при особенно низких концентрациях примесей (меньше 0,01 моль/л) превращались в длинные хрупкие нити. Если подобные нити вырастают и на поверхности кометных ядер (а присутствие органических соединений в кометных льдах предполагается давно), то и в атмосферу кометы должны выноситься их обломки удлинённой формы.

Следует заметить, что поиски условий, в которых могут формироваться пылинки вытянутой формы, велись уже несколько лет. Особенно с тех пор, как О. В. Добровольский из Института астрофизики АН ТаджССР вместе с Е. А. Каймановым пришел к выводу, что отрицательная поляризация света<sup>11</sup>, поступающего от комет, пока они наблюдаются на малых фазовых углах (составляемых направлениями Солнце – комета и комета – наблюдатель), может быть объяснена лишь рассеянием света на пылинках вытянутой формы. Теперь же эксперимент позволил понять, как могут возникать подобные пылинки.

<sup>11</sup> Условно считают, что свет поляризован отрицательно, если электрический вектор световой волны обнаруживает преимущественную ориентацию в плоскости Солнце – комета – наблюдатель.

Разные кометы выглядят по-разному, и особенно они различаются в интенсивностях излучения одних и тех же атомов и молекул, а также в интенсивностях излучения газа и пыли. Это указывает на значительные различия в составе кометных ядер. В сочетании с большими различиями в размерах ядер и перигелийных расстояний это делает понятие типичной кометы довольно неопределенным. Кроме того, голова и хвосты комет мгновенно «откликаются» на процессы, происходящие на поверхности ядра. По всей видимости, ядра состоят из льдистых глыб разного состава, т. е. имеют макробрекчиевую структуру, и изменение состава испаряющихся льдов приводит к изменению интенсивности испарения, к появлению так называемых излияний, струй, вспышек и пульсаций блеска.

В 1835 г. Ф. Бессель видел маленькие струи, истекающие из ядра кометы Галлея. Они наблюдались и в 1910 г. В сочетании с неустойчивостью плазмы и неоднородностей солнечного ветра это ведет к появлению в хвостах I типа струй и клочковатых образований. Они также наблюдались у кометы Галлея. Заметим, что, изучая поведение

именно кометы Галлея, Ф. Бессель сформулировал основные положения механической теории кометных форм.

Но разрушение кометного ядра связано не только с испарением. Во время появления кометы Галлея близ Солнца в 1910 г., когда она наблюдалась особенно тщательно, во многих пунктах отмечались явления, которые можно интерпретировать как неоднократное дробление ядра. Точнее, они могут указывать на то, что от ядра отваливались не слишком крупные, быстро испаряющиеся куски. Но прежде чем перейти к их описанию, сделаем одно отступление.

Уже говорилось, что атмосфера кометы мешает видеть ее ядро. Яркая, звездоподобная конденсация, часто наблюдаемая в центральной части головы кометы, обычно принимаемая за ядро и иногда называемая «ядром», в действительности является более плотной центральной частью кометной атмосферы, прилегающей к истинному ядру, и тогда остальную часть атмосферы называют комой. Если происходит деление ядра на несколько частей, то в момент деления обнажаются новые, свежие участки поверхности, и блеск кометы резко возрастает. Под действием реактивных сил, сообщаемых истекающими парами обломкам, они медленно расходятся и, окруженные каждый своей атмосферой, через некоторое время становятся различными как отдельно светящиеся сгустки («ядра») внутри пока еще общей комы.

Если обломки достаточно велики, чтобы сохраняться долго, то постепенно расходятся друг от друга настолько, что полностью разделяются и их атмосферы. Подобные случаи наблюдались у кометы Биэлы, кометы Тейлора, кометы Дю Туа–Хартлея I. Возможно, результатом подобного же дробления ядра является ныне наблюдаемое семейство Крейца – семейство комет, «царапающих Солнце».

По свидетельству многих наблюдателей, у кометы Галлея в 1910 г. было видно «множественное ядро» внутри комы, состоящее из трех-четырех сгустков, но лишь в течение короткого времени. Через несколько суток «ядро» вновь становилось одиночным, а потом деление начиналось снова. В 1982 г. было получено инструментальное подтверждение этого факта. С помощью денситометра были заново тщательно промерены фотографии кометы, полученные Р. Крумхольцом на 30-сантиметровом астрографе в Австрии. Результаты измерений подверглись обработке на ЭВМ, и тогда оказалось, что снимок, сделанный 24 мая 1910 г., зафиксировал мощный выброс вещества из ядра кометы в сторону Солнца, а снимок, сделанный 31 мая, всего неделю спустя, свидетельствует о разделении «ядра», по крайней мере, на три части, которые успели разойтись уже на угловое расстояние порядка 40°.

Однако за дальнейшим расхождением компонентов проследить не удалось: 3 июня «ядро» внутри комы снова стало одиночным. В тот же период визуально отмечались резкие колебания блеска кометы. Вообще, насколько сильно пострадало ядро кометы Галлея в 1910 г., неизвестно, и мы можем только гадать, каким оно предстанет перед нашим взором, когда приблизится к перигелию вновь.

## ПРЕДСТОЯЩЕЕ ПОЯВЛЕНИЕ

Наиболее точные определения современной орбиты кометы Галлея (рис. 6) сделаны советским исследователем В. В. Савченко<sup>12</sup>. Элементы этой орбиты, отнесенной к эпохе на 9,0 февраля 1986 г. (по мировому времени), составляют:

$$q = 0,5871023 \text{ а. е.},$$

$$e = 0,9672709,$$

$$\omega = 111,8474^\circ,$$

$$\Omega = 58,1455^\circ,$$

$$i = 162,2394^\circ,$$

$T = 9,5132$  февраля 1986 г. (по мировому времени; угловые элементы орбиты отнесены к эклиптике и равноденствию 1950,0).



<sup>12</sup> Орбита, полученная американским астрономом Д. Йомансом, лишь немного уступает по точности орбите, вычисленной В. В. Савченко.

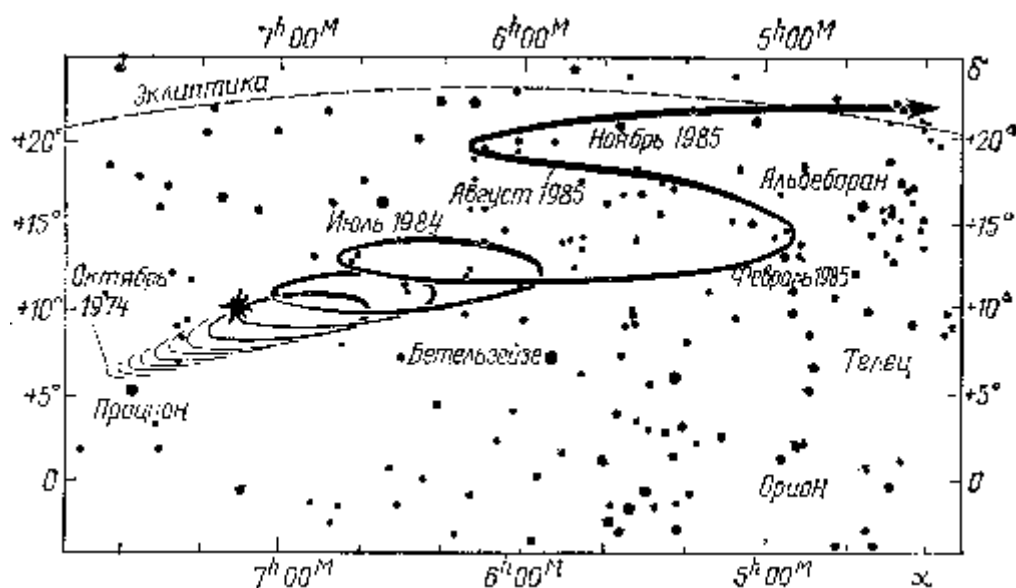


Рис. 6. Путь кометы Галлея на фоне звезд в 1974 – 1985 гг. Годичное движение Земли вокруг Солнца вызывает параллактическое смещение кометы в виде петель. Чем ближе комета, тем больше становятся петли. Звездочкой отмечено положение кометы в момент обнаружения в 1982 г.

К моменту выхода этой брошюры, в январе 1984 г., комета останется еще очень слабой, так как испарение льдов едва началось. Она достигнет только 22-й звездной величины и пока будет доступна наблюдениям лишь на крупнейших телескопах. Однако за ней следят уже более года. Комета была обнаружена в ясную безлунную ночь 16 октября 1982 г. в созвездии Малого Пса. Астрономы Калифорнийского технологического института Д. Джевитт и Э. Даниельсон с сотрудниками зарегистрировали комету Галлея с помощью 5-метрового телескопа Паломарской обсерватории (показана в кружочке на первой странице обложки). Этот телескоп оснащен ПЗС – прибором с зарядовой связью (приспособлением, регистрирующим отдельные кванты света) и используется для регистрации самых слабых источников света во Вселенной, в основном внегалактических объектов. Изображение объекта усиливается и затем подается на телевизионный экран. Потом комету стали наблюдать на других обсерваториях.

Еще никогда крошечный айсберг. Солнечной системы, каким является ядро кометы Галлея, не удавалось увидеть на столь огромном расстоянии: в ночь обнаружения это ядро находилось на расстоянии 11,05 а. е. от Солнца и на расстоянии 10,94 а. е. от Земли. Оно оказалось на угловом расстоянии всего 1" от положения, предсказанного В. В. Савченко, и на угловом расстоянии около 9" от положения, предсказанного Д. Йомансом, что свидетельствует о высочайшей точности проделанных ими расчетов.

Голое, не прикрытое атмосферой, ядро кометы слабо светило отраженным солнечным светом. Его блеск едва достигал 25-й звездной величины и был в 50 млн. раз слабее, чем свет самых слабых звезд, видимых на небе невооруженным глазом. Это сразу подтвердило, что ядро кометы имеет небольшие размеры – порядка 3 – 4 км. Надо иметь в виду, что данная оценка приближенная, поскольку мы не знаем альбедо (отражательную способность) кометного ядра. Если на его поверхности находится сравнительно чистый лед, то тот же блеск может обеспечить ядро и вдвое меньших размеров, а если на поверхности ядра находятся очень темные каменистые частицы, то размеры должны быть вдвое большие.

Еще долго придется ждать астрономам, пока комета станет видна в рядовой телескоп. К началу 1985 г. она доберется только до орбиты Юпитера (5,20 а. е. от Солнца). Еще почти год уйдет на то, чтобы приблизиться к орбите Марса (1,52 а. е.), а затем всего через 33 сут она будет уже на расстоянии орбиты Земли (1 а. е.). Пройдет еще немногим более месяца, и комета по широкой дуге достигнет перигелия. Скорость ее движения, стремительно возрастая под действием солнечного тяготения, к этому моменту достигнет 54,55 км/с, а ведь в конце 40-х годов, когда комета находилась в афелии своей орбиты, эта скорость по отношению к Солнцу составляла всего 0,91 км/с.

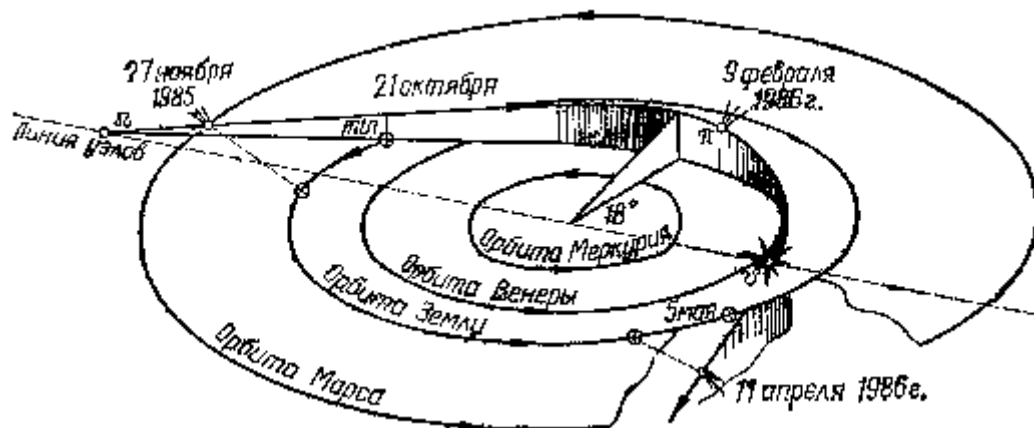


Рис. 7. Перигелийный участок орбиты кометы Галлея. Показаны положения Земли и кометы в моменты их наибольших сближений 27 ноября 1985 г. и 11 апреля 1986 г., а также момент прохождения кометой перигелия 9 февраля 1986 г. (звездочкой отмечен район предполагаемой встречи с космическими аппаратами)

К сожалению, условия видимости кометы Галлея в ожидаемом ее появлении вблизи Солнца будут самыми неблагоприятными для наблюдений за все последние 2000 лет (рис. 7). Тем не менее можно надеяться, что благодаря использованию современной аппаратуры эти наблюдения принесут большую пользу, нежели за всю предыдущую историю астрономии.

Поведение таких активных комет, к каким относится комета Галлея, предсказать трудно. Подобные кометы часто преподносили сюрпризы. Достаточно вспомнить, как обманула надежды астрономов комета Когоутека в 1974 г., обещавшая, как думали, стать самой яркой кометой века. Тем не менее предварительные оценки блеска кометы Галлея, размеров ее головы и хвоста полезны при планировании наблюдений, если даже они не слишком точны. Коррективы можно внести по ходу дела. Такие предварительные оценки сделаны в настоящее время рядом исследователей и лишь слегка различаются между собой.

Мы приведем здесь те, которые основаны на простом предположении, что активность кометы на том или ином гелиоцентрическом расстоянии будет точно такой же, как во время появления в 1910 г. При этом учтено, что у кометы Галлея, как и у многих других комет, наблюдалось систематическое расхождение в блеске до и после прохождения перигелия (рис. 8).

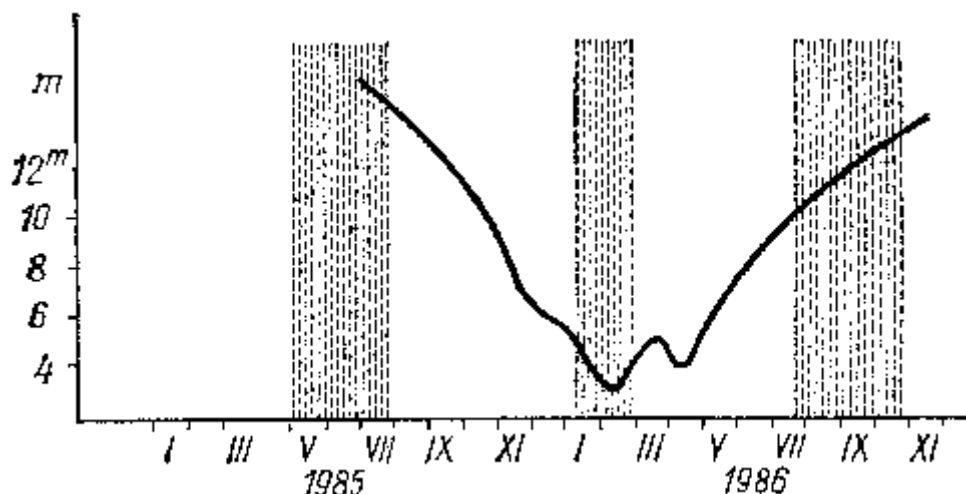


Рис. 8. Ожидаемое изменение видимой звездной величины кометы Галлея в 1985 – 1986 гг. (заштрихованы периоды, когда комета недоступна наблюдениям)

Ожидается, что в конце 1984 г. комета станет доступна уже многим крупным телескопам, а в ноябре 1985 г. – даже в бинокль. 27 ноября она окажется на минимальном расстоянии от Земли – 0,62 а. е. После этого расстояние между Землей и кометой увеличится, но ее блеск еще будет расти из-за того, что комета, приближаясь к перигелию, становится все активнее. В декабре 1985 г. она должна быть видна невооруженным глазом. 9 февраля 1986 г. около 15 ч по московскому зимнему декретному времени комета Галлея пройдет перигелий.

Земля в это время будет находиться по другую сторону от Солнца, и комета, проецируясь на дневное небо в окрестностях Солнца, в это время не будет видна земным наблюдателям, а расстояние ее от Земли достигнет почти 1,6 а. е. Но вскоре после этого угловое расстояние кометы от Солнца начнет возрастать, и комета Галлея будет всходить перед рассветом. По-прежнему оставаясь слабой из-за большого расстояния от Земли, она вследствие благоприятных условий проецирования на небо как раз в это время развернет хвост длиной 20 – 40°. Однако теперь комета будет находиться далеко к югу от небесного экватора, и жители северных районов нашей страны смогут любоваться лишь ее хвостом. Зато в Австралии комета будет видна вблизи зенита и обещает быть впечатляющей.

В это время начнется второе сближение Земли с кометой. Двигаясь навстречу друг другу, они 11 апреля 1986 г. пройдут на расстоянии 0,42 а. е. друг от друга. К этому времени комета удалится от Солнца на 1,31 а. е. и активность ее спадет. В конце апреля положение кометы на небе станет благоприятнее для жителей северных районов из-за более раннего ее восхода. Но она уже ослабевает, и у нее останется совсем короткий хвост длиной около 5°. В июне 1986 г. комета еще будет видна по вечерам в созвездии Льва, а потом скроется в вечерних сумерках.

Вероятно, за кометой Галлея удастся проследить до столь же больших расстояний, как в период открытия. Она удалится на расстояние 11 а. е. от Солнца в августе 1990 г. Затем комета исчезнет, удаляясь в афелий, и вернется к Солнцу только лишь в 2061 г. Лишь самые юные любители астрономии могут увидеть ее еще раз.

## ПРОЕКТЫ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Любая комета – заманчивый объект для космических исследований. Кометы резко отличаются от всего, что было исследовано с помощью космических аппаратов до сих пор. Но самое главное – они состоят из древнейшего вещества, пошедшего на постройку Солнечной системы. Непосредственный космический эксперимент может ответить на

вопросы о происхождении комет и самой Солнечной системы, рассказать о структуре и процессах формирования кометных льдов из межзвездной пыли и, наконец, может много поведать о поведении летучих веществ в открытом космосе.

Для космических исследований нужна была бы молодая, яркая, активная комета. Такие кометы появляются внезапно и проносятся по внутренним районам Солнечной системы с огромной скоростью. Успеть подготовить проект исследований для такой кометы и осуществить его, пока комета находится в перигелийной части своей орбиты, невозможно. Подготовка космического эксперимента – длительная процедура, требующая, помимо всего прочего, великолепного знания кометной орбиты. Пришлось пойти на компромисс и выбрать комету, в поведении которой можно быть уверенным хоть в какой-то степени.

Комета Галлея, как оказалось, является наиболее подходящим объектом. Она все еще активна и ведет себя как молодая комета, хотя наблюдается уже 2000 лет. Но прежде чем удивляться этому, нужно вспомнить, что вблизи Солнца, где кометы стареют, комета Галлея провела из этих двух тысячелетий не так уж много времени. Кроме того, комета Галлея – единственная большая комета, которую мы ожидаем до конца нашего столетия. Поэтому и стали готовить проекты космических полетов именно к этой комете.

Обратное движение кометы Галлея создает для космического эксперимента своеобразные трудности. Современные технические средства позволяют космическому аппарату покинуть сферу тяготения Земли с небольшой геоцентрической скоростью, порядка 3 – 4 км/с. На столько же скорость аппарата может отличаться от орбитальной скорости Земли, составляющей приблизительно 30 км/с. Поэтому в Солнечной системе космический аппарат будет двигаться вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля с остальными планетами, т. е. в прямом направлении. Это же означает, что, приблизившись к комете Галлея, аппарат окажется движущимся ей почти навстречу. И относительная скорость их движения будет огромной – порядка 80 км/с.

Погасить такую скорость невозможно, и поэтому миссия к комете Галлея будет пролетной. Встреча с кометой окажется краткой, и длительность космического эксперимента составит всего несколько минут. В течение этих минут приборы, установленные на аппарате, должны будут выполнить всю научную программу, ради которой произведен запуск и на подготовку которой затрачены годы. Многие месяцы после старта космического аппарата ученым на Земле придется ждать, сработают ли приборы, не окажутся ли они повреждены во время длительного полета аппарата в открытом космосе.

Планируемые же эксперименты предусматривают многое. И определение размеров, и массы кометного ядра, и его фотографирование, и выяснение физического, химического и изотопного состава газа и пыли в коме, и измерение степени ионизации кометных паров и магнитных полей в окрестностях кометного ядра, а также исследование характера взаимодействия кометной плазмы с солнечным ветром. Поэтому на борту космических аппаратов будут установлены телевизионные камеры для фотографирования кометного ядра, масс-спектрометры для определения вещественного состава, магнитометр, радиокomплекс для радиолокации ядра, комы и хвоста и приема собственного радиоизлучения кометы.

Космический аппарат впервые «увидит» ядро кометы и, проникнув в пределы комы, может быть, сумеет рассмотреть поверхность кометного ядра, подобно тому, как спускаемые аппараты рассматривали поверхность Венеры, скрытую от нас вечными облаками, хотя из-за большого расстояния до поверхности ядра детали будут видны плохо.

Во всех разрабатываемых вариантах полетов к комете Галлея есть сходство, определяемое все теми же техническими возможностями сегодняшнего дня. Небольшая геоцентрическая скорость, сообщаемая аппарату, не позволяет направить его под значительным углом к эклиптике. Поэтому встреча с кометой возможна лишь вблизи одного из узлов кометной орбиты. Технически легче осуществить ее в более близком к

земной орбите нисходящем узле, и встречи с кометой планируются на весну 1986 г., когда комета будет в этом узле.

Европейское космическое агентство готовит проект «Джотто», названный в честь флорентийского художника, оставившего нам в наследство удивительно правдоподобное изображение кометы на одной из своих фресок (Б. Джотто сам видел эту комету в 1301 г.). Запуск планируется на июль 1985 г., а встреча с кометой произойдет 13 марта 1986 г. Основной целью являются наблюдения кометного ядра.

Еще один проект, «Планета-А», разрабатывается в Японии. Предполагается, что будет запущено два аппарата, один из которых предназначен для исследования солнечного ветра вдали от кометы. Основной аппарат стартует в августе 1985 г. и встретится с кометой 8 марта 1986 г. Он должен быть оснащен инструментами, предназначенными для спектрографирования комы и хвоста кометы и для регистрации магнитных полей в окрестностях ядра.

Советские ученые совместно со своими коллегами из стран социалистического содружества, а также Франции, Австрии и ФРГ разрабатывают совместный проект «Вега». В его названии соединены первые буквы названий планеты Венера и кометы Галлея, что отражает многоцелевую направленность эксперимента. Старт намечается на декабрь 1984 г. Первая цель – Венера, аппарат приблизится к ней в июне 1985 г. Здесь от него отделится спускаемый аппарат, который продолжит серию исследований Венеры. Пролетный аппарат совершит в поле тяготения Венеры гравитационный маневр и направится уже к комете Галлея. Правда, до встречи с нею ему придется сделать вокруг Солнца еще один полный виток. Встреча произойдет 6 марта 1986 г. А 9 марта свидание с кометой состоится у второго аппарата той же системы (рис. 9). Руководителем советского проекта является академик Р. З. Сагдеев.

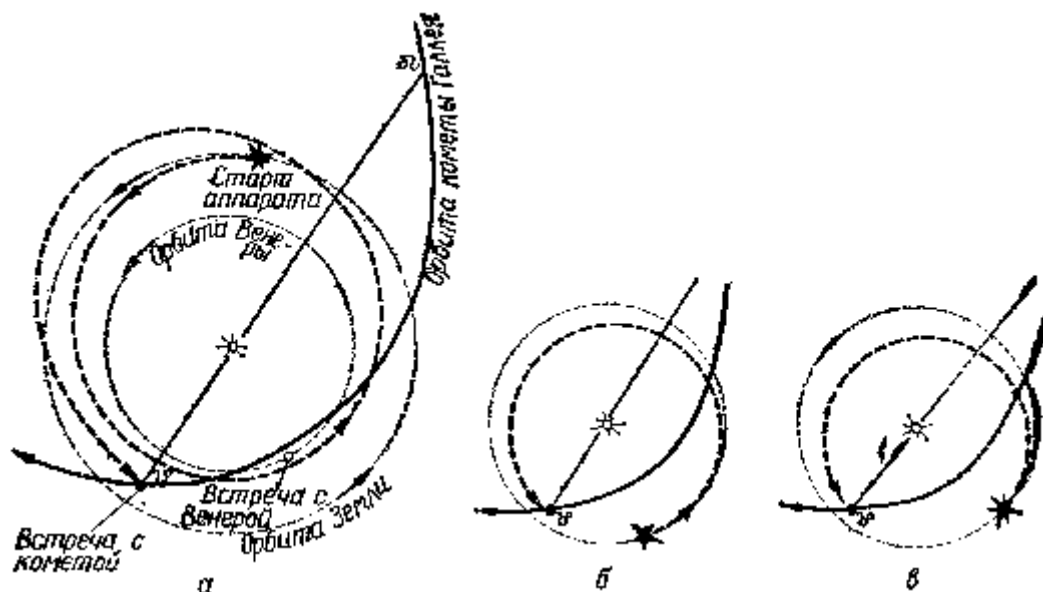


Рис. 9. Траектории полетов космических аппаратов по проектам «Вега», «Джотто» и «Планета-А». Пунктирные линии – орбиты Земли и Венеры. Сплошная линия – орбита кометы Галлея. Звездочкой показан район запуска космического аппарата, точкой – район встречи с кометой

Технические трудности накладывают ограничение на массу научной аппаратуры на борту космических аппаратов. Нет возможности установить на каждом из них весь желаемый комплекс научного оборудования. В этих условиях научное сотрудничество ученых разных стран приобретает особо важное значение. Главное заключается в том, чтобы, не дублируя друг друга, аппараты собрали как можно больше разнообразной

информации о комете. Это позволит сделать новый шаг в понимании природы кометы Галлея и других комет, чем-то похожих на нее и в чем-то отличных.

Американские ученые тоже готовились к встрече с кометой Галлея. В рамках НАСА был разработан весьма интересный проект полета. Исследователи неоднократно обращались к конгрессу США с просьбой субсидировать этот проект. Еще осенью 1981 г., несмотря на то что правительство не только не увеличивало, но все больше сокращало бюджет НАСА, их надежды продолжали теплиться, ведь этот проект оставался последним, не преследовавшим хотя бы параллельно каких-нибудь военных целей.

Через журнал «Астрономи» они обратились к населению с просьбой оказать дополнительную финансовую поддержку проекту, подчеркивая, что следующая возможность исследовать комету Галлея представится человечеству только через 76 лет. Граждане США уже оказывали подобную поддержку проекту «Викинг», предназначенному для исследований Марса: в 1980 г. более 10 тыс. американцев передали НАСА из собственных карманов в среднем по 10 долларов. Но в конце концов конгресс отказал в финансировании важной и интересной научной программы.

## РОЙ ЧАСТИЦ ВДОЛЬ КОМЕТНОЙ ОРБИТЫ

Мириады мельчайших пылинок и более крупных частиц несутся в Солнечной системе во всех направлениях. Одни из них образовались при столкновениях астероидов друг с другом, другие – при разрушении кометных ядер. С тех пор у каждой из них свой путь, своя орбита. В бесконечном хаосе переплетения этих орбит лишь мысленным взором можно увидеть, что движение частиц кое-где упорядочено: небольшая доля их движется по почти параллельным траекториям, образуя очень разреженные, замкнутые эллиптические рои разной формы и размеров, расположенные вдоль орбит существующих или уже распавшихся кометных ядер. Один такой рой тянется вдоль всей орбиты кометы Галлея.

Современные представления о природе кометных ядер позволяют в общих чертах описать процесс формирования подобных роев. Световое давление увлекает из головы в хвост лишь самые мелкие пылинки субмикрометровых размеров, а на более крупные свет не оказывает практически никакого давления: они для него слишком массивны. Да и потоки испаряющихся газов с трудом увлекают их с поверхности ядра, сообщая им сравнительно небольшие скорости (порядка десятка метров в секунду по отношению к ядру). Но это оказывается достаточным, чтобы частицы преодолели ничтожно малые гравитационные силы ядра и потеряли с ним всякую связь. Вряд ли надо добавлять, что частицы оказываются гравитационно не связанными и друг с другом.

С другой стороны, относительные скорости ядра и частиц по сравнению с их орбитальной скоростью малы. Они составляют лишь сотые доли процента орбитальной скорости и не могут сильно сказаться на орбитах частиц. По этой причине частицы продолжают двигаться вместе с кометным ядром практически вдоль той же орбиты, но по квазипараллельным путям. Скорости частиц слегка различны. Поэтому одни частицы все больше обгоняют ядро, другие все больше отстают от него. Со временем они растягиваются вдоль всей кометной орбиты, образуя эллиптический рой. Правда, происходит это медленно. На орбите кометы Галлея на «замыкание» роя требуется около 1000 лет.

Одновременно происходит и утолщение роя. Главную роль здесь играют планетные возмущения, которые слегка по-разному действуют на разные частицы (из-за различий в условиях сближений частиц с планетами). Рой приобретает сложную структуру, состоящую из множества переплетающихся, непрерывно движущихся и все время меняющих свою форму более тонких, иногда почти нитевидных роев. Чем дольше живет рой, тем сильнее он растрепан планетными возмущениями, тем он толще и тем меньше в нем пространственная плотность частиц. Но пока существует кометное ядро, его орбита

является осью роя, где поддерживается более высокая пространственная плотность частиц за счет пополнения новыми, молодыми частицами.

Самые молодые частицы сосредоточены на участке орбиты, примыкающем к кометному ядру. Именно здесь должна быть наиболее высокая пространственная плотность частиц. Поэтому на космических аппаратах «Вега» и «Джотто» предусматривается специальная защита от частиц. «Планета-А» не подойдет близко к ядру, и для нее такая защита не предусматривается.

Следует сказать, что пребывание частиц в открытом космосе должно приводить к изменению их физико-химических свойств. Еще в начале 60-х годов группа американских исследователей (Дж. Венер, К. Кеннайт и Д. Розенберг) поставили опыты по облучению мелких стальных шариков ионами ртути, разогнанными в ускорителях до больших скоростей. После облучения шарики оказались буквально изъедены мельчайшими кратерами, возникавшими при падении ионов. Падение каждого иона вело к микровзрыву и распылению вещества. Но часть вещества не покидала шарики, мигрировала по их поверхности, цементируя их остатки и сваривая в единый агрегат.

Нечто подобное может происходить и с частицами в межпланетном пространстве под действием солнечных корпускулярных потоков: они должны становиться прочнее. Кроме того, элементы с разной степенью летучести должны теряться в разной степени. В связи с этим исследование с помощью космических аппаратов самых молодых частиц в ближайших окрестностях кометного ядра представляет особый интерес.

В отличие от тонкой пыли в хвосте кометы рой частиц вдоль ее орбиты, сформированный более крупными частицами, невидим из-за гораздо более низкой пространственной плотности этих частиц. Эти частицы обнаруживают себя лишь тогда, когда влетают в оказавшуюся на их пути атмосферу Земли и на доли секунды вспыхивают в виде «падающих звезд» – метеоров. Поэтому их называют метеорными частицами, или метеорными телами<sup>13</sup>, а сам рой – метеорным роем. Изучение же метеоров, с одной стороны, дает возможность разобраться в структуре роя и его эволюции, а с другой – это еще один путь выяснить состав и формы существования нелетучих компонентов ледяного ядра.

<sup>13</sup> В настоящее время весьма распространенным названием для этих частиц является метеороиды. – **Прим. ред.**

Несмотря на то что наблюдения метеоров систематически ведутся на разных обсерваториях многих стран мира, мы только-только начинаем понимать структуру метеорных тел. Предполагают, что метеорные тела, имеющие миллиметровые и сантиметровые размеры, формируются на поверхности ледяного ядра кометы, где по мере испарения летучих веществ скапливаются не увлекаемые ими сразу каменистые, нелетучие вещества. Тающий весной и постепенно покрывающийся грязью снег может быть наглядным, хотя и очень приближенным аналогом поверхности кометного ядра.

Всего в нескольких случаях удается наблюдать потоки метеоров, связанные с кометами. Причина этого заключается в том, что лишь редкие кометы пересекают плоскость эклиптики вблизи земной орбиты (а это необходимо для встречи метеорного роя с Землей). Другие же кометы, порождая рой, распались и больше не наблюдаются. Комета Галлея и в этом отношении является исключительной: вблизи земной орбиты располагаются оба узла кометной орбиты. И Земли дважды в год погружается в рой, созданный кометой Галлея.

Один раз это происходит в начале мая. Тогда незадолго до рассвета, как только из-за горизонта поднимается созвездие Водолея, по небу начинают бесшумно скользить необычайно красивые, быстрые и яркие метеоры. Белые, очень длинные, они нередко вспыхивают и оставляют плотные следы, которые, повинувшись воздушным течениям, медленно дрейфуют на фоне звезд.

Как уже говорилось, метеорные тела роя движутся по квазипараллельным траекториям. Наблюдателю отрезки их траекторий, высвеченные метеорами, из-за перспективы кажутся исходящими из одной точки. Если мысленно продолжить назад видимые пути метеоров, то они пересекутся в радианте – в пределах небольшой площадки, размеры которой определяются степенью непараллельности метеоров в пространстве и наблюдательными ошибками. Радиант рассматриваемого роя расположен в созвездии Водолея, и от латинского названия созвездия (Aquarius) этот метеорный поток получил название Акварид. Неподалеку от радианта расположены звезды  $\eta$  и  $\gamma$  Водолея. Поэтому поток часто называют еще  $\eta$ -Акваридами или  $\gamma$ -Акваридами.

Аквариды наблюдаются в нисходящем узле орбиты роя. Ежегодно около 5 мая Земля проходит на минимальном расстоянии от орбиты кометы, равном 0,064 а. е. В это время и наблюдается максимум активности потока. Но даже в это время пространственная плотность метеорных тел, встречающихся с Землей, ничтожно мала: в кубе с ребром 1000 км находится всего несколько частиц миллиметровых и более крупных размеров. По мере удаления от оси метеорного роя Земля оказывается во все более разреженных его областях и метеоры вспыхивают на небе все реже. Наблюдать Аквариды удастся с 30 апреля – 1 мая и вплоть до 10 – 11 мая.

Второй раз наша Земля погружается в рой кометы Галлея во второй половине октября, и тогда можно наблюдать поток Орионид с радиантом в созвездии Ориона. Метеоры обоих потоков сходны по виду. В период действия Орионид Земля пересекает еще более далекую от кометной орбиты и еще более разреженную часть метеорного роя, чем в мае. Это происходит вблизи восходящего узла орбиты. Минимальное расстояние от Земли здесь составляет 0,16 а. е., а Земля на таком расстоянии оказывается примерно 21 октября. Тогда же наблюдается максимум активности Орионид. Пространственная плотность метеорных тел в это время оказывается примерно в 7 раз меньше, чем во время максимума Акварид. Наблюдать Ориониды удастся с 15 по 26 октября, если не помешает осенняя непогода.

Как и другие метеоры, члены Акварид и Орионид порождаются твердыми частицами, влетающими в земную атмосферу со скоростью, лишь немного меньшей 70 км/с. Пробивая себе дорогу сквозь верхние слои атмосферы, частицы нагреваются и испаряются. Их пары, сталкиваясь с молекулами и атомами атмосферных газов, светятся. И хотя в световую энергию переходит очень небольшая доля (около 0,5%) кинетической энергии частицы, она оказывается достаточной, чтобы частица в тысячные доли грамма породила метеор, видимый простым глазом. Так и обнаруживают себя частицы, некогда находившиеся] на поверхности ледяного ядра кометы, а потом долго двигавшиеся самостоятельно.

Длительные наблюдения потоков Акварид и Орионид позволили чехословацкому астроному А. Хайдуку недавно получить оценку общей массы всех частиц роя кометы Галлея. Она составляет около  $5 \cdot 10^{11}$  т.

## ЭВОЛЮЦИЯ ОРБИТЫ

Мы уже отмечали, что орбита кометы и орбиты метеорных тел под действием планетных возмущений не остаются неизменными. Своеобразное расположение орбиты кометы Галлея предохраняет и комету и рой в течение очень больших промежутков времени от слишком тесных сближений с планетами-гигантами, а вместе с тем и от катастрофических изменений их орбит. В настоящее время в зоне, где движутся планеты-гиганты, орбита кометы Галлея уходит глубоко под плоскость эклиптики. Поэтому основное влияние на эволюцию орбиты кометы и роя оказывают так называемые вековые возмущения со стороны планет. Обычно под действием таких возмущений орбита прецессирует, подобно волчку, но очень медленно, затрачивая на один оборот многие тысячи лет. Большая полуось орбиты остается при этом неизменной, а эксцентриситет,



перигелийное расстояние и наклонение меняются синхронно. Однако японский астроном И. Козаи установил, что в эволюции орбиты кометы Галлея существует особенность; комета не совершает полного оборота, а лишь покачивается, так что аргумент перигелия пробегает значения от  $47$  до  $133^\circ$  то в одну, то в другую сторону. Полный цикл длится около 20 000 лет. В крайних положениях орбита проходит очень близко от орбиты Юпитера, и комета может приближаться к нему на расстояние всего 0,24 а. е., испытывая сильные возмущения со стороны этого гиганта Солнечной системы. Эволюция кометы Галлея (и ее роя) недавно была подробно исследована в Институте астрофизики АН ТаджССР П. Б. Бабаджановым и Ю. В. Обрубовым. С достаточной степенью точности можно считать, что орбита роя эволюционирует так же, как орбита кометы. Интервал исследований охватывал прошедшие 4000 лет.

Оказалось, что за это время эволюция орбиты не зашла далеко (рис. 10). Линия узлов повернулась всего на  $45^\circ$ , а линия апсид и того меньше – лишь на  $7^\circ$ . Около 2000 лет назад, когда линия узлов была перпендикулярна линии апсид, наклонение орбиты достигало экстремального значения  $164^\circ$ , впрочем, мало отличающегося от современного значения ( $162^\circ$ ). Мало изменились и эксцентриситет орбиты, и перигелийное расстояние. Зато резко менялись условия взаимного расположения роя и Земли. Так, восходящий узел кометной орбиты (и роя) 4000 лет назад находился на расстоянии 0,941 а. е. от Солнца – внутри земной орбиты. Расстояние между орбитами кометы и Земли было тогда примерно 0,06 а. е., и Земля проходила над орбитой роя, тогда как теперь проходит под ним. Расстояние медленно уменьшалось, и около 3500 лет назад орбита кометы пересекла орбиту Земли в этом узле. Затем узел вышел за пределы земной орбиты, приблизился к орбите Марса<sup>14</sup>, пересек ее и к настоящему времени удалился от Солнца на расстояние 1,775 а. е. Постепенно узел удалится и от орбиты Марса, двигаясь к орбите Юпитера, по мере того как вращается линия узлов.

<sup>14</sup> В наши дни Марс проходит от орбиты роя гораздо ближе, чем Земля, и частицы вспыхивают в его атмосфере метеорами гораздо чаще, чем в атмосфере Земли.

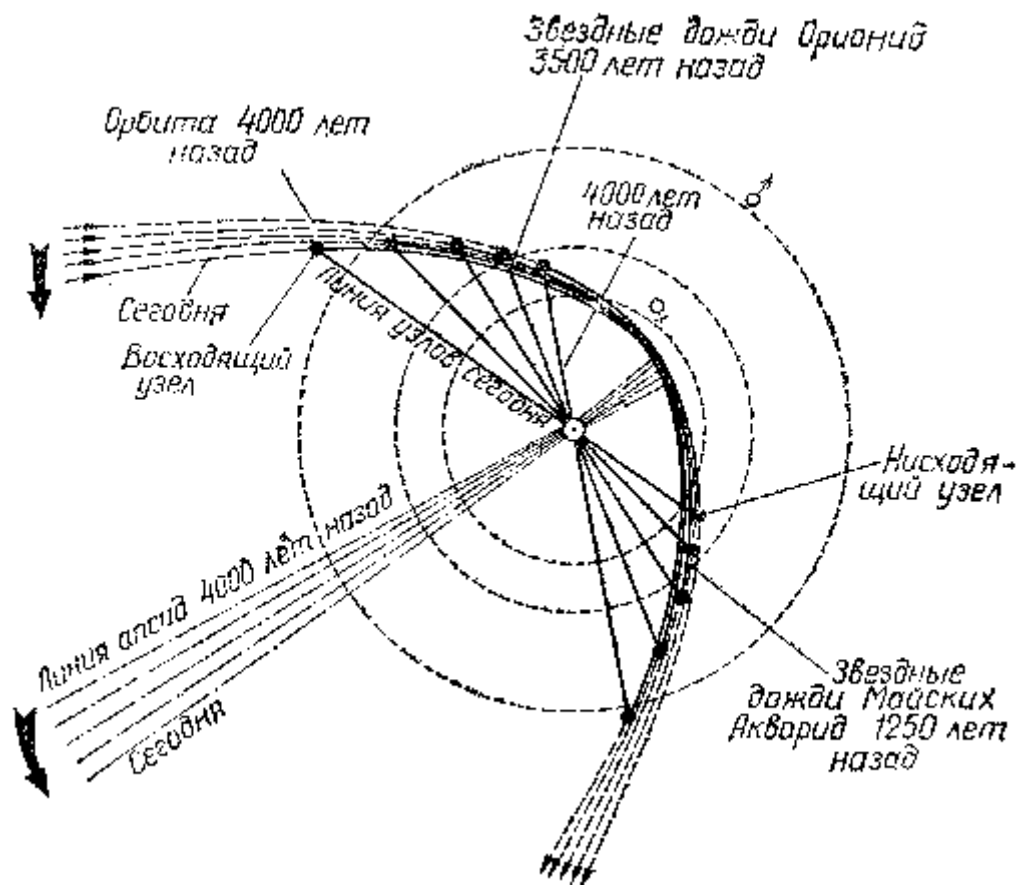


Рис. 10. Эволюция орбиты кометы Галлея и ее метеорного роя на протяжении последних 4000 лет

Нисходящий узел орбиты, напротив, в прошлом был расположен вне земной орбиты и 4000 лет назад находился на расстоянии 1,660 а. е. от Солнца. Условия встречи с Акваридами были тогда примерно такими же, как теперь с Орионидами. Медленно приближаясь к земной орбите, нисходящий узел пересек ее приблизительно 1300 лет назад и вошел внутрь орбиты Земли. В настоящее время он находится на расстоянии 0,871 а. е. от Солнца и продолжает приближаться к нему, удаляясь от земной орбиты, в направлении к перигелию кометной орбиты.

Условия наблюдений обоих потоков в будущем, на протяжении многих тысячелетий, будут ухудшаться. Ориониды постепенно и вовсе исчезнут, так как рой будет проходить слишком далеко от Земли. Затем метеоры перестанут вспыхивать и в атмосфере Марса. Аквариды сильно ослабеют. Уходя от земной орбиты, рой в нисходящем узле будет давать метеоры в атмосфере Венеры.

Понятно, что в тот момент, когда узел кометной орбиты находится на орбите Земли, кометная и земная орбиты пересекаются. Именно в это время должны были наблюдаться «звездные дожди». Акварид 1300 лет назад (примерно в 700 г.), а у Орионид – 3400 лет назад (примерно в 1400 г. до н. э.). Пока узел находится близко от земной орбиты, расстояние до оси роя из-за малого угла между плоскостями орбит остается небольшим. Поэтому «звездопады» могли наблюдаться на протяжении десятилетий.

За наблюдениями Орионид до 1400 г. до н. э. проследить не удалось из-за скудности записей в летописях (первые упоминания Орионид, найденные в китайских хрониках, относятся к 585 г.), а Аквариды прослеживаются до начала 400-х годов. Известны обильные «звездопады» Акварид в 443, 466 и 530 гг. Расстояние от кометной орбиты тогда было на порядок меньше, чем теперь. Эти сведения в китайских источниках разыскал Т. Эуанг лишь недавно (в 1977 г.). Быть может, удастся обнаружить и

свидетельства еще более обильных Акварид около 700 г. Ориониды тогда оставались умеренно активными. Высокая активность потока отмечена лишь в 585 г.

Завершая небольшой обзор сведений о комете Галлея и ее метеорном рое, уместно поставить вопрос: как долго существует комета Галлея на своей орбите и сколько еще она может просуществовать?

Ответить на этот трудный вопрос попытались два астронома: Б. Макинтош из Канады и А. Хайдук из Чехословакии. Пересмотрев все имеющиеся данные по наблюдениям Акварид и Орионид, теоретические сведения о скорости испарения ядра кометы и пополнения роя частицами, а также результаты расчетов эволюции орбиты, они пришли к выводу, что комета совершила около 1500 оборотов вокруг Солнца, в течение которых ее орбита испытала 5 циклов-качаний, о которых мы говорили раньше. Возможно, что перед первым циклом в момент тесного сближения с Юпитером комета и была переведена на свою орбиту в результате катастрофического изменения предыдущей орбиты, неузнаваемо отличной от современной.

За один оборот комета теряет около  $3 \cdot 10^8$  т вещества. Если ее масса составляет  $6 \cdot 10^{10}$  т (а возможно, и меньше), то комета находится в последнем цикле качания орбиты, но к Солнцу она вернется еще многие десятки раз.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Всехсвятский С. К. Кометы в Солнечной системе. М., Знание, 1974.

Добровольский О. В. Кометы. М., Наука, 1966.

Левин Б. Ю. Кометы. – В кн.: Физика космоса. Советская энциклопедия, 1976.

Томица К. Беседы о кометах. М., Знание, 1982.

Чурюмов К. И. Кометы и их наблюдение. М., Наука, 1980.

## ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЙ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ

**Несколько слов из истории ИHW.** 76-летняя ритмичность появления кометы Галлея на земном небосклоне и ее значительная яркость, необычная для периодических комет, уже с первого предсказанного возвращения в 1758 – 1759 гг. пробудила у ученых мысль об объединении усилий для всестороннего изучения этой кометы. Первая научная программа астрономических наблюдений и исследований кометы Галлея была сформулирована В. Я. Струве для ее появления в 1835 – 1836 гг. Итогом этой программы было создание Ф. А. Бредихиным классической теории образования и развития кометных голов и хвостов. К появлению кометы Галлея в 1909 – 1911 гг. такие известные астрономы, как Барнард, Комсток, Перрайн и другие в США, К. Д. Покровский, А. А. Михайлов, К. Ф. Баев и другие в России, провели ряд важных мероприятий, имеющих целью организацию Международной службы кометы Галлея еще в 1910 г. Во многие обсерватории мира были разосланы подробные инструкции по наблюдению кометы, ученые также выступили с обращением к любителям астрономии принять активное участие в наблюдениях кометы с помощью имеющихся у них наблюдательных средств – бинокляров, телескопов и др.

Это в значительной мере способствовало бы получению довольно большого наблюдательного материала по комете Галлея. Однако координацию всех исследований кометы Галлея в те времена осуществить было довольно трудно. В те годы еще не существовало международных научных союзов, в том числе одного из первых – Международного астрономического союза, объединяющего в настоящее время всех ученых мира в их стремлении познать тайны Вселенной. И только к предстоящему появлению кометы Галлея была разработана детальная международная программа ее

наблюдений и исследований как с Земли, так и из космоса, в которой принимают участие астрономы из всех стран мира.

Идея о разработке такой программы была впервые высказана американским астрономом Л. Фридманом, сотрудником Лаборатории реактивного движения (ДжПЛ) Калифорнийского технологического института. Летом 1979 г. он обратился к руководству НАСА с предложением о разработке программы наблюдений кометы Галлея при ее появлении в 80-е годы нашего столетия. Предложение Фридмана было одобрено, и он вместе с тремя астрономами Дж. Бергстралхом, Д. Йомансом и Р. Ньюберном приступил к разработке проекта этой программы. Ими были изучены разные аспекты проблемы и подготовлен проект Международной программы кометы Галлея (ИНВ). После многочисленных его обсуждений и уточнений на различных международных астрономических конференциях, в том числе и на XVIII Генеральной ассамблее Международного астрономического союза (МАС) в Греции в 1982 г., проект получил всеобщую поддержку. Была принята специальная резолюция МАС об установлении в 1985 – 1987 гг. специальных Дней кометы Галлея, во время которых будут выполняться всевозможные скоординированные наблюдения кометы, и о признании ИНВ как Международной программы наблюдений кометы Галлея.

**Цели и задачи ИНВ.** Целями программы ИНВ являются: 1) стимулирование, поощрение и координация всех научных наблюдений и исследований кометы Галлея во время ее предстоящего появления; 2) всемерное содействие стандартизации методов наблюдений и используемой для этой цели научной аппаратуры; 3) обеспечение и контроль за правильной записью данных и результатов наблюдений по единому образцу, 4) получение, использование и распределение всей информации о комете среди заинтересованных а ее исследованиях ученых и широкое предоставление необходимой информации для прессы и широкой общественности; 5) стимулирование разработок и изготовления новых научных приборов для наблюдений кометы Галлея.

Международная программа наблюдений кометы Галлея призвана активно пропагандировать изучение кометы Галлея, а также обеспечить тесные контакты между различными направлениями исследований. Большое значение для выполнения всей программы ИНВ будут иметь наблюдения и исследования кометы, проведенные непосредственно внутри ее головы, вблизи ядра с помощью специальных научных космических зондов. Основные же усилия ИНВ будут направлены на координацию наземных наблюдений как путем прямого фотографирования, так и с использованием чувствительной электроннографической аппаратуры (типа ПЗС-матриц и др.), с помощью которой будут решаться самые разнообразные научные задачи.

В настоящее время структура ИНВ окончательно утверждена. Во главе ИНВ стоят два соруководителя – Р. Ньюберн (США) и Ю. Рае (ФРГ), возглавляющих два центра ИНВ: в Пасадене (Западное полушарие) и в Бамберге (Восточное полушарие). Для сети ИНВ в Европе, Азии и Африке оперативная связь будет осуществляться через Бамберг, для наблюдательной сети Западного полушария, включая также Японию, Филиппины, Индонезию, Австралию и Новую Зеландию, – через Пасадену. Оба соруководителя ИНВ один раз в неделю связываются друг с другом по телефону и дважды в году встречаются персонально для согласования ряда вопросов по ИНВ и решения различных проблем, возникающих в процессе деятельности ИНВ. Все данные по ИНВ будут накапливаться в компьютерах в Пасадене и Бамберге.

Руководящий центр ИНВ отвечает за публикацию полного архива данных по комете Галлея, который будет издан в Пасадене и передан в Бамберг. Архив данных по комете Галлея будет содержать только редуцированные (калиброванные) данные без их интерпретации. Интерпретация данных наблюдений кометы Галлея будет публиковаться в научных журналах в обычном порядке.

ИНВ планирует подготовить и опубликовать весь архив по комете Галлея к концу 1989 г. В качестве периодических изданий ИНВ в Пасадене будет регулярно издаваться «ИНВ

Ньюс Летте» и «Бюллетень любителя астрономии ИНУ». Редактором обоих изданий назначен С. Эдберг, который в 1982 г. подготовил специальное пособие (учебник) по различным видам любительских наблюдений. Это пособие готовится к переводу на русский язык в издательстве «Мир» для издания в 1985 г.

Все вопросы организации ИНУ ее руководящие центры согласовывают со специальной инициативной группой МАС, куда входят 22 астронома из 10 стран мира (в том числе от СССР член-корреспондент АН УССР, директор ГАО АН УССР Я. С. Яцкив и профессор А. Г. Масевич, зам. председателя Астросовета АН СССР).

Весьма важным является участие в ИНУ представителей космических организаций от тех стран, которые планируют осуществить полет космического аппарата к комете Галлея:

Агентство	Проект	Представитель
Интеркосмос (СССР)	«Вега»	Р. З. Сагдеев
ЕСА	«Джотто»	Р. Рейнард
ИСАС (Япония)	«Планета-А» и М Т5	Х. Хирао
НАСА (США) *	ИСЕЕ-3, космический телескоп, ОСО-3	Р. Фаркхэр, Р. А. Браун

\* США планирует осуществить космическую миссию к комете Джакобини-Циннера в 1985 г. с помощью ИСЕЕ-3.

Руководство ИНУ предполагает, что все данные, полученные в результате космического зондирования кометы, также будут включены в архив кометы Галлея.

**Направления исследований кометы Галлея.** Наземные наблюдения кометы Галлея будут осуществляться в рамках основных направлений исследований кометы, возглавляемых специалистами-координаторами ИНУ.

I. АСТРОМЕТРИЯ. Координаторы: Д. Йоманс (США), Р. Вест (Дания) и Р. Харрингтон (США).

Астрометрическая сеть станций ИНУ должна обеспечить точные астрометрические (позиционные) наблюдения кометы и определение звездных величин ядра, необходимых для вычисления элементов орбиты и эфемерид, для оценки фотометрического поперечного сечения ядра кометы, а также для определения реактивных сил, действующих на ядро кометы и возникающих в результате истечения потоков газа. Астрометрические наблюдения будут производиться от момента переоткрытия кометы Галлея вплоть до возможного последнего ее наблюдения после перигелия.

Позиционные наблюдения будут оперативно использоваться для вычисления улучшенной кометной орбиты и эфемериды, что важно как для обеспечения всей программы наземных наблюдений кометы, так и для обеспечения трех космических миссий к комете: советской, европейской и японской. Поскольку комета Галлея будет находиться в соединении с Солнцем с середины января по конец февраля 1986 г., а космические зонды будут пролетать вблизи ядра кометы в интервале с 6 по 13 марта, особую ценность для успеха этих космических экспериментов будут иметь точные положения кометы, полученные за одну-две недели до подлета космических аппаратов к ядру кометы, т. е. сразу после выхода кометы из соединения с Солнцем.

Для достижения этой важной цели астрометрическая сеть ИНУ большие надежды возлагает на опытнейших наблюдателей-астрометристов. Планируется создать специальный опорный каталог звезд для определения координат кометы и осуществлять оперативную передачу точных положений в центры по вычислению эфемерид.

II. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. Координаторы: Д. Брандт (США), М. Ниднер (США) и Ю. Рае (ФРГ).

Цели службы крупномасштабных явлений в комете заключаются в следующем: 1) обеспечить получение изображений кометы хорошего временного и пространственного

разрешений, необходимых для детального изучения быстрых изменений в плазменном хвосте; 2) сопоставить явления в плазменном кометном хвосте с динамическими характеристиками солнечного ветра для уверенного использования комет в дальнейшем в качестве естественных зондов солнечного ветра; 3) получить в комбинации со снимками с пролетной траектории КА объемные изображения кометы (первые стереоскопические изображения кометы); 4) получить данные об абсолютном распределении пылевых частиц и газа в зависимости от гелиоцентрического расстояния и от расстояния до ядра кометы с целью проверки существующих теоретических моделей кометных головы и хвоста и их уточнения или построения новых, более реальных моделей на основе полученных наблюдательных данных; 5) детально изучить развитие кометных форм с целью обнаружения явлений типа отрыва кометного хвоста и др. и установления физического механизма, управляющего крупномасштабными явлениями в кометах; 6) создать международный атлас кометы Галлея.

III. ОКОЛОЯДЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. Координаторы: С. Ларсон (США), З. Секанина (США) и Ю. Рае (ФРГ).

Так как ядро кометы Галлея структурно неоднородно, оно является источником асимметричного истечения газов с его поверхности. Эта асимметрия отражается в анизотропном распределении пыли и газа в атмосфере кометы и наблюдается в виде дискретных структур комы, таких, как галосы, лучи, оболочки и др., которые существенно изменяют свой вид с течением времени. Анализ эволюции этих структур позволяет сделать вывод о крупномасштабной морфологии поверхности ядра кометы, о его теплофизических свойствах, об ориентации оси вращения в пространстве, а также о периоде вращения ядра кометы вокруг своей оси. Цель службы исследования околоядерных явлений в комете заключается в получении высококачественных изображений внутренних областей комы, характеризующихся высоким временным и пространственным разрешениями.

IV. ФОТОМЕТРИЯ И ПОЛЯРИМЕТРИЯ. Координаторы: М. А'Хирн (США), В. Ваньсек (ЧССР) и У. Кампинс (Венесуэла).

Одна из главных целей этой службы заключается в совместном анализе наземных электрополяриметрических наблюдений кометы с подобными данными, полученными с пролетной траектории космических зондов. На основе наземных поляризационных наблюдений будет определяться фазовая функция поляризации и блеска для разных длин волны с целью установления природы пылевых частиц кометной атмосферы. Непрерывное поляриметрическое патрулирование кометы Галлея позволит установить следующие закономерности, важные для понимания природы пылевых атмосфер и поверхностного слоя ядра кометы: 1) зависимость степени поляризации от длины волны для разных фазовых углов; 2) зависимость угла инверсии от длины волны; 3) максимальное значение аномальной степени поляризации; 4) возможность появления вторичных максимумов на фазовых кривых блеска (явление радуг); 5) устойчивость фазовых функций с течением времени и обнаружение их возможной эволюции, а также быстрых изменений при вспышках блеска; 6) путем спектрополяриметрических наблюдений в эмиссии натрия (линии  $D_1$  и  $D_2$ ) получение новой информации о параметрах магнитного поля в голове кометы; 7) обнаружение круговой поляризации и исследование ее особенностей в кометах.

V. СПЕКТРОСКОПИЯ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ. Координаторы: С. Вайкоф (США), П. Вехингер (США) и М. Фесту (Франция).

Цель службы – получить тщательно прокалиброванные спектрограммы с высоким спектральным и пространственным разрешением (угловые секунды), а также многочисленные спектрограммы с меньшим разрешением, но охватывающие значительный интервал гелиоцентрических расстояний, чтобы в дальнейшем: 1) определить скорости производительности отдельных газовых эмиссий и ее изменения с изменением гелиоцентрического расстояния; 2) получить профили линий для анализа

условий возбуждения и оценки роли ударного возбуждения; 3) изучить дифференциальные движения в коме и выяснение их природы; 4) отождествить неизученные эмиссионные полосы и обнаружить новые типы эмиссии; 5) осуществить поиск нестационарностей в спектрах с максимально доступным разрешением; 6) выяснить природу структурных деталей головы путем их спектрографирования.

VI. РАДИОАСТРОНОМИЯ. Координаторы: В. Ирвин и Ф. Шлерб (США), Э. Жерар (Франция), Р. Браун (Австралия), П. Годфрей (Австралия).

Целями радиоастрономических наблюдений кометы Галлея являются: 1) поиск собственного теплового излучения ядра в микроволновой области; 2) спектроскопия кометных молекул в сантиметровом и дециметровом диапазонах с целью выяснения механизма накачки излучения гидроксила; 3) сопоставление спектров радикалов (СН, CN) с оптическими; 4) обнаружение новых типов эмиссий; 5) поиск аминокислот, цианополиинов и других сложных органических соединений. Радарные же наблюдения позволят получить ценные данные о диаметре ядра кометы, его вращении, а также о физической природе поверхности ядра и др.

VII. ИНФРАКРАСНАЯ АСТРОНОМИЯ. Координаторы: Р. Кнакке (США) и Т. Энкренац (Франция).

Получение тепловых характеристик, температуры и энергии теплового излучения пылевого облака в области от 1 до 500 мкм с целью выяснения его природы; определение размеров, состава и пространственного распределения пыли в функции от гелиоцентрического расстояния и др.

VIII. Особое внимание в программе ИНУ уделяется организации и координации любительских наблюдений кометы Галлея; специалистом-координатором этих наблюдений является С. Эдберг (США), который подготовил и издал специальное руководство для проведения любительских наблюдений кометы.

**Советская программа наземных исследований кометы Галлея (СОПРОГ).** Учитывая большой вклад отечественных ученых в исследование комет, в том числе кометы Галлея, а также важность активного участия советских ученых в предстоящих исследованиях кометы Галлея, по инициативе Астросовета АН СССР в нашей стране при участии ведущих специалистов в области кометной астрономии была разработана комплексная программа наземных исследований кометы Галлея (СОПРОГ). В разработке программы непосредственное участие принимали секции «Астрометрия» и «Солнечная система» Астросовета АН СССР. Головным учреждением по этой программе назначена Главная астрономическая обсерватория (ГАО) АН УССР, известная своим существенным вкладом в кометную астрономию, начиная с основателя ГАО АН УССР члена-корреспондента АН СССР А. Я. Орлова.

Для руководства программой СОПРОГ (являющейся частью международной программы ИНУ) создана специальная комиссия под председательством Я. С. Яцкива – директора ГАО АН УССР, в состав специальной комиссии, являющейся высшим органом по организации наземных исследований кометы Галлея в СССР, вошли следующие специалисты: О. В. Добровольский (заместитель председателя СОПРОГ по астрофизической сети, Душанбе); С. П. Майор (заместитель председателя по астрометрической сети, Киев); Л. М. Шульман (заместитель по теоретическим моделям, Киев); К. И. Чурюмов (координатор по визуальным наблюдениям любителей астрономии и связи с прессой, Киев); члены специальной комиссии СОПРОГ: Э. А. Аким (Москва), Ю. В. Батраков (Ленинград), С. К. Всехсвятский (Киев) и А. Г. Масевич (Москва).

В наблюдениях кометы Галлея по программе СОПРОГ примут участие все ведущие советские астрономические обсерватории и учреждения. В рамках советской программы наземных исследований кометы Галлея также планируется создать две специализированные астрономические станции по наблюдению кометы Галлея, оснащенные однотипной аппаратурой. Одна из этих станций будет размещена на горе Майданак в Узбекистане, а другая – в Южном полушарии Земли – в Боливии (г. Ториха).

На обеих станциях будут установлены 60-сантиметровые рефлекторы, оснащенные фотоэлектрической, спектральной, поляриметрической и другой аппаратурой.

Разработка единых инструкций и рекомендаций по различным видам наблюдений кометы Галлея решением киевского рабочего совещания СОПРОГ, которое проходило с 30 марта по 3 апреля 1983 г., поручена следующим специалистам: позиционные наблюдения – С. П. Майору (Киев, ГАО АН УССР); теория и теоретические модели – Л. М. Шульману (Киев, ГАО АН УССР); крупномасштабные явления – Г. К. Назарчук (Киев, ГАО АН УССР) и Х. Ибадинову (Душанбе, Институт астрофизики (ИА) АН ТаджССР); фотометрия и поляриметрия – И. Н. Киселеву (Душанбе, ИА АН ТаджССР); спектроскопия и спектрофотометрия – О. В. Добровольскому (Душанбе, ИА АН ТаджССР) и В. П. Тарашук (Киев, университет); околоядерная область – В. П. Коноплеву (Киев, ГАО АН УССР) и Д. И. Городецкому (Алма-Ата, Астрофизический ин-т АН КазССР); инфракрасная астрономия – Г. В. Хозову (Ленинград, университет) и Л. М. Шульману; визуальная астрономия – К. И. Чурюмову (Киев, университет); радиоастрономия – Л. И. Матвиенко (Москва, ИКИ АН СССР) и Н. Н. Парийскому (САО АН СССР); лабораторное моделирование – (Ленинград, ФТИ АН СССР); сопутствующие явления – П. Б. Бабаджанову (Душанбе, ИА АН ТаджССР) и А. К. Терентьевой (Москва, Астросовет).

Вся программа рассчитана на довольно длительный срок – с 1983 по 1987 г. и в ее выполнении сначала активное участие примут обсерватории умеренных широт, а по мере приближения кометы Галлея к перигелию основная наблюдательная нагрузка ляжет на южные обсерватории СССР, которые будут следить за кометой и после перигелия, но в этот период наибольшей яркости и активности кометы главное «слово» будет за южной экспедицией СОПРОГ АН СССР в Боливии.

**Задачи любителей астрономии в программе СОПРОГ и методика наблюдений кометы Галлея.** Основной задачей любителей астрономии и особенно тех, которые живут на юге нашей страны (широта  $40^\circ$  и меньше), как входящих, так и не входящих в состав местных отделений ВАГО, является обеспечение регулярных физических наблюдений кометы Галлея с помощью имеющихся у них визуальных средств – телескопов-рефракторов и рефлекторов с различными диаметрами объективов и различных марок биноклей и бинокляров. Некоторым коллективам любителей, а также отдельным любителям под силу проведение наблюдений кометы Галлея с помощью фото- и кинокамер, телекамер, камер с ЭОПами или фотоэлектрической регистрацией блеска кометы и других приборов, подобно таким, какие с успехом применяются юными любителями астрономии Новосибирской станции юного техника СО АН СССР под руководством В. И. Кириченко.

При физических визуальных наблюдениях кометы Галлея важно оценить или измерить следующие ее физико-геометрические параметры:  $m_1$  – интегральную визуальную звездную величину кометы;  $m_2$  – визуальную величину фотометрического ядра (центрального сгущения);  $D$  – диаметр головы;  $d$  – диаметр ядра;  $DC$  – степень конденсации;  $C$  – длину хвоста;  $p$  – позиционный угол хвоста; положение и угловые размеры различных структурных деталей в голове и хвосте (галосов, лучей, оторвавшихся плазменных хвостов, темных промежутков – «тень» от ядра – и др.); расстояние между узлами в спиральном плазменном хвосте и изменение ширины хвоста от ядра к концу; позиционные углы лучей, «тени» и другие структуры в комете Галлея.

Все эти параметры и описания необходимо аккуратно заносить в журнал наблюдений или бланк наблюдателя, где необходимо также указывать следующие данные: фамилия, имя и отчество наблюдателя, место наблюдений (желательно приближенная широта и долгота), момент наблюдений с точностью до  $\pm 5$  мин или 0,005 сут, характеристики телескопа (апертура, увеличение); в примечании следует указать предельную звездную величину, видимую в телескоп вблизи кометы, а также адаптировался на темноту или нет



глаз наблюдателя перед наблюдениями кометы Галлея; важно также указывать метод, с помощью которого определялись визуальные звездные величины головы и ядра кометы.

В настоящее время любителями и профессионалами используется пять наиболее испытанных методов определения интегрального визуального блеска кометы и блеска центрального сгущения (фотометрического ядра).

1. *Метод Волохова–Бейера*. Последовательно выводятся из фокуса телескопа до полного исчезновения на фоне неба изображения кометы и звезд сравнения. Степень выдвижения окуляра отсчитывается по линейной шкале. Выбрав две звезды  $m_1$  и  $m_2$  таким образом, чтобы комета по яркости находилась между ними, снимают соответственно отсчеты  $n_1$  и  $n_2$  на звезды и  $n_k$  на комету. Звездная величина кометы определится по формуле (пусть  $m_1 < m_2$ ):

$$m_k = m_1 + \frac{m_2 - m_1}{n_1 - n_2} \cdot n_k.$$

Для повышения точности определения  $m_k$  необходимо выбрать несколько звезд сравнения и построить зависимость  $n = f(m)$ , по которой определяют  $m_k$ . Блеск комет, определенный по методу Волохова–Бейера, может заключать в себе большие ошибки, так как метод чувствителен к фону неба. Метод Волохова–Бейера можно применять для оценки интегрального визуального блеска кометы Галлея в период, когда она еще будет иметь компактный звездный вид и кому малых размеров.

2. *Метод Бахарева–Бобровникова–Всехсвятского*. Он заключается в выведении окуляра телескопа или бинокля из фокуса до тех пор, пока внефокальные изображения кометы и звезд сравнения не окажутся одинакового диаметра. При этом звезды расфокусируются в более или менее равномерные кружочки, а комета станет выглядеть неоднородным пятном с размытыми краями. Наблюдатель должен натренироваться усреднять яркость кометы по всему ее внефокальному диску и эту среднюю яркость сравнивать с яркостью внефокальных дисков звезд. Это сравнение лучше производить по методу Найланда–Блажко, в котором используются две звезды сравнения: одна – ярче, другая – слабее кометы. Мысленно разбивают интервал  $\Delta m$  между звездами на несколько произвольных степеней. Сравнивая комету попеременно с обеими звездами, определяют в личной шкале число таких же степеней между кометой и каждой звездой и находят  $m_k$ . Подбирая несколько пар звезд сравнения, определяют среднее значение звездной величины кометы, достигая при этом точности  $\pm 0,1^m$ .

Наиболее продолжительные ряды визуальных оценок блеска нескольких десятков комет в СССР были получены А. М. Бахаревым в Душанбе и С. К. Всехсвятским в Киеве. Многие любители астрономии чаще всего используют при визуальных наблюдениях комет именно этот метод, часто применяют его и астрономы-профессионалы. Среди любителей, хорошо владеющих этим методом, следует назвать Ю. В. Нестерова из Ливен, В. Харевича из Красноярска, Л. Л. Сикорука из Новосибирска. Ошибки в определении звездной величины кометы с помощью этого метода заключаются в том, что внефокальный диск кометы будет всегда больше внефокальных изображений звезд сравнения. Это объясняется тем, что фокальное изображение кометы имеет значительный диаметр, а звезды сравнения – звездный, и при расфокусировке окуляра мы получаем сравнимые диаметры внефокальных изображений кометы и звезд, но во всех случаях диаметр изображения кометы будет слегка больше диаметра расфокусированной звезды. Метод Бахарева–Всехсвятского–Бобровникова лучше всего применим для комет средней яркости, имеющих небольшие комы. Метод вполне пригоден для оценок блеска кометы Галлея в ее предстоящем появлении.

3. *Метод Сигдвика*. Он основывается на сравнении фокального изображения кометы с внефокальными изображениями звезд, имеющими такие же диаметры, что и фокальная комета. Наблюдатель сначала внимательно изучает изображение кометы, находящейся в фокусе, и запоминает ее среднюю яркость. Затем он выводит окуляр из фокуса до тех пор;

пока размеры внефокальных изображений звезд не станут сравнимыми с размером фокального изображения кометы. Яркость этих внефокальных звездных изображений сопоставляется с «записанной» в памяти наблюдателя средней яркостью кометы. При этом достигается точность в оценке звездной величины кометы  $\pm 0,1^m$ . Метод пригоден для оценок блеска кометы Галлея в период ее максимальной яркости – в январе, марте, апреле 1986 г. Однако он требует развития определенных навыков у наблюдателя, позволяющих держать в его памяти яркости сравниваемых объектов – фокальной кометы и внефокальных дисков звезд. Эти навыки могут быть развиты путем проведения значительного числа подобных тренировочных наблюдений.

4. *Метод Морриса.* В нем комбинируются особенности метода Бахарева–Бобровникова–Всехсвятского (ББВ) и метода Сигдвика, однако устраняются их недостатки: 1) различие размеров внефокальных изображений кометы и звезды сравнения в методе ББВ и 2) вариации поверхностной яркости кометной комы, когда фокальное изображение кометы сравнивается с внефокальными изображениями звезд по методу Сигдвика. В методе Морриса используется следующая последовательность приемов. Сначала выводят изображение кометы из фокуса до получения приблизительно однородной яркости изображения и запоминают размер и поверхностную яркость внефокального изображения кометы. Затем выводят звезды сравнения из фокуса таким образом, чтобы они имели такой же размер, как у запомнившейся внефокальной кометы, и оценивают блеск кометы, сравнивая поверхностные яркости внефокальных звезд сравнения и запомнившуюся поверхностную яркость внефокальной кометы. Наконец, повторяя все операции, оценивают несколько раз блеск кометы и определяют среднее значение.

5. Один из авторов (К. Ч.) иногда использует при оценках блеска комет метод, являющийся комбинацией методов Волохова–Бейера и Сигдвика путем такой последовательности приемов: а) определяют блеск фотометрического ядра кометы по методу Волохова–Бейера  $m_2$ ; б) внимательно изучают фокальное изображение кометы, запоминают среднюю яркость комы без учета яркости фотометрического ядра  $m_k$ ; в) сравнивают среднюю яркость кольцевой комы, мысленно удалив из нее фотометрическое ядро с внефокальными изображениями звезд такой же площади, что и фокальная кома без ядра, находят  $m_k$ ; г) интегральный блеск кометы  $m_1$  находят по звездной величине фотометрического ядра  $m_2$  и звездной величине условной кольцевой комы  $m_k$ , пользуясь соответствующими таблицами (например: Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. М., 1971, табл. 80, с. 569).

При проведении визуальных оценок блеска кометы Галлея с помощью перечисленных методов наблюдатель должен всегда учитывать яркость фона неба, на котором производятся оценки: яркий фон, неба является источником больших ошибок в определении интегрального блеска кометы. Оценки интегрального блеска кометы Галлея следует проводить с помощью инструментов, имеющих небольшие апертуры и малые увеличения. Например, хорошим инструментом для надежного определения блеска кометы Галлея до  $9^m$  является бинокль БП  $7 \times 50$ , для более слабого блеска до  $11,5^m$  – бинокляр «Асемби» ( $20 \times 88$ ) Народного предприятия «Карл Цейсс Йена» или наш отечественный бинокляр БМТ-110 ( $11 \times 20$ ).

Звезды сравнения следует выбирать па той же высоте над горизонтом, на какой находится в данный момент комета Галлея. Желательно также подбирать звезды сравнения, имеющие спектральный класс, близкий к спектральному классу Солнца, т. е. звезды спектральных классов F, G и K. При использовании звездных величин звезд сравнения, взятых из различных каталогов, следует учитывать, что визуальные звездные величины не эквивалентны  $V$ -величинам, обычно приводимым в каталогах. Чтобы перейти от  $V$ -величин к визуальным, т. е. к  $m_{\text{виз}}$ -величинам, следует воспользоваться соотношением  $m_{\text{виз}} = V + 0,16 (B - V)$ .

Поскольку комета Галлея в течение ночи может неожиданно вспыхнуть, весьма важно непрерывно следить за ней в период всей ее визуальной видимости в 1985 – 1986 гг. Такое слежение за кометой может быть достигнуто путем создания на всей территории СССР сети визуальных наблюдений за кометой Галлея на основе существующих местных отделений ВАГО (от Уссурийска до Ужгорода), а также неохваченных обществом любителей астрономии – энтузиастов визуальных наблюдений комет. Визуальные оценки блеска кометы Галлея, полученные любителями, позволят детально изучить характер кривой блеска кометы Галлея (ее фотометрические параметры – абсолютная звездная величина кометы Галлея в данном появлении  $H_0$  и показатель степени при гелиоцентрическом расстоянии  $n$ , фазы активности, т. е. нерегулярного изменения яркости, и др.).

Представляет значительный интерес сравнение полученной кривой блеска кометы Галлея с ее кривыми блеска в предыдущих появлениях, чтобы изучить вековое изменение яркости кометы, связанное с постепенным уменьшением диаметра ее ледяного ядра. Важно также сравнить кривую блеска кометы Галлея с кривыми блеска других комет, при этом должны появиться ее возможные нетипичные особенности. Кроме того, характер кривой визуального блеска кометы Галлея при наличии спектральных наблюдений можно связать с действием особого физического механизма, ответственного, например, за разрушение родительской молекулы  $H_2O$  и приводящего к образованию молекул гидроксидов ОН. При установлении подобной связи важен анализ всех кривых блеска комет – как в прошлом, так и в настоящем и будущем.

Одной из важных физических характеристик кометы Галлея является диаметр ее комы, сильно зависящий от гелиоцентрического расстояния. Этот параметр в основном также определяется визуально. Наиболее распространенными являются следующие методы определения диаметров комы и центрального сгущения (ядра).

1. При неподвижном телескопе комета вследствие вращения небесной сферы вокруг оси мира медленно пересекает поле зрения окуляра, проходя  $15''$  за 1 с (вблизи экватора). Поэтому, если в окуляре имеется крест нитей, то замечая моменты первого и последнего контактов кометы с нитью, ориентированной по меридиану (север – юг), определяют промежуток времени  $\Delta t$ , за который голова кометы пересекает эту нить. Диаметр комы определяется по формуле  $D = 0,25 \Delta t \cos \delta$ , где  $\delta$  – склонение кометы.

2. Используя крупномасштабные атласы и карты звездного неба (например, звездный атлас А. А. Михайлова со звездами до  $8,25^m$  или Atlas Coeli или Eclipticalis) наблюдатель определяет угловые расстояния между близкими звездами в видимых окрестностях кометы и сравнивает их с видимым диаметром комы. Этот метод лучше всего использовать в тех случаях, когда диаметр комы превышает  $5'$ .

3. В случае оснащения окуляра телескопа микрометром измеряют диаметр комы, последовательно наводя нить (по касательной) на оба края головы кометы и снимая соответствующие отсчеты по шкале микрометра. Это наиболее точный и надежный метод определения диаметра головы кометы.

Указанные методы применимы также для определения диаметра центрального сгущения, размеров структурных деталей к комете, а также длины хвоста.

Параллельно с определением диаметра головы кометы Галлея наблюдатель также должен оценить и степень конденсации кометы  $DC$ , что дает представление о внешнем виде кометы – малая и сконденсированная комета, или большая и диффузная. Степень конденсации имеет градацию от 0 до 9: если  $DC = 0$ , то комета кажется светящимся объектом с малым или отсутствующим изменением поверхностной яркости от периферии к центру головы кометы (полностью диффузная комета), если  $DC = 9$  комета выглядит как полностью звездообразный объект (без признаков комы). Промежуточные значения  $DC$  от 0 до 9 показывают различную степень диффузности кометы. Например,  $DC = 3$  – это диффузная кома с постепенным увеличением яркости к центру, а  $DC = 6$  – это с определенным пиком яркости в центре.

Длину хвоста кометы Галлея можно определять теми же методами, что и для диаметра комы. Для хвостов с размерами больше  $10^\circ$  длину хвоста  $C$  уже следует вычислять по формуле:

$$\cos C = \sin \delta' \sin \delta + \cos \delta' \cos (\alpha - \alpha'),$$

где  $C$  – длина хвоста в градусах,  $\alpha$  и  $\delta$  – прямое восхождение и склонение кометы,  $\alpha'$  и  $\delta'$  – прямое восхождение и склонение конца хвоста (их можно определить по координатам звездочки, расположенной вблизи конца хвоста).

Важной характеристикой кометы является позиционный угол хвоста  $p$ . Если удастся подобрать две звезды, располагающиеся вдоль оси хвоста и имеющие координаты  $\alpha_1$ ;  $\delta_1$  и  $\alpha_2$ ;  $\delta_2$ , то позиционный угол хвоста  $p$  можно вычислить по формуле:

$$p = \arctg \frac{\sin (\alpha_2 - \alpha_1)}{\operatorname{tg} \delta_2 \cos \delta_1 - \sin \delta_1 \cos (\delta_2 - \delta_1)},$$

причем  $\alpha_2$ ,  $\delta_2$  – координаты звезды, более удаленной от ядра; квадрант  $p$  определяется знаком  $\sin (\alpha_2 - \alpha_1)$ . В качестве  $\alpha_1$ ,  $\delta_1$  можно взять координаты ядра кометы. Позиционные углы отсчитываются от направления на север через восток:  $p = 0^\circ$  – хвост направлен точно на север,  $p = 90^\circ$  – на восток,  $p = 180^\circ$  – на юг,  $p = 270^\circ$  – на запад.

Визуальные наблюдения кометы Галлея будут более эффективными и точными, если перед наблюдениями адаптировать глаз на полную темноту в течение часа или хотя бы получаса. После этого, чтобы сохранить чувствительность глаза к слабым световым потокам, Следует сверяться с картой звездного неба или производить записи в журнале наблюдений при свете карманного фонарика, оснащенного красным светофильтром.

### Эфемериды кометы Кроммелина в ее появлении 1983 – 1984 гг. (период визуальных наблюдений)\*

Дата	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	$\Delta$ , а. е.	$r$ , а. е.	$m_1$	Элонгация, град.	Фаза, град.	
1983 декабрь	2	20 <sup>h</sup> 27 <sup>m</sup> 16,6 <sup>s</sup>	+ 8°08'55"	1,691	1,570	10,8	66	32
	12	20 45 49,4	+7 18 02	1,640	1,437	10,3	60	37
	22	21 07 54,3	+6 40 23	1,574	1,304	9,8	56	39
1984 январь	1	21 33 52,6	+6 12 55	1,496	1,172	9,3	52	41
	11	22 04 15,5	+ 5 50 15	1,404	1,045	8,6	48	44
	21	22 39 38,7	+5 22 16	1,301	0,928	7,9	45	49
	31	23 20 37,8	+ 4 32 24	1,190	0,829	7,3	44	55
февраль	10	00 07 27,9	+2 57 54	1,076	0,760	6,7	43	62
	20	00 59 41,6	+ 0 16 28	0,969	0,735	6,3	44	69
март	1	01 56 27,9	–3 35 39	0,878	0,758	6,2	48	74
	11	02 57 12,3	– 8 11 20	0,816	0,826	6,4	53	75
	21	04 01 15,6	–12 41 12	0,788	0,924	6,8	61	71
	31	05 06 41,5	–16 14 58	0,800	1,040	7,4	70	64
апрель	10	06 09 58,1	–18 26 22	0,850	1,167	8,0	78	57
	20	07 07 30,5	–19 21 39	0,936	1,299	8,7	84	50
	30	07 57 31,7	–19 25 52	1,054	1,432	9,4	88	45
май	10	08 40 07,9	–19 05 51	1,200	1,564	10,0	90	40
	20	09 16 21,0	–18 40 10	1,367	1,696	10,7	90	37

\* $\alpha$  – прямое восхождение,  $\delta$  – склонение,  $\Delta$  – геоцентрическое расстояние,  $r$  – гелиоцентрическое расстояние,  $m_1$  – интегральная звездная величина кометы (по Фесту).

**Наблюдения кометы Кроммелина.** В конце 1983 г. и начале 1984 г. любители астрономии смогут с помощью своих телескопов и бинокляров наблюдать визуально периодическую комету Кроммелина, которую международная и советская программа наблюдений кометы Галлея избрали в качестве первого объекта для проведения пробных наблюдений по согласованной программе, разработанной для наблюдений приближающейся кометы Галлея в 1985 – 1986 гг. как профессионалами, так и любителями астрономии.

В настоящем появлении на небе (а она уже обнаружена и получила обозначение 1983 *m*) комета Кроммелина достигнет максимальной яркости (около 6 – 7<sup>m</sup>) 1 марта 1984 г., а 22 марта произойдет ее сближение с Землей до 0,78 а. е. Предсказанная яркость позволяет надеяться, что уже с декабря 1983 г. ее смогут визуально наблюдать и любители астрономии. К сожалению, в период максимальной яркости комета Кроммелина будет находиться на угловом расстоянии (элонгация) от Солнца равном  $\sim 48^\circ$ , так что наблюдения за ней будут довольно затруднительны. Однако успешные ее наблюдения позволят любителям проверить возможности их инструментов, а также готовность их самих как наблюдателей перед появлением кометы Галлея, которая в период своей максимальной яркости будет также довольно близка к Солнцу.

Итак, наблюдайте комету Кроммелина – первый пробный объект программы СОПРОГ АН СССР перед наблюдениями кометы Галлея. Результаты своих наблюдений высылайте по адресу: 252053 Киев-53, ул. Обсерваторная, 3, Астрономическая обсерватория КГУ СОПРОГ АН СССР, К. И. Чурюмову. Эфемерида кометы Кроммелина на 1983 – 1984 гг. приводится на стр. 63.

*Я. С. Яцкив, К. И. Чурюмов*

---

**Борис Юльевич Левин, Алла Николаевна Симоненко**  
**КОМЕТА ГАЛЛЕЯ**

Главный отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин*. Редактор *Е. Ю. Ермаков*. Мл. редактор *Г. И. Валюженич*. Обложка художника *Л. П. Ромасенко*. Худож. редактор *М. А. Гусева*. Техн. редактор *Н. В. Лбова*. Корректор *С. П. Ткаченко*.

ИБ № 6484

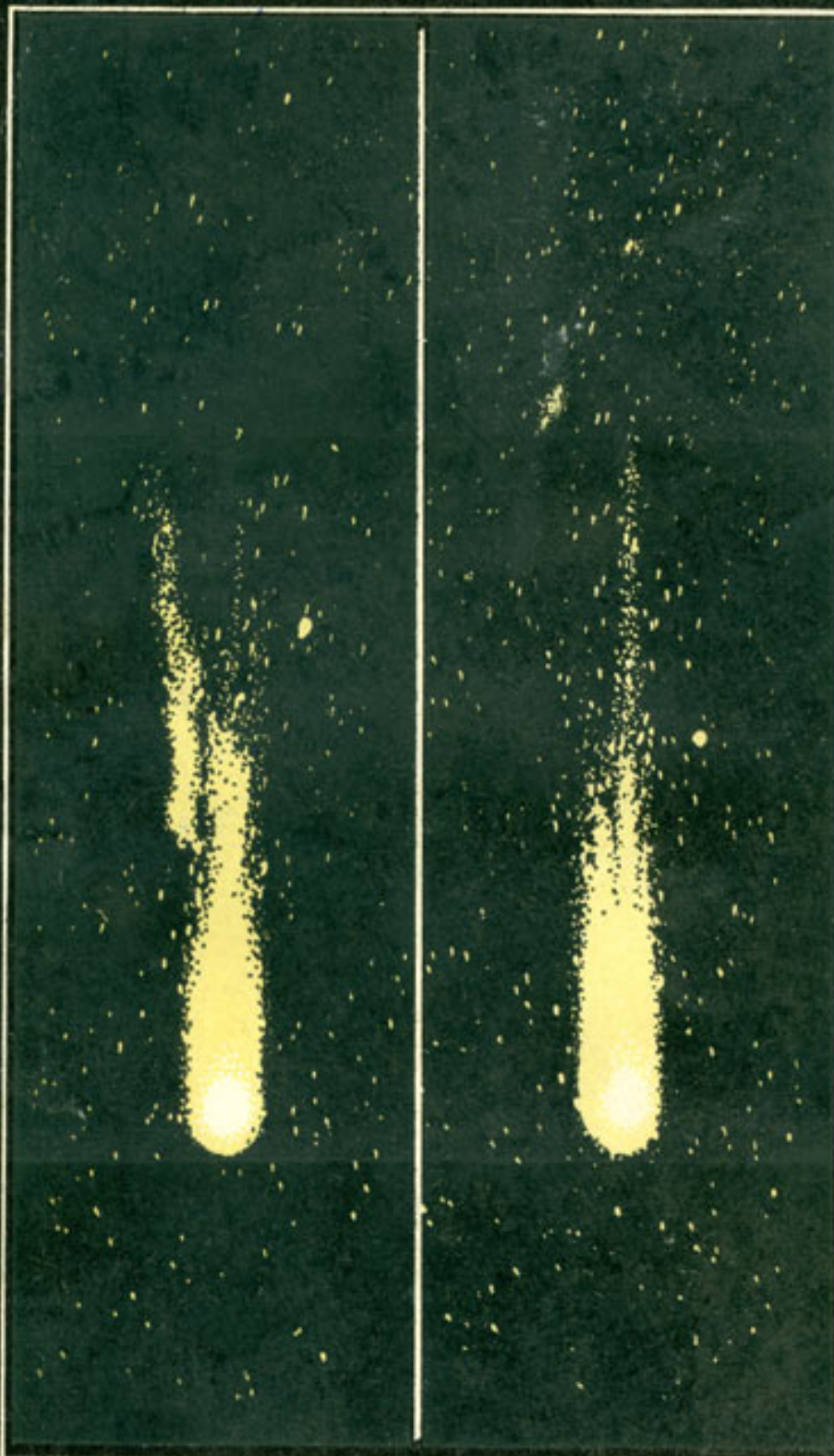
Сдано в набор 14.10.83. Подписано к печати 23.14.83. Т 23198. Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,87. Тираж 27 410 экз. Заказ 1860. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 844201.

Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

**Сканировал и обработал Юрий Аболонко (Смоленск)**

11 коп.

Индекс 70101



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,  
АСТРОНОМИЯ**