

P180528

С. В. ОРЛОВ

ПРИРОДА КОМЕТ



ОГИЗ · ГОСТЕХИЗДАТ · 1944

Проф. С. В. ОРЛОВ

ПРИРОДА КОМЕТ

80598/

ОГИЗ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1944 ЛЕНИНГРАД

52

0 66

Редактор *Г. Н. Кольченко*. Подписано к печати 13/IV 1944 г. 10¹/₄ печ. л. + 11 пол. вкл. л.
10,9 авт. л. 39700 тип. зн. в печ. л. Тираж 8 000 экз. Л25740. Цена книги 5 р. Заказ № 6591.

1-я Образцовая типография треста «Полиграфкнига» ОГИЗа при СНК РСФСР.
Москва, Валовая, 28.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Общие понятия о кометах	5
1. Введение	5
2. Как открывают кометы	10
3. Обозначения комет	15
4. Орбиты комет	16
Глава II. Фотометрия комет	22
1. Блеск комет	22
2. Классификация комет по их блеску	26
Глава III. История кометы Галлея	31
Глава IV. Механическая теория кометных форм	47
1. Основы теории	47
2. Классификация кометных хвостов по Бредихину	53
3. Определение отталкивательных ускорений в хвостах I типа	57
4. Величины отталкивательных ускорений в голове кометы	61
Глава V. Изучение спектров комет	66
1. Основы спектроскопии	66
2. Спектральный анализ	69
3. Свечение газов в кометах	71
4. Спектроскопия комет	74
5. Спектры хвостов комет	79
6. Непрерывный спектр в видимых ядрах	82
7. Полосчатые спектры в головах комет	83
8. Спектры комет и расстояния комет от Солнца	84
9. Заключение	87
Глава VI. Физическая теория комет	88
1. Температура кометных ядер	88
2. Физическая теория головы кометы	90
3. Ядро кометы	93
4. Зависимость абсолютной яркости от массы комет	97
5. Хвосты комет и лучевое давление	98
6. Природа отталкивательных сил в хвостах I типа	102
7. Продолжительность жизни комет	104
Глава VII. Происхождение комет	106
1. Оскулирующие и первичные орбиты	106
2. Сфера действия Солнца	110
3. Происхождение комет	111
4. Семейства комет	115
5. Деление и распад комет	117

Глава VIII. Исключительные кометы	120
1. Большая южная комета 1901 г.	120
2. Комета 1892 III	122
3. Большая сентябрьская комета 1882 II	125
Глава IX. Жизнь кометы	135
1. Столкновение кометы с Землей	135
2. Жизнь кометы	141
Глава X. Краткая история классификации кометных хвостов	146
Приложения:	150
I. Классификация кометных форм	150
1. Классификация кометных хвостов	150
2. Классификация кометных голов	152
II. Место комет среди небесных светил	153
III. Спектры и строение атома по Бору	154
IV. Принцип Допплера	159
V. Вывод формулы центростремительного ускорения для движения по окружности	161
VI. Физические характеристики комет	162
Предметный указатель	164

ГЛАВА I

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О КОМЕТАХ

1. Введение

Среди неастрономов редко встретишь человека, который видел бы комету на небе своими глазами; но на самом деле комет много. Каждый год их открывают 5—6, а в 1925 г. было открыто 11 комет. Правда, громадное большинство из них видно только в трубы и, следовательно, доступно наблюдениям лишь специалистов-астрономов, но почти каждый год бывает комета, видимая просто глазом как маленькое туманное пятнышко среди звезд, — нужно только точно знать то место на небе, где в данное время находится комета.

Иногда появляются большие кометы, поражающие всех своей яркостью и хвостом, стелящимся иной раз через все небо. В последние десятилетия таких комет было немного (1901 I, 1910 I, 1927 IX). В 1910 г. в январе на рассвете несколько железнодорожных рабочих в Южной Африке, возвращавшихся домой с ночной смены, увидели на фоне зари яркую комету; дали знать астрономам. Во все обсерватории полетели телеграммы об открытии новой большой кометы. Комета развила громадный хвост и наблюдалась всюду, возбуждая всеобщее внимание. К сожалению, в средней полосе России в январе и начале февраля была пасмурная погода и комета не везде наблюдалась.

На вкладном листе I, 1 изображена фотография этой кометы, полученная в Ташкенте астрономом Сикора. Влево от кометы на фоне зари ярко светит Венера; внизу видны силуэты деревьев; громадный хвост кометы поднимается вверх.

Следующая большая комета, открытая астрономом Скеллерупом (Австралия), появилась в 1927 г.; она была так ярка, что ее видели днем, рядом с Солнцем, прикрыв только чем-нибудь глаза от его лучей. Путь этой кометы относительно Земли был расположен неблагоприятно, и ее наблюдали, главным образом, в непосредственной близости к Солнцу

на фоне дневного неба; при таких условиях хвоста кометы не было видно, кроме его более ярких частей, около самого ядра. Хорошая погода на Камчатке в Анадырском районе дала возможность наблюдать комету в то время, когда ее еще можно было видеть вечером на фоне зари. Хвост кометы простирался до 20° от головы. Ярко светилось ядро, как звезда 2-й величины. Чукчи, встревоженные необычным видом кометы, приезжали со своих становищ в поселки и спрашивали о новой хвостатой звезде, появившейся на небе.

Найти новую комету очень трудно; их ищут, или рассматривая один участок неба за другим в особые светосильные трубы (кометоискатели), или на фотографиях неба, снятых с помощью светосильных широкоугольных объективов. Среди звезд на небе рассыпано много тысяч туманностей; новая комета обычно тоже представляет собой маленькое туманное пятнышко с более или менее ярким центральным сгущением, называемым *ядром*. Отличить по наружному виду новую комету от обычных туманностей зачастую нельзя; единственным отличительным признаком служит то, что комета быстро движется среди звезд, и если заметить или зарисовать ее положение среди звезд и посмотреть в трубу через полчаса или час, то комета заметно сместится среди звезд, а обычная туманность останется там, где она была видима в первый раз. Достаточно знать три положения кометы среди звезд, чтобы вычислить ее орбиту (ее путь) среди планет солнечной системы.

Тогда нетрудно составить наперед табличку или, как ее называют, *эфемериду* положений кометы среди звезд; по эфемериде можно с достаточной точностью определить положение кометы среди звезд для момента наблюдения, а следовательно, найти комету.

Обычно комету открывают, когда она еще далеко отстоит от Солнца, в среднем около двух астрономических единиц (астрономическая единица равна среднему расстоянию Земли от Солнца, или 149 450 000 км). На таком расстоянии от Солнца комета представляет собой туманное пятнышко с центральным уплотнением — *ядром* (вкладной лист 1, 2). По мере приближения большой кометы к Солнцу вид ее начинает меняться; из ядра выделяется яркая веерообразная полоска — *истечение*, как огненный фонтан, начинающий бить по направлению к Солнцу; яркость кометы увеличивается; истечение, расширяясь к концу, отдельными струйками заворачивается назад от Солнца (см. вкладной лист 1, 3), эти струйки усиливаются в яркости, отходят все дальше и дальше и образуют собой громадные хвосты, всегда направленные от Солнца,

Бьющий из ядра к Солнцу светящийся фонтан образует своими очертаниями *оболочку*, отделяющую комету от фона неба. Ядро, истечения, оболочки — все это образует голову кометы; за головой в сторону от Солнца стелется яркий исполинский хвост. Наибольшей яркости и мощи излияния или истечения, а, следовательно, оболочки и хвосты, достигают в эпоху прохождения кометы через перигелий (точка на орбите кометы, наиболее близкая к Солнцу). После прохождения через перигелий, когда комета с каждым мгновением все дальше и дальше уходит от Солнца, яркость ее быстро уменьшается, излияния слабеют, хвост становится все короче и короче, и комета, снова обратившись в крохотное туманное пятнышко, исчезает на фоне звездного неба.

До XVII столетия придерживались взглядов Аристотеля, который считался общепризнанным авторитетом во всех вопросах естествознания. По Аристотелю кометы атмосферного происхождения и их изучение относится к метеорологии, а не к астрономии. Земные пары, подымаясь кверху, загораются от приближения к сфере огня; хвост кометы — это пламя; оно либо подымается вверх, по причине легкости, либо гонится ветром в сторону.

В 1618 г. появление двух комет возбудило всеобщее внимание. Чезарини из Рима в декабре этого года пишет знаменитому Галилею: «Даже ничем не интересующиеся люди встряхнулись и даже последние сонливцы и лентяи всего города вскакивают с постелей, так что вы можете себе представить, какое возбуждение вызвало появление двух комет и какие глупые разговоры оно породило».

Орацио Грасси по поводу этих комет выступил с речью в римской иезуитской коллегии. Галилей не мог оставить без ответа эту пышную, полную теологических воззрений и сумбурную речь, произнесенную явно с целью заставить его высказаться о возможности объяснения орбит комет с точки зрения системы Коперника. Галилей принял вызов. С едкой иронией издевается он над старым мировоззрением и его защитниками, «которые, не жалея слов, исследуют, не увлекает ли с собой плотная полость лунной сферы (которая не существует) своим вращательным движением (которым она никогда не обладала) элемент огня (о котором мы не знаем, существует ли он) и не зажигает ли она материю кометы (места которой мы не знаем и о которой мы знаем, что она не горит)» («Весы Галилея»).

В 1577 г. появилась яркая комета; ее движение тщательно изучал знаменитый Тихо Браге, самый искусный наблюдатель того времени. Его многочисленные наблюдения над

планетами были обработаны Кеплером и дали ему возможность открыть законы движения планет, послужившие основой динамики солнечной системы. На рис. 1 T — Земля, A и B — две обсерватории: Уранибург на острове Гвене (Дания), где наблюдал Тихо Браге и Прага (Чехия).

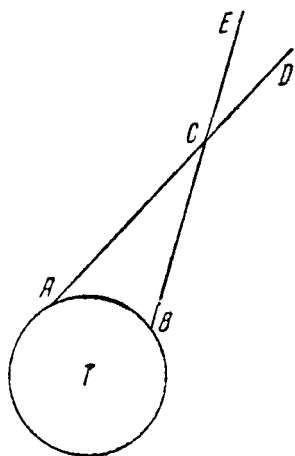


Рис. 1. Определение расстояния до кометы.

Если бы комета, как это предполагал Аристотель, была в пределах земной атмосферы (недалеко от Земли), например в точке C , то она проецировалась бы на небе в одно и то же время в двух различных направлениях: из Уранибурга по направлению ACD и из Праги по направлению BCE . Угол ACB (параллакс) можно определить из наблюдений. И там и тут комета была видна рядом с одной и той же звездочкой: угол ACB оказался исчезающе малым. Если бы комета была от Земли на таком же расстоянии как Луна, то этот угол должен был бы быть порядка $6'$, но Тихо Браге думал, что он был меньше $1'$, следовательно, комета была бы во много раз дальше от земли, чем Луна. Так Тихо Браге

неопровержимо доказал неправильность взгляда Аристотеля на кометы; с тех пор изучение комет, таких же небесных светил, как звезды, планеты и Солнце, перешло к астрономам.

Наступление лунных и солнечных затмений люди уже давно научились предсказывать наперед, но большие кометы появляются совершенно неожиданно, и тем большее впечатление оказывают они на широкие слои населения. В прежнее время их появление всегда связывали с какими-либо крупными событиями на Земле: войнами, чумой, голодом и пр. Приведу несколько случаев.

В 1456 г. появилась яркая комета (знаменитая периодическая комета Галлея, см. стр. 31). По мнению астрологов она несла с собой ужасные бедствия: чуму, войны и т. д. А времена были грозные — на Европу надвигались полчища турок. Папа Калликст III сейчас же отлучил комету от церкви, но, конечно, этого было мало. Калликст приказал возносить особые молитвы богу, чтобы он, если уже бедствия неизбежны, ниспослал их на нечестивых турок — этих исконных врагов христианского мира. Все церкви в полдень колокольным звоном должны были предупреждать всех ве-

рующих об этих молитвах, и все должны просить бога о ниспослании победы над турками. Эти молитвы и до сих пор сохранились в католических странах (Ангелус).

Байи (Bailly) в своей истории астрономии пишет: «В 1179 году все астрологи восточные, христианские, еврейские, арабские возвестили на 1186 год великое соединение планет верхних и нижних, что должно было вызвать всеобщую гибель и разрушение стремительною бурь и ветров. Предсказание породило всеобщий страх, но ничего подобного не случилось», Байи прибавляет: «Все пошло попрежнему, даже вера в предсказания астрологов».

Любопытным образчиком идеологии средневековья может служить следующий эпизод.

Некто Брунетто Латини, впоследствии учитель Данте, в 1258 г. посетил Англию. Он пишет своему другу Кавальканти: «Был я у монаха Бэкона (Роджер Бэкон), и между другими вещами показывал он мне некрасивый черный камень, называемый магнитом, который имеет удивительное свойство притягивать к себе железо. Если потерять об этот камень иголку и вложить ее в соломинку, то на поверхности воды плавающая соломинка постоянно обращена на север. Как бы ни была темна ночь, пусть не видно луны и звезд, моряк с этой иголкой может правильно вести свой корабль. Но это удивительное открытие до поры до времени, конечно, останется скрытым, потому что ни один капитан корабля не посмеет им пользоваться — его сейчас же обвинят в колдовстве, если он возьмет с собой этот инструмент, который все будут считать сработанным дьяволом».

Фиске в своей книге «Открытие Америки» прибавляет, что все ужасные события вроде голода, чумы и землетрясений всегда приписывались людьми «воле божьей», а благодетельные изобретения вроде компаса или типографского станка всегда считались делом дьявола.

Были и здравые мысли о влиянии комет на земные события. Некто Петр Мергелли (Базель, 1665 г.) пишет, что в 1652 г. крестьяне в Швейцарии волновались вследствие сильного увеличения податей. Появилась комета, и как раз в тех местностях, где она была видима, вспыхнуло восстание. Комета не была причиной, а только поводом к восстанию. Бытописец прибавляет, что, может быть, восстание не вспыхнуло бы, если бы на небе не появилась комета и своей необычностью не привела бы крестьян в сильное возбуждение, что и послужило толчком к восстанию.

В 1858 г. 2 июня Донати во Флоренции открыл новую комету в созвездии Льва. Ее путь среди звезд проецировался

на нашем северном небе. К сентябрю ее яркость возросла, появился хвост. На темном осеннем небе комета ярко выделялась среди звезд и обращала на себя невольно внимание каждого, кто случайно смотрел на небо. Впечатление в широких кругах от этой кометы было громадное.

Привожу несколько фраз из одного дневника той эпохи (черноземная полоса России). Любопытно в нем то, что всего лишь 80 лет тому назад в царской России кометы все еще считались вестниками близкой кончины мира.

«К ужасу не только моему, но и всего города, комета быстро и скоро достигла таких размеров, что только и говорили все и везде про хвостатую звезду и про близкую кончину мира. Я не мог оторваться от грандиозной картины, смотря на блестящую комету, яркое ядро которой и громадный искрящийся хвост до сих пор живы в моей памяти. Уже осенью, после того как комета достигла наибольшей величины, небо заволокло серыми дождливыми облаками, ужасная звезда скрылась. Я помню радостные лица всех взрослых, говоривших, что опасность миновала».

В настоящее время у нас в СССР, когда печатное слово неудержимо проникает всюду, неся с собой здравые мысли о природе, большие кометы уже не будут возбуждать ужаса перед «грядущими бедствиями»; наоборот, все те, кто сколько-нибудь знает об астрономии, жаждут полюбоваться этим редким явлением, узнать о наблюдениях специалистов и тем самым ближе подойти к познанию окружающего нас мира.

2. Как открывают кометы

Прежде ловцы комет (астрономы, специализировавшиеся на открытиях новых комет), пользуясь каждой безоблачной ночью, когда нет Луны и на темном фоне неба резко выделяются даже крохотные звездочки, тщательно осматривали в светосильные астрономические трубы (кометоискатели) один участок неба за другим. Каждое, встреченное среди звезд туманное, еле видимое пятнышко останавливало их внимание. Среди звезд на небе рассыпано много тысяч туманностей, представляющих собой либо скопление звезд, находящихся так далеко, что даже в сильные трубы нельзя различить отдельные, составляющие их звездочки, а видно только слабое с неясными очертаниями пятнышко, либо бесформенные массы светящегося газа (например, туманность в созвездии Ориона), тоже находящиеся от нас на громадных расстояниях. Туманности неподвижны относительно звезд, а кометы отличаются от туманностей своим движением. Ловцы комет, просматривая

один участок неба за другим, конечно, запоминают много раз встречавшиеся им туманности, но всякое новое слабо светящееся пятнышко подвергается тщательному обследованию. Обычно зарисовывают его положение среди ближайших звезд, видимых одновременно с ним в поле зрения трубы. Если после зарисовки подождать около часа и снова посмотреть на туманное пятнышко и если оно заметно передвинулось среди звезд, — это новая комета. Тогда тщательно измеряют положение кометы относительно ближайших звездочек, определяют координаты (прямое восхождение и склонение) и их изменение в сутки (куда и с какой угловой скоростью движется комета). Об открытии новой кометы сообщают телеграммой в Копенгаген (Дания) в Международный центр астрономических новостей, и оттуда сейчас же во все обсерватории мира рассылают телеграммы о месте среди звезд, движении и яркости новой кометы, чтобы как можно больше астрономов могло принять участие в изучении новой гостьи, проносящейся недалеко от Земли и Солнца.

В настоящее время громадное большинство новых комет открывается фотографическим методом. Большая фотокамера, приспособленная для фотографирования небесных объектов, называется *астрографом* (рис. 2). Астрограф скрепляется с астрономической трубой, *рефрактором*. Рефрактор может вращаться около оси PP_1 , направленной параллельно оси мира, вокруг которой в своем суточном движении вращается небесный свод (часовая ось — ее конец P направлен к полярной звезде), и около оси SS_1 (ось склонений), перпендикулярной к часовой оси. Установив рефрактор так, чтобы в поле его зрения на перекрестке нитей была видна интересующая нас звезда, закрепляют трубу особыми винтами и пускают в ход часовой механизм, который медленно вращает трубу вокруг часовой оси PP_1 . Так как небесный свод тоже вращается около параллельной оси, то при правильно работающем механизме звезда не будет сходить с креста нитей.

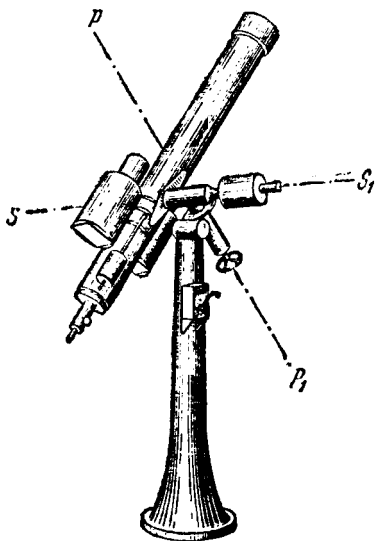


Рис. 2. Астрограф.

Наблюдая звезду, можно с помощью контрольных ключей передвигать трубу и, если звезда хоть немного сойдет с перекрестья, снова вернуть ее на прежнее место. Если, установив трубу в ясную ночь, пустить в ход часовой механизм и открыть объективы астрографов, то изображения звезд или кометы, проецирующиеся на фотопластинке, не будут сдвигаться с места, несмотря на вращение небесного свода. После проявления получим негатив, где черными точками разных диаметров изобразятся попавшие на пластинку звезды.

Глаз обладает большой чувствительностью к свету и при рассматривании слабо светящихся туманных объектов может соперничать с астрографами, конечно, если рассматривать небо современными светосильными рефракторами (кометоискатели); но чем дольше всматриваешься, тем меньше видишь вследствие неизбежного утомления глаза. При фотопластинке, наоборот, чем длиннее экспозиция (выдержка), тем больше деталей получается на ней после проявления. Это одно из самых драгоценных свойств фотопластинки. Второе свойство ее заключается в способности сразу воспринимать и зарисовывать одновременно большой участок неба (около 200 квадратных градусов) с громадным количеством объектов, которые после, не спеша, можно тщательно измерить и исследовать.

После проявления, фиксирования и сушки на негативе, где заснята какая-либо область неба, начинаются поиски новой кометы. Обнаружив при рассматривании негатива, иногда с помощью лупы, слабое туманное пятнышко (вкладной лист 1,2), берут другой негатив, на котором заснята та же область неба (снимки делаются один за другим через короткие промежутки времени). Если на нем туманное пятнышко заметно сместилось, то много шансов за то, что найдена новая комета. Третий негатив служит уже окончательным подтверждением открытия. Определяют относительно близлежащих звезд (координаты звезд известны) положение кометы, быстроту и направление ее движения среди звезд и немедленно телеграммой сообщают эти данные в астрономический центр.

Несмотря на кажущуюся простоту описанного процесса, открыть новую комету не так то легко. Много десятков пластинок нужно тщательно просмотреть, много претерпеть неудач и разочарований перед тем, как открыть новую комету.

Почти все новые кометы первыми отыскивают на небе специалисты-астрономы, и в этом отношении любителям астрономии с ними тягаться трудно: нужны специальные, дорого

стоящие светосильные астрографы, чтобы обнаружить среди звезд крохотное пятнышко, общая яркость которого в тысячи раз меньше самой слабой звездочки, еле видимой невооруженным глазом. Но бывают случаи, когда с очень несовершенными инструментами любители астрономии открывают кометы. Златинский, любитель астрономии, весной 1914 г. приобрел бинокль и вечером вышел за город (Митава) посмотреть в него звезды. Неожиданно на фоне вечерней зари им была открыта новая комета.

В наше время С. М. Козик, любитель астрономии, рассматривая небо в маленькую (3 дюйма диаметром) плохого качества астрономическую трубу, уже открыл две кометы (Средняя Азия, Сталинабад и Ташкент). Последняя комета, открытая в СССР,— комета 1939, была независимо друг от друга замечена невооруженным глазом Ахмаровым и Юрловым — двумя любителями астрономии из Мордовии.

Мировой рекорд по количеству открытых комет принадлежит астроному Понсу (Марсель, Франция). Им открыто 29 комет в промежуток времени от 1801 до 1827 г.

Мировой рекорд по количеству комет, открытых подряд одна за другой, принадлежит двум астрономам: Перрайну. Ликская обсерватория (США), который за 1 год и 3 месяца (1896—1898) открыл 6 комет, и тому же Понсу (6 комет в промежуток времени 1801—1806 гг.).

Мировой рекорд по открытию двух комет подряд в наименьший промежуток времени принадлежит Меткофу (США): 2 кометы — в 46,5 часа (1919 *b* август 20 в 10^h,3 и 1919 *c* август 22 в 9^h,8).

Про эти рекорды можно сказать только одно — побить их очень трудно; тем более, что, например, у Понса было только 15 конкурентов (ловцов комет), а теперь их около сотни, вооруженных до зубов новейшей техникой. Все дело в упорстве, хорошей технике и удаче.

В текущем столетии с 1900 по 1936 г. наибольшее число комет открыто следующими астрономами:

Ван-Бисбрек	}	по 10 комет
Джакобини		
Меткоф	}	по 7 комет
Рид		
Неуймин (Сименз, Крым, СССР)	}	по 6 комет
Борелли		
Брукс (Смитсоновская обсерватория, США)	}	по 5 комет
Пельтье		
Скьеллеруп		
Швассман-Вахман		
Шомасс		

Советский астроном Г. Н. Неуймин, несмотря на то, что он не все время отдает подобным поискам, занимает почетное третье место среди современных ловцов комет, вооруженных лучшей техникой.

У нас в СССР собственно нет астрономов, которые все свое время отдавали бы на поиски новых комет. При подобных поисках работа многих бессонных ночей тратится на то, чтобы открыть одну комету. Наши астрономы открывают кометы случайно при фотографировании малых планет (астероидов), областей звездного неба и т. д. То, что в Симеизе (Крым) открыто таким путем 7 комет за последние два десятилетия, говорит не только об удивительной тщательности, с которой симеизские астрономы просматривают заснятые ими негативы, но и вообще о прекрасной слаженности сложного процесса фотографирования небесных объектов.

Привожу список комет, открытых русскими астрономами:

До Великой Октябрьской Социалистической революции

1. Вишневский совместно с Понсом . . .	1808	I
2. Вишневский совместно с Понсом . . .	1812	
3. Богуславский	1835	
4. Швейцер (директор Обсерватории Московского университета)	1847	IV
5. Швейцер	1849	III
6. Швейцер	1853	II
7. Швейцер	1855	I
8. Белявский (Симеиз, Крым, СССР) . .	1911	IV
9. Неуймин (Симеиз, Крым, СССР) . . .	1913	III
10. Златинский (Митава)	1914	I
11. Неуймин	1914	III
12. Неуймин	1916	II

Всего за 108 лет открыто . . . 12 комет

После Великой Октябрьской Социалистической революции

1. Селиванов совместно с Меткофом . .	1919	III
2. Дубяго (Казань)	1921	I
3. Неуймин	1921	V
4. Дубяго совместно с Бернардом . . .	1923	III
5. Шайн (Симеиз, Крым, СССР)	1925	VII
6. Шайн	1925	X
7. Неуймин	1927	I
8. Неуймин совместно с Комас Соля . .	1927	III
9. Неуймин	1929	III
10. Козик совместно с Кахо	1936	b.
11. Неуймин совместно с Джексоном . .	1936	c
12. Козик	1939	a
13. Ахмаров и Юрлов совместно с Кас-селем	1939	d

Всего за 20 лет открыто 13 комет

Приведенные числа сами говорят за себя. В стране, сбросившей путы капитализма, несомненен бурный рост всех научных исследований.

3. Обозначения комет

Комета, открытая первой в каком-либо году, обозначается номером года и буквой *a*, вторая комета — буквой *b*, третья — *c* и т. д., в скобках ставится фамилия открывшего комету.

Например, Неуймин (Симеиз, Крым) открыл комету в 1929 г.; она была второй из открытых в этом году и получила предварительное обозначение 1929 *b* (Неуймин). После того как была вычислена орбита (путь среди солнечной системы) кометы и определен момент ее прохождения через перигелий (точка орбиты, наиболее близкая к Солнцу), комета получила окончательное обозначение, под которым она и внесена в каталоги кометных орбит; ее обозначают номером года, в который комета проходит через перигелий, и римской цифрой, ставя I для той кометы, которая в этом году первой проходит через перигелий, II — для второй и т. д. Комета 1929 *b* (Неуймин) прошла через перигелий в 1929 г. третьей с начала года и получила окончательное обозначение — 1929 III.

В 1786 г. Мешень открыл слабую комету. Окончательное ее обозначение 1786 I. Эта комета оказалась периодической и в среднем через 3,284 года она снова приближается к Солнцу, проходя через свой перигелий. При очередном возвращении к Солнцу этой кометы ее вновь открывают, и она всякий раз получает новые обозначения; например—1795¹⁾, 1805, 1819 I, 1822 II, и т. д. Уже 40 раз наблюдали эту комету при последовательных прохождениях ее через перигелий. В сущности — это одна и та же комета. Движение этой кометы особенно тщательно изучалось двумя учеными: Энке (Берлин) и Баклундом (директор Пулковской обсерватории). В честь их комета названа кометой Энке-Баклунда. Подобные периодические кометы обозначаются числом года, номером кометы и фамилией ученого, в честь которого она получила название: например, 1822 II (Энке-Баклунда).

Английский ученый Галлей, современник и друг великого Ньютона, был первым, доказавшим, что среди комет есть такие, которые через определенные промежутки времени снова возвращаются к Солнцу. Первая периодическая комета,

¹⁾ В 1795 г. была открыта только одна комета; поэтому номера она не имеет.

вторичное возвращение которой было предсказано Галлеем, названа его именем (комета Галлея). При ее последнем появлении она получила обозначение 1910 II (Галлея). На памяти людей она уже 32 раза пронеслась около Солнца, возвращаясь к нему в среднем через 77 лет. Первое из зарегистрированных ее появлений, записанных в летописях и хрониках, европейских и азиатских, относится к 467 г. до нашей эры.

4. Орбиты комет

В конце XVII столетия Исаак Ньютон (Англия) установил закон всемирного тяготения. По Ньютону все планеты движутся около Солнца под влиянием его тяготения. Система

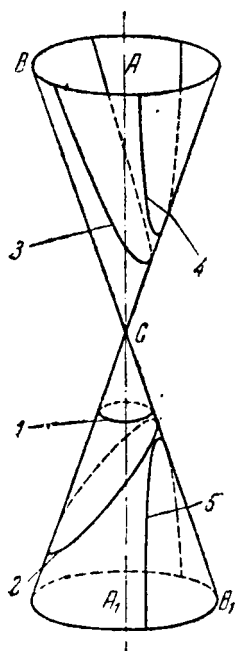


Рис. 3. Конические сечения.

мира Коперника получила свое динамическое обоснование. Для Ньютона стало очевидным, что все материальные тела тяготеют друг к другу и что вся вселенная связана воедино законом всемирного тяготения. Исходя из этой основной предпосылки, Ньютон чисто математическим путем показал, что два тела, тяготеющие друг к другу, должны двигаться по одному из конических сечений около общего их центра тяжести. Как известно, конических сечений четыре: окружность, эллипс, парабола и гипербола (рис. 3). Если пересечь конус плоскостью, перпендикулярной к его оси AA_1 , то сечение будет окружностью (1). Если секущая плоскость составляет какой-либо угол с осью конуса, то получим эллипс (2). Сечение конуса плоскостью, параллельной образующей BB_1 , дает параболу (3). Наконец сечение плоскостью, параллельной оси AA_1 , дает гиперболу. Это сечение захватит и верхнюю и нижнюю части конуса (две ветви 4 и 5).

Если начало прямоугольной системы координат поместить в центре Солнца и ось x направить в перигелий кометы (точка орбиты кометы наиболее близкая к Солнцу), а ось y — в плоскости кометной орбиты, в сторону движения кометы, то любое коническое сечение представится формулой:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \nu},$$

где r — радиус-вектор кометы K (рис. 4), ν — угол между этим радиусом-вектором и осью x , p — параметр конического сечения и e — эксцентриситет.

При $\nu = 90^\circ$ $\cos \nu = 0$ и $r = p$ ($p = SK_1$).

Величина эксцентриситета характеризует тип кривой. Если $e < 1$, кривая называется *эллипсом*. Возьмем $e = 0,5$ и $p = 1$; тогда $r = \frac{1}{1 + 0,5 \cos \nu}$ и различным значениям ν соответствуют следующие значения r :

ν	$\cos \nu$	r	ν	$\cos \nu$	r
0°	1,00	0,67	180°	-1,00	2,00
60°	0,50	0,80	240°	-0,50	1,33
90°	0,00	1,00	270°	0,00	1,00
120°	-0,50	1,33	300°	0,50	0,80

По вычисленным точкам на рис. 5 вычерчен этот эллипс. Эллипсы имеют конечные размеры: r (радиус-вектор) у них не может быть бесконечно большим. Это могло бы быть: если бы $1 + e \cos \nu = 0$, тогда $\cos \nu = -1/e$; но $e < 1$ и $1/e$

больше единицы, а \cos не может быть больше единицы. Следовательно, все эллипсы — конечные кривые.

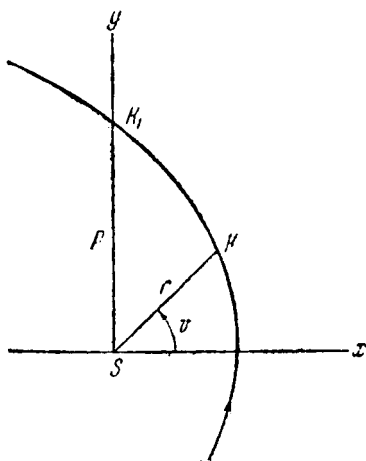


Рис. 4. Парабола.

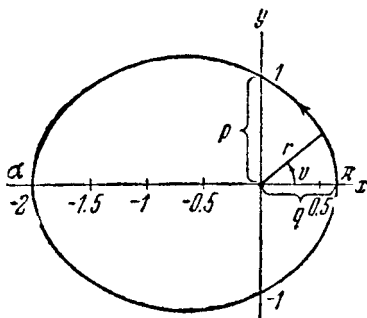


Рис. 5. Эллипс.

Если $e > 1$, то мы имеем дело с *гиперболой*. r у гиперболы может быть бесконечно большим, так как $1 + e \cos \nu$

при $\cos v = -1/e$ ($1/e$ —правильная дробь) обращается в нуль. Одному и тому же значению \cos соответствуют два угла: v и $360^\circ - v$. Поэтому r гиперболы обращается в ∞ при двух разных v .

При $e=1$ имеем *параболу*. $r = \frac{p}{1 + \cos v}$ обращается в ∞ только при одном значении $v = 180^\circ$ (парабола имеет одну бесконечно удаленную точку). Если $e=0$, то $r=p$, т. е. радиус-вектор по всем направлениям один и тот же — это *окружность*.

Среди бесчисленных значений эксцентриситета от 0 до ∞ только одно его значение $e=0$ дает окружность и только одно $e=1$ дает параболу. Вероятностью какого-либо события называется отношение числа благоприятствующих этому событию шансов к числу всех шансов. Следовательно, вероятность параболы, а также и окружности — практически равна нулю.

Таким образом, в природе среди небесных тел нет движений по параболе и окружностям: могут быть только эллиптические и гиперболические орбиты. Эти кривые определяются двумя параметрами p и e . Перигелийное расстояние

$$q = \frac{p}{1+e}.$$

Наибольший диаметр эллипса ap (рис. 5) называется большой осью и обозначается символом $2a$ (a — большая полуось). Ее величина вычисляется по формулам:

$$a = \frac{p}{1-e^2} \quad \text{или} \quad a = \frac{q}{1-e}.$$

У эллипса $e < 1$ и большая полуось всегда положительна; у гиперболы $e > 1$ и большая полуось всегда отрицательна. Третий закон Кеплера [отношение кубов больших полуосей к квадратам времен обращений для всех планет (и комет) есть величина постоянная] позволяет для кометы, двигающейся около Солнца по эллипсу, найти ее период обращения T . Если мы за единицу длины возьмем среднее расстояние Земли от Солнца, а за единицу времени — год, то $a^3/T^2 = 1$, или $T^2 = a^3$. Это уравнение позволяет, зная длину большой полуоси, найти время обращения кометы в годах. Кометы, для которых с достаточной уверенностью определена большая полуось эллиптической орбиты, а, следовательно, и период обращения, называются *периодическими*.

После того, как Гевелиус в конце XVII столетия, пользуясь зрительной трубой, стал тщательно определять положение комет на небесном своде, сделалось возможным подойти к решению сложной математической задачи: определению пути комет в пространстве. В 1660 г. Гевелиус высказал правильное предположение об орбитах комет. Основываясь на том, что струйки воды, камни, брошенные под углом к горизонту, описывают параболы, он по аналогии решил, что и кометы движутся около Солнца по параболам.

Ученик Гевелиуса Дерфель показал, что комета 1681 г. действительно двигалась по параболе. В это время Ньютон уже выработал метод, как из наблюдений найти орбиту кометы. Ньютон исходил из предположения, что кометы, так же, как и планеты, вечно обращаются около Солнца.

Приняв, что часть кометной орбиты, близкую к Солнцу, без большой ошибки можно считать параболой, он сформулировал следующую задачу: «найти орбиту кометы, движущейся по параболе, по трем наблюдениям». Причина, заставившая Ньютона считать, что кометы движутся по параболам, понятна: гипербола и эллипс определяются двумя параметрами—перигелийным расстоянием q и эксцентриситетом e ; парабола же имеет только один параметр q , так как $e = 1$. Очевидно, что если кометы движутся по эллипсам, то эти эллипсы сильно растянуты, иначе кометы через короткие промежутки времени возвращались бы снова к Солнцу и были бы видимы на небе, как планеты, все время. Значит, эксцентриситеты кометных орбит очень близки к единице. На рис. 6 вычерчены: гипербола с эксцентриситетом 1,01, парабола и эллипс с эксцентриситетом 0,99 (между прочим 82% всех до сего времени известных комет имеют эксцентриситеты в этих пределах от 1,01 до 0,99). Перигелийные расстояния q у

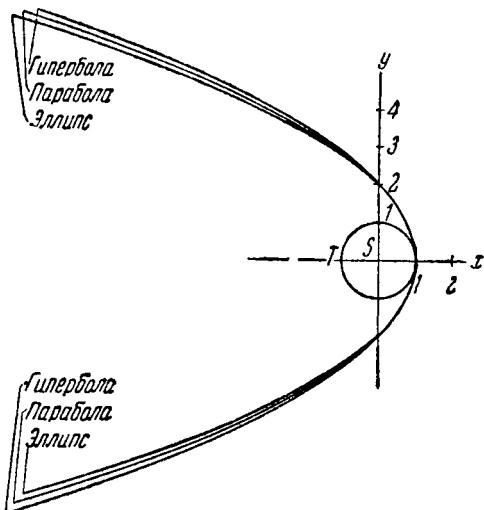


Рис. 6. Эллипс ($q=1$, $e=0,99$), парабола ($q=1$, $e=1$) и гипербола ($q=1$, $e=1,01$). Около Солнца, там где и наблюдаются кометы, все три кривые близки друг к другу.

всех вычерченных на рисунке орбит равны единице. Мы видим, что на расстоянии 3—4 АЕ¹⁾ от Солнца все три кривые совпадают и только при $r=5$ начинают расходиться. Но когда расстояние кометы от Солнца становится бóльшим 3, она обычно так ослабевает в яркости, что делается невидимой. Следовательно, Ньютон был вполне прав, приняв орбиты комет за параболы, а это сильно упростило решение сложной задачи.

Имея три наблюдения над кометой и зная, где в моменты наблюдений находилась Земля на своей орбите, можно определить величину и положение в пространстве большой полуоси и параметра, а также положение точки перигелия. Ньютон пишет: «найдя теоретическое решение задачи, я определил геометрическим и графическим путем орбиту кометы 1680 года». «Наблюдения и вычисленные по найденной орбите положения кометы сходились так же хорошо, как сходятся с наблюдениями вычисления путей планет».

Посмотрим, какими параметрами определяется кометная орбита. На рис. 7,а S — Солнце, EE' — орбита, по которой около Солнца движется Земля. Плоскость движения Земли

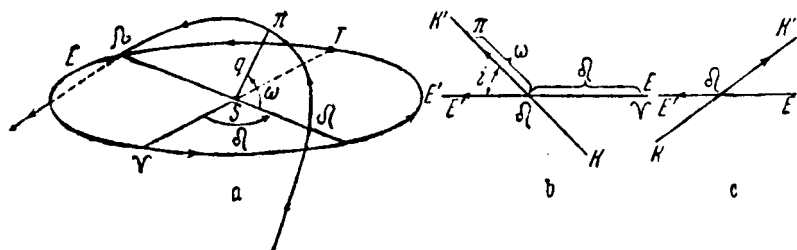


Рис. 7. Элементы кометных орбит.

называется *эклиптикой*; относительно этой плоскости и определяются элементы (параметры) кометной орбиты. Сама орбита кометы определяется величиной q *перигелийного расстояния* и *эксцентриситетом* e . Элементами q и e определяется сама орбита кометы. Как определить геометрическое положение орбиты относительно эклиптики? Орбита кометы (рис. 7,а) пересекает плоскость эклиптики в точках Q (восходящий узел) и Q' (нисходящий узел). Двигаясь через Q (восходящий узел), комета из южного полушария неба переходит в северное. На эклиптике имеется замечательная точка — начало счета углов, обозначенная на рис. 7,а символом Υ (точка весеннего равноденствия). Когда Земля находится в точке T , то Солнце

1) АЕ — астрономическая единица, равная 149 450 000 км.

с Земли видно как раз по направлению на эту точку. (На Земле в это время 22 марта, день равен ночи и наступает весна.) Эта точка — начало отсчета углов по эклиптике; счет углов ведется в сторону движения Земли по эклиптике. Чтобы закрепить положение узлов кометы, определяют угол $\Upsilon S \mathcal{L}$, называемый *долготой восходящего узла*, — он обозначается символом \mathcal{L} . Однако, положение плоскости кометной орбиты одним этим углом \mathcal{L} не закреплено, необходимо определить еще угол между плоскостями кометной орбиты и плоскостью эклиптики — угол *наклонения* i (угол между перпендикулярами, восстановленными от Солнца к плоскости эклиптики и к плоскости кометной орбиты в ту их сторону, откуда и движение Земли около Солнца, и движение кометы по орбите направлены против часовой стрелки). На рис. 7, b вычерчены плоскости орбиты кометы KK' и орбиты Земли EE' для наблюдателя, находящегося на Солнце; угол $E'\mathcal{L}K'$ между положительными направлениями орбит — тот же угол наклонения i . Теперь плоскость кометной орбиты закреплена относительно эклиптики. Осталось закрепить положение самой орбиты в ее плоскости. Для этого служит последний элемент ω — *положение перигелия*; это — угол между направлением от Солнца на восходящий узел \mathcal{L} и направлением на перигелий кометы, считаемый в сторону движения кометы. Чтобы можно было определить положение кометы на орбите для любого момента времени, необходимо прибавить еще один элемент — T_{π} (момент прохождения кометы через перигелий).

Следовательно, всех элементов, определяющих кометную орбиту, шесть:

q — перигелийное расстояние в АЕ,

e — эксцентриситет,

\mathcal{L} — долгота восходящего узла,

i — наклонение,

ω — положение перигелия (долготой перигелия называют сумму углов $\mathcal{L} + \omega$),

T_{π} — момент прохождения кометы через перигелий.

Зная элементы кометы, можно вычислить ее положение среди звезд для любого момента времени и расстояния кометы от Солнца (r) и от Земли (ρ) (*эфемериду* кометы).

Задачу определения элементов кометы из наблюдений нельзя назвать простой — она требует длительных и точных вычислений. Мы уже знаем, что в громадном большинстве случаев кометы движутся по орбитам, чрезвычайно близким к параболическим, а так как параболическая орбита имеет только 5 элементов (у параболы эксцентриситет $e=1$), что значительно сокращает вычисления (одним элементом мень-

ше), то принято при появлении новой кометы принимать сначала ее орбиту за параболу. По первым наблюдениям (достаточно знать положения кометы среди звезд для трех разных моментов времени) определяют параболическую орбиту и сейчас же вычисляют эфемериду, рассылаемую по всем обсерваториям. По эфемериде, где даны на каждый день положения кометы среди звезд, вычисленные вперед на два-три месяца, уже можно легко отыскать комету, даже если ее яркость не велика и она видна только в астрономические трубы. По мере увеличения числа наблюдений становится ясным, можно ли орбиту кометы представить параболой. Если этого сделать нельзя, если наблюденные положения расходятся с эфемеридой, а это бывает всегда, когда имеется большое число точных наблюдений или когда комету наблюдают в течение длительного периода времени, — то производят новые вычисления и определяют эксцентриситет, величина которого показывает, движется ли наблюдаемая комета по эллипсу или же по гиперболе.

Г Л А В А II

ФОТОМЕТРИЯ КОМЕТ

1. Блеск комет

Систематическое изучение закона изменения блеска комет при сближении их с Солнцем было начато в Москве в 1910 г. С тех пор много исследований по фотометрии комет опубликовано советскими учеными. Блеск комет оценивают в звездных величинах. Что такое звездные величины?

Очень давно самые яркие звезды были названы звездами 1-й величины (1^{mgs}), самые слабые, еле видимые невооруженным глазом, названы звездами 6-й величины (6^{mgs}). Все остальные звезды между ними получили соразмерно их блеску обозначения 2^{mgs} , 3^{mgs} и т. д. В 1830 г. Дж. Гершель фотометрическим путем нашел, что звезда 1^{mgs} дает света в 2,5 раза больше, чем звезда 2^{mgs} (в настоящее время принято считать в 2,5119 раз), звезда 2^{mgs} дает света в 2,5 раза больше 3^{mgs} и т. д. Обозначим через a освещенность в люксах ¹⁾, даваемую звездой 0^{mgs} на плоскости, перпендикулярной к ее лучам (0^{mgs} дает света в 2,5 раза больше, чем 1^{mgs}); тогда звезда 1^{mgs} дает освещенность $\frac{a}{2,5}$, или $a \cdot 2,5^{-1}$,

¹⁾ Люкс — освещенность, создаваемая источником света в 1 свече на расстоянии 1 м.

и т. д. Сравним эти два способа обозначений блеска отдельных звезд:

$$\begin{array}{cccccc} -2^{\text{mg}} & -1^{\text{mg}} & 0^{\text{mg}} & 1^{\text{mg}} & 2^{\text{mg}} & 3^{\text{mg}} \\ a \cdot 2,5^{+2} & a \cdot 2,5^{+1} & a & a \cdot 2,5^{-1} & a \cdot 2,5^{-2} & a \cdot 2,5^{-3} \end{array}$$

Эти ряды можно неограниченно продолжить вправо и влево, введя отрицательные звездные величины (-1^{mg} в 2,5 раза ярче 0^{mg}). Связь между соответствующими членами этих рядов прямо бросается в глаза. Если мы возьмем звезду m величины, то она даст освещенность A в люксах: $A = a \cdot 2,5^{19-m}$.

Рессель определил постоянный коэффициент этой формулы: $a = 2,13 \cdot 10^{-6}$. Следовательно, блеск всякой звезды можно выражать либо в люксах, либо в звездных величинах. Пользуясь этой формулой, можно вычислить то расстояние от нас, на котором обычная свечка дает столько же света, как и звезда 1^{mg} . Припомним, что освещение обратно пропорционально квадрату расстояния от источника света:

$$\frac{1}{x^2} = 2,13 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5^{19-1}.$$

Прологарифмируем это выражение:

$$-2 \lg x = 0,328 - 6 - 0,400, \text{ или } \lg x = 3,036,$$

или $x = 1090$ м. Следовательно, свеча на расстоянии 1 км видна, как звезда 1^{mg} .

Луна в полнолуние оценивается $-12^{\text{mg}},5$. Какова создаваемая ею освещенность? $x = 2,13 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5^{19-12,5}$; $\lg x = -0,672$. Получился отрицательный \lg ; прибавим и вычтем 10: $\lg x = 9,328 - 10$, или $x = 0,213$ люкса. Луна дает освещенность в $\frac{1}{5}$ люкса, или как 1 свеча на расстоянии 2,2 м ($1/x^2 = \frac{1}{5}$).

Оценка блеска головы кометы производится просто. Если комета видна невооруженным глазом, то отыскивают недалеко от нее две звездочки, из которых одна должна казаться немного ярче головы кометы, другая — чуть слабее (желательно, чтобы звездочки сравнения были на такой же, примерно, высоте, как комета). Тогда, всматриваясь попеременно то в звездочки сравнения, то в комету, стараются оценить ее относительную яркость¹⁾. Например, нам кажется, что комета по яркости находится как раз посредине между избранными звездочками, которые обозначим буквами a и b .

¹⁾ В астрономии под яркостью светила подразумевают его блеск. Термин яркость в таком понимании не следует смешивать с тем, что понимают под яркостью при световых измерениях в современной физике.

В этом случае записываем: $a \ll b$. Сейчас же нужно нарисовать звезды, среди которых видна комета, и отметить на рисунке буквами a и b избранные нами звезды сравнения. После можно отождествить взятые звездочки по звездному атласу (например, Звездный атлас Покровского) и найти их звездные величины. Если голова кометы по яркости ближе к звезде a , то стараются оценить разности интервалов, записывая, например, $a \ll 2b$ и т. д.

Привожу пример. В г. Москве 27 августа 1911 г. мною наблюдалась яркость кометы 1911 V. Были взяты как звезды сравнения ω_1 Лебеда $5^{\text{mg}},09$ и 43 Лебеда $5^{\text{mg}},92$. Записано: $\omega_1, 2 \ll 3$ (43). Интервал: $5,92 - 5,09 = 0,83$; пятая часть его $0,17$, яркость головы кометы $5,09 + 2 \cdot 0,17$, или $H = 5^{\text{mg}},43$.

12 сентября взяты звезды сравнения ξ Дракона $3^{\text{mg}},95$ и μ Дракона $5^{\text{mg}},16$. Записано $\xi 1 \ll 4 \mu$. Интервал $5,16 - 3,95 = 1,21$; пятая часть его $0,24$; яркость головы кометы $3,95 + 0,24$, или $H = 4^{\text{mg}},19$.

3 октября взяты звезды: η Большой Медведицы $2^{\text{mg}},26$ и γ Волосаса $3^{\text{mg}},34$. Записано: $\eta 2 \ll 3 \gamma$. Интервал $1,08$; пятая часть $0,22$; $H = 2,26 + 2 \cdot 0,22$, или $H = 2^{\text{mg}},70$.

Подобные наблюдения, несмотря на их простоту, могут иметь большую научную ценность. Тот, кто начнет подобные наблюдения, должен сейчас же написать о своих наблюдениях в Государственный астрономический институт имени Штернберга (Москва, 22, пер. Павлика Морозова, 5).

Блеск более слабых комет, видимых только с помощью бинокля или астрономической трубы (так называемых телескопических комет), определяется аналогичным способом. Здесь, однако, сравнивать блеск головы кометы, имеющей уже значительные угловые размеры в поле зрения даже бинокля, со звездами, кажущимися яркими точками, с уверенностью нельзя. Приходится резко сдвигать окуляры с установкой на фокус до тех пор, пока и звезда, и комета будут казаться похожими друг на друга размытыми кружками. Только при соблюдении этого условия возможна уверенная оценка блеска, которая производится методом, описанным нами выше. Самые точные оценки блеска головы кометы, если она достаточно ярка, производятся до сих пор невооруженным глазом; почти одинаковые результаты дают сильные призматические бинокли, с помощью которых можно фотометрировать много телескопических комет. Оценки блеска с помощью астрономических труб неоднородны, и величины блеска зависят от свойств самого инструмента (светосилы, увеличения и т. д.). Определение блеска комет доступно всем, и здесь любители астрономии могут оказать зна-

чительную помощь специалистам своими наблюдениями. В последнее время начинают изучать блеск комет дорогими и сложными электрофотометрами, дающими точность, в десятки раз большую, чем старые методы.

Зная звездные величины какой-нибудь кометы, наблюдения над которой производились в продолжение длительного промежутка времени, можно сравнительно легко определить закон изменения ее блеска по мере сближения с Солнцем.

Пусть нами определен блеск головы кометы H_1 в звездных величинах. Освещенность от кометы в люксах $A_1 = a \cdot 2,5^{-H_1}$. В момент наблюдения комета была от Земли на расстоянии ρ и от Солнца на расстоянии r . Чтобы охарактеризовать вообще яркость кометы, нужно определить ее блеск на единице расстояния и от Земли, и от Солнца. Такой приведенный блеск кометы называется *абсолютным*. Только зная абсолютный блеск (часто говорят «абсолютные яркости») комет, можно сравнивать их одну с другой и правильно оценивать силы их света. Назовем абсолютный блеск кометы H_0 ; тогда в люксах $A_0 = a \cdot 2,5^{-H_0}$. Мы наблюдали комету на расстоянии ρ от Земли и нашли ее блеск A_1 ; на расстоянии от Земли, равном единице, ее блеск, очевидно, будет $A_1 \rho^2$. Комета наблюдалась на расстоянии r от Солнца. Закон изменения блеска кометы в зависимости от сближения ее с Солнцем неизвестен; примем, что блеск кометы обратно пропорционален r^n , где n — показатель степени — остается неопределенным и должен быть определен из наших наблюдений. Тогда блеск кометы на расстоянии единицы от Земли и от Солнца будет $A_1 \rho^2 r^n$; но мы этот блеск назвали A_0 . Следовательно, $A_0 = A_1 \rho^2 r^n$. Перейдем опять к звездным величинам: $a \cdot 2,5^{-H_0} = a \cdot 2,5^{-H_1} \rho^2 r^n$. Коэффициент a сокращается; прологарифмировав уравнение, получим:

$$-0,4H_0 = -0,4H_1 + 2 \lg \rho + n \lg r,$$

или

$$H_0 + 2,5n \lg r = H_1 - 5 \lg \rho.$$

В этом уравнении две неизвестные величины: H_0 (абсолютный блеск кометы) и n (показатель степени при r , характеризующий закон изменения блеска кометы при сближении ее с Солнцем). Величины r и ρ берем из эфемериды кометы. Посмотрим (табл. 1), как определяются величины H_0 и n из наших наблюдений яркости кометы 1911 V.

Выработан простой прием для решения любого числа подобных уравнений с двумя неизвестными. Складываем все

Таблица 1. Исходные данные для определения величин H_0 и n

Даты наблюдения	$\lg r$	$\lg \rho^1)$	H_1 в m_g	Уравнения
Август 27 . .	0,142	-0,212	5,43	$H_0 + 0,142x = 6,49$
Сентябрь 12 .	0,047	-0,281	4,19	$H_0 + 0,047x = 5,59$
Октябрь 3 . .	-0,122	-0,254	2,70	$H_0 - 0,122x = 3,97$

уравнения почленно и делим каждый член суммы на число уравнений:

$$3H_0 + 0,067x = 16,05,$$

$$H_0 + 0,022x = 5,35.$$

Полученное уравнение вычитаем почленно из каждого нашего уравнения; получим теперь три уравнения, но уже с одним неизвестным x ; сложим их:

$$0,120x = 1,14$$

$$0,025x = 0,24$$

$$0,144x = 1,39$$

$$\hline 0,289x = 2,77$$

Отсюда определяем $x = 9,06$. Из уравнения $H_0 + 0,022x = 5,35$, зная x , определяем абсолютный блеск H_0 . Так как $x = 2,5n$, то $n = 3,62$ и $H_0 = 5^{m_g}, 15$.

Полученные величины H_0 и n называются фотометрическими параметрами кометы. Для кометы 1911 V мы получили эти параметры, обработав только три наблюдения. На самом деле в обработку вводят все полученные оценки яркостей кометы, чтобы получить величины параметров с большей уверенностью. С. К. Всехсвятский обработал все имевшиеся ряды фотометрических оценок комет (230 отдельных комет) и составил генеральный каталог абсолютных яркостей комет. При всех исследованиях, касающихся физических явлений в кометах, приходится принимать во внимание величины их фотометрических параметров, и знание их имеет большое значение. С. К. Всехсвятский нашел, что показатель степени n , характеризующий закон изменения яркости в зависимости от расстояния кометы от Солнца, в среднем близок к 4.

2. Классификация комет по их блеску

По своему видимому блеску кометы делятся на три группы: 1) *Большие кометы*, обращающие на себя внимание вся-

1) Логарифмы чисел, меньших единицы, отрицательны; в логарифмических таблицах и характеристики, и мантиссы положительные; здесь нужно брать логарифмы с их знаками. Например, $\lg 0,2 = 9,3010 - 10$, или $\lg 0,2 = -0,6990$.

кого, кто только взглянет ночью на небо; их хвосты раскидываются по небу на десятки градусов. 2) *Кометы, видимые невооруженным глазом.* Чтобы найти такую комету на небе, нужно хорошо знать, среди каких звезд в данный момент она находится; обычно такая комета представляет собой еле заметное туманное пятнышко; иногда можно различить неясно очерченный короткий хвост. 3) *Телескопические кометы;* их можно наблюдать только с помощью бинокля или астрономической трубы, либо фотографируя сильными астрографами.

Эта классификация по видимому блеску довольно неопределенна. Одна и та же комета, одновременно наблюдаемая под разными широтами, может быть названа и большой и видимой невооруженным глазом. Например, знаменитая периодическая комета Галлея в ее последнем появлении в 1909—1911 гг. на юге (на Кавказе, под тропиками) своим громадным хвостом невольно привлекала к себе внимание каждого и могла быть причислена к большим кометам (см. вкладной лист II, 1—3), в то время как в центральных областях СССР, на светлом фоне майских и июньских ночей, ее хвост был невидим, и только хорошо зная положение кометы среди звезд, можно было невооруженным глазом различить слабо светящийся желтого цвета объект, похожий на звезду 3^{маг}. К тому же, видимые яркости, зависящие от случайной близости кометы к Земле, мало говорят о световой мощности самой кометы. Привожу списки больших комет с 1800 г. и видимых невооруженным глазом с 1900 г. (табл. 2 и 3).

Таблица 2. Большие кометы

Название	Абсол. яркость в зв. вел.	Абсол. яркость в люксах	Наибольшая видимая яркость в зв. вел.	e	q
1811 I	0,0	2130 · 10 ⁻⁹	1	0,99512	1,0354
1823	4,2	44		1,0000	0,2267
1843 I	6,4	6	-7	0,9999	0,0055
1858 VI	3,7	70	0,2	0,9963	0,5785
1861 II	3,9	58	-4	0,9851	0,8224
1874 III	6,0	8		0,9988	0,6758
1880 I	4,0	54		1,0000	0,0055
1881 III	2,8	159		0,9957	0,7692
1882 II	0,8	1005	-17	0,9999	0,0078
1901 I	7,0	3	-2	0,9997	0,2448
1910 I	5,4	15	-5	1,0000	0,1290
1910 II	4,0	54	-1	0,9673	0,5872
1927 IX	7,2	3 · 10 ⁻⁹	-6	1,0000	0,1763
Среднее	2,3	280 · 10 ⁻⁹		Среднее	0,4050

Конечно, в среднем большие кометы обладают и большим абсолютным блеском, а именно $2^{m_g,3}$; видимые невооруженным глазом имеют средний блеск $4^{m_g,1}$ и телескопические $9^{m_g,0}$; но в большие кометы попала комета 1927 IX с блеском только $7^{m_g,2}$ — значительно ниже среднего блеска не только типичной большой кометы, но и видимой невооруженным глазом — исключительно благодаря своему небольшому перигелийному расстоянию ($q=0,176$). В видимые невооруженным глазом попали: комета 1914 V с громадной яркостью $1^{m_g,1}$ и две очень слабые: — комета Энке-Баклунда 1914 VI $10^{m_g,1}$ и комета Понса-Виннеке 1927 VII $10^{m_g,7}$, благодаря их чрезмерному сближению с Землей. Большие кометы это те, которые имеют наибольшую видимую яркость свыше 1^{m_g} (т. е. 0, — 1, — 2 и т. д.). Кометы, видимые невооруженным глазом, имеют наибольшую яркость между 1^{m_g} и 6^{m_g} ; телескопические — слабее 6^{m_g} .

Комета 1843 I — одна из слабых среди больших комет ($6^{m_g,4}$), но благодаря своему исключительно малому пери-

Таблица 3. Кометы, видимые невооруженным глазом

Название	Абсол. яркость в зв. вел.	Абсол. яркость в люксах	Наибольшая видимая яркость в зв. вел.	e	q
1902 III	5,9	$8 \cdot 10^{-9}$	4	1,0000	0,4011
1903 I	8,2	1	5	1,0000	0,4106
1903 IV	5,9	6	3	1,0000	0,3297
1906 I	8,0	1	2,5	1,0000	0,2154
1907 IV	3,7	70	2	0,9988	0,5122
1908 III	4,3	41	5,5	1,0000	0,8429
1911 II	7,4	2	5	0,9956	0,6836
1911 IV	8,1	1	2	1,0000	0,3036
1911 V	5,1	19	2	0,9970	0,4894
1912 II	6,1	10	4,5	1,0000	0,7161
1914 I	8,3	1	5	1,0000	0,5431
1914 V	1,1	762	2,5	1,0002	1,1045
1914 VI	10,1	$0,2 \cdot 10^{-9}$	6	0,8499	0,3386
1915 II	3,7	70	3,5	1,0002	1,0053
1917 I	7,4	2	2	0,9931	0,1902
1919 III	8,7	0,7	4,5	0,9712	0,4849
1921 II	6,7	3	5	1,0000	1,0090
1924 II	7,5	2	5	1,0000	0,4060
1927 VII	10,7	0,1	5	0,6848	1,0391
1930 III	8,8	0,7	5,7	0,9920	0,4817
1931 IV	5,8	$10 \cdot 10^{-9}$	2	1,0021	0,0741
Среднее	4,1	$49 \cdot 10^{-9}$		Среднее	0,5621

гелийному расстоянию (0,00552) она раскинула исполинский хвост и по праву считается самой замечательной из всех комет последних двух столетий.

Вот, что пишут очевидцы появления больших комет прошлого столетия: «Во время переезда (на пароходе) от Мыса Доброй Надежды (Южная Африка) к экватору, когда мы были недалеко от острова св. Елены, мы увидели большую комету 1843 г. Сначала только часть хвоста поднималась над горизонтом, но, когда ночь проходила за ночью, хвост становился все больше и больше, и, наконец, над горизонтом засияла голова кометы; хвост ее раскинулся на треть неба; ярко сверкало ядро, блеск которого казался равным блеску Венеры. Это было величественное и поражающее зрелище». Тот же наблюдатель пишет про большую комету 1858 VI: «Очень большая комета в продолжение нескольких недель была прекрасным объектом для наблюдений. Тем не менее она казалась ничтожной в сравнении с кометой 1843 года». Другой наблюдатель пишет: «Я вспоминаю комету 1811 года, но она и в половину не была такой блестящей, как эта комета (1843 года)». Но комета 1858 VI была по абсолютной яркости в 140 раз больше кометы 1843 I; комета 1811 I была ярче 1843 I в 360 раз и, тем не менее, самой величественной казалась именно более слабая 1843 I. Все дело не в абсолютном блеске, а в перигелийном расстоянии и в благоприятном расположении кометы относительно Земли. Нужно помнить, что блеск кометы растет обратно пропорционально четвертой степени ее расстояния от Солнца и, если комета приблизится к Солнцу вдвое ближе, ее блеск возрастет в 16 раз, а если в 10 раз ближе, то в 10 000 раз. Вот каково влияние малости перигелийных расстояний. Средние перигелийные расстояния у комет, видимых невооруженным глазом, поэтому почти вдвое больше, чем у больших комет.

Из приведенных выше списков комет видно, что в среднем каждые три года появляются две кометы, видимые невооруженным глазом, и каждые 12 лет одна большая комета. В среднем на год приходится около 5 комет. В столетие, основываясь на статистическом материале с начала текущего века, можно ожидать 10 больших комет, 50 видимых невооруженным глазом и 440 телескопических.

Мнение о том, что в последнее время большие кометы стали более редкими, неверно. Как это и полагается в среднем, в текущем столетии уже было четыре большие кометы: 1901 I, 1910 I, 1910 II и 1927 IX.

С. К. Всехсвятский (Москва), работая по фотометрии комет, обратил внимание на систематическое уменьшение аб-

солютного блеска у всех периодических комет: всякий раз, когда периодическая комета снова приближалась к Солнцу, ее абсолютный блеск становился меньше. Это явление дало возможность оценить продолжительность жизни кометы: если следить за кометой, идя назад по времени, то блеск кометы должен был бы возрастать, а так как большинство периодических комет открыто недавно, то возникает вопрос, как они

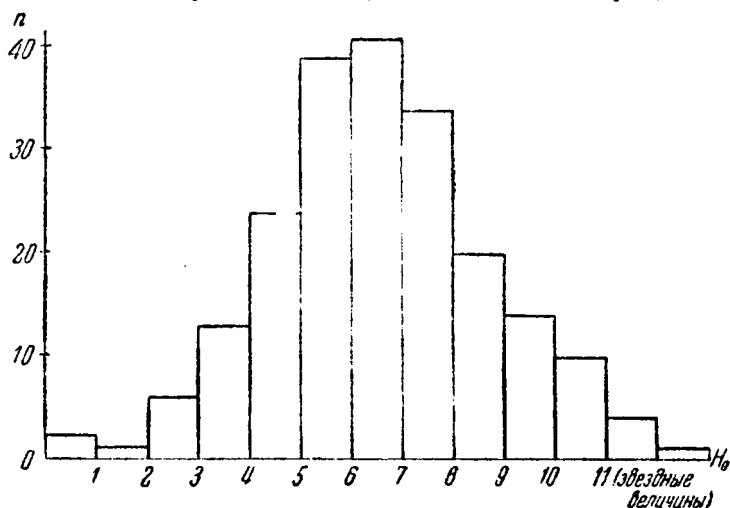


Рис. 8. Распределение комет по абсолютному блеску.

могли ускользнуть от наблюдателей, например, 100 лет тому назад? Отсюда С. К. Всехсвятский сделал смелое предположение о происхождении периодических комет путем взрывов, происходящих и в нашу эпоху на поверхностях больших планет (Юпитер, Сатурн). О происхождении комет мы скажем в одном из следующих параграфов, но что периодические кометы — недавнего происхождения, в этом мало сомнений.

Если взять только так называемые «параболические» кометы, откинув периодические, блеск которых непрерывно и быстро уменьшается, то можно подсчитать, сколько комет имеет абсолютный блеск между 0^m и 1^m , сколько между 1^m и 2^m и т. д. На рис. 8 представлено распределение комет по абсолютному блеску: Больше всего комет с абсолютным блеском от 6^m до 7^m . Число комет с меньшим и большим блеском быстро падает. Однако, из этого нельзя вывести заключение, что и на самом деле кометы имеют подобное распределение по блеску. Большинство слабых комет ускользает от наблюдателей, и чем меньше абсолютный

блеск, тем больше шансов комете обогнуть Солнце, оставшись незамеченной. Повидимому, слабых комет очень много, и общего числа комет даже грубо подсчитать еще нельзя.

Интересно сопоставить абсолютный блеск комет с абсолютным блеском планет солнечной системы ($r=1$, $\rho=1$)

Абсолютный блеск		Абсолютный блеск	
	mg		mg
Юпитер	—8,9	Комета 1811 I	0,0
Венера	—4,0	Луна	0,4
Земля	—3,5	Комета 1908 III	4,2
Комета 1729 . .	—3,0	Комета 1910 II	4,6
Комета 1577 . .	—1,8	Церера	5,5
Марс	—1,3	Эрос	10,6
Меркурий . . .	—0,8	Комета 1922 II	14,8

Приведенные в этой таблице данные позволяют сделать следующие заключения.

1. Абсолютные яркости заключаются в очень широких пределах: самой яркой была большая комета 1729 года (-3^{mg}), самой слабой — телескопическая комета 1922 II ($14^{mg},8$). Комета 1729 года давала света в 10 миллионов раз больше, чем комета 1922 II.

2. По своим абсолютным яркостям кометы занимают среднее место среди планет солнечной системы (в таблице все яркости даны для случая, когда и от Земли и от Солнца светило находится на расстоянии астрономической единицы).

ГЛАВА III

ИСТОРИЯ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ

Земля будет притягивать к себе все свои части... к ней тяготееют предметы... Луну охраняет от падения (на Землю) само движение... Ведь каждый предмет увлекается естественным ему движением, если его не отклонит в сторону какая-либо сила.

Плутарх.

Одним из самых замечательных ученых Англии конца XVII и начала XVIII века несомненно был Эдмунд Галлей (1657—1742). Деятельность этого живого, энергичного ученого была поистине разносторонняя: капитан Королевского флота Англии, военный инженер (фортификационные соору-

жения Триеста), геофизик, статистик и астроном. Наиболее крупные из его открытий и исследований принадлежат астрономии, а из них наиболее ценное — это вычисление кометных орбит и, как следствие, открытие первой периодической кометы, названной впоследствии его именем (комета Галлея).

Шел 1682 год. В эту эпоху идеи о тяготении и о роли его в солнечной системе как бы носились в воздухе: многие догадывались, что именно эта сила заставляет планеты двигаться по эллипсам вокруг Солнца, но никто еще не был в состоянии привести доказательства этой, все еще не разрешенной проблемы. В Англии с особенным интересом стремился к разрешению этой задачи Эдмунд Галлей, тогда еще 28-летний начинающий ученый. При встречах в Лондоне с членами Королевского Общества Реном и Гуком он постоянно возвращался к этому, волнующему его вопросу. Все они были убеждены, что планеты тяготеют к Солнцу, но как доказать это кажущееся таким простым положение? Правда, Гук намекал, что он знает доказательство, но привести его почему-то не хотел. Галлей решил поехать в Кембридж, где тогда жил и работал великий ученый, Исаак Ньютон; в Лондоне тогда много говорили о его выдающихся исследованиях по физике.

В тихий августовский день Галлей приехал к Кембридж. Его ввели в скромно обставленную комнату. Вошел Ньютон; он был роста несколько ниже среднего, худой, но ширококостный; красивые густые волосы завитками падали ему на плечи; слегка прищуриваясь, всматривался он своими живыми, пронизательными глазами в гостя.

После взаимных приветствий Галлей задал вопрос на волнующую его тему: «По какой кривой должны двигаться планеты около Солнца, если предположить, что оно притягивает их с силой обратно пропорциональной квадратам расстояний?» «По эллипсу» сейчас же ответил Ньютон. «Почему по эллипсу?» «Так показали мои вычисления». Задача движения планет уже была разрешена Ньютоном: этим он заложил основу динамики солнечной системы.

Попробуем восстановить ход мыслей Ньютона. Лет за 15 до только что приведенного разговора Гюйгенс опубликовал свои 13 положений о движении тел; одно из них позволяло определить величину центростремительного ускорения для тела, движущегося по окружности радиуса R :

$$a \text{ (ускорение)} = \frac{v^2}{R},$$

где v — скорость тела (см. Приложение IV, стр. 161). При равномерном движении по окружности $v = 2\pi R/T$, где T —



Исаак Ньютон.

период обращения, и тогда

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

Ньютон смело сопоставил эту формулу с третьим законом Кеплера:

$$\frac{T^3}{R^3} = C$$

(отношение квадрата времени обращения T любой планеты к кубу ее среднего расстояния a постоянно для всех планет солнечной системы). Исключив T^2 из двух написанных уравнений, имеем:

$$a = \frac{4\pi^2}{CR^3}.$$

Иными словами, ускорение (а следовательно, и сила, вызывающая это ускорение) изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния планеты от Солнца, в предположении, что они движутся по окружностям.

Этим самым закон действия силы тяготения Солнца на планеты был определен. Но этого было еще мало: Ньютон, обобщая свои мысли, делает новое предположение: всякое материальное тело притягивает к себе другое с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Но сейчас же возникают новые вопросы — как притягивает к себе все тела, например такой исполинский шар, как Земля (радиус 6400 км)? От какой точки Земли нужно отсчитывать расстояния до тела? Будет ли ускорение изменяться по одному и тому же закону и у самой поверхности Земли, и вдали от нее? Ньютон изящным геометрическим методом, применяя созданную им теорию флюксий (дифференциальное и интегральное исчисления), доказал, что шар, подобный Земле, при условии, что его плотность в любой его точке зависит только от расстояния от центра¹⁾, должен притягивать к себе все тела, находящиеся вне его, с силами, обратно пропорциональными квадратам их расстояний от его геометрического центра.

Только доказав это, Ньютон мог идти дальше. Сила тяготения Земли должна простираться далеко; Луна должна тоже притягиваться ею: именно эта сила и сообщает Луне движение вокруг Земли. Но движение Луны известно, и величина ускорения силы тяготения на поверхности Земли

¹⁾ Доказательство приведено в книге Г. Цейтена «История математики в 16 и 17 в.», ОНТИ, 1938, стр. 409.

была уже давно определена Галилеем опытным путем ($g=981$ см/сек²). Это позволяет проверить всю, приведенную выше цепь рассуждений.

Ускорение, с которым движется Луна, притягиваемая Землей, должно быть меньше g во столько раз, во сколько квадрат расстояния R^2 между центрами Луны и Земли больше квадрата земного радиуса R_{\oplus}^2 , или

$$a = \frac{gR_{\oplus}^2}{R^2}.$$

Отношение R/R_{\oplus} Ньютону было известно (60). С другой стороны, движение Луны изучено, и ту же величину a лунного ускорения можно вычислить по формуле Гюйгенса, базируясь на наблюдаемых данных:

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

Но $T=27,32$ ср. солн. суток и $R=384\,400$ км. Если все предположения Ньютона были правильны (сила тяготения Земли притягивает к себе Луну и тем сообщает ей круговое движение; сила тяготения обратно пропорциональна квадрату расстояния между центрами шаров), то обе величины a , полученные из первой и второй формул, должны быть одинаковы:

$$a = \frac{981}{60^2},$$

$$a = \frac{4(3,1416)^2 \cdot 3,844 \cdot 10^{10}}{(86\,400)^2 \cdot (27,32)^2},$$

$$a = 0,272 \text{ см/сек}^2,$$

$$a = 0,272 \text{ см/сек}^2.$$

Результаты совпали. Следовательно, Луна движется вокруг Земли силой земного тяготения; эта сила обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами.

В сущности и этого еще было мало, и не за этим Галлеиздил в Кембридж к Ньютону. Нужно было еще доказать, что всякая планета, притягиваемая Солнцем с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния, должна двигаться по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. С помощью новых, разработанных им математических методов Ньютон доказал и это положение¹⁾. Галлей убедил Ньютона сейчас же подготовить работу к печати. В 1684 г. работа была опубликована Лондонским Королевским Обществом («De motu»).

¹⁾ См. Полак И. Ф., Курс общей астрономии, ОГИЗ, 1939, стр. 154—157.



Эдмунд Галлей.

Так рождалась новая ветвь астрономии — динамика нашей солнечной системы, давшая возможность вычислять пути планет и комет, — то, что теперь называется *теоретической астрономией*. Работы Галлея в этой области дали очень много и на основе их были впервые вычислены несколько кометных орбит и была открыта первая периодическая комета, названная после в честь Галлея его именем.

Ньютон думал, что все кометы, так же как и планеты, движутся по эллипсам, а, следовательно, через определенные промежутки времени снова приближаются к Солнцу и к Земле. Первая орбита кометы, определенная самим Ньютоном, была им вычислена как парабола, и наблюдения хорошо согласовались с вычисленными по элементам положениями кометы. Ньютон знал, что в таких случаях из самих наблюдений с уверенностью величину эксцентриситета определить нельзя, и для окончательного решения задачи предложил очень простой способ. Нужно вычислить орбиты комет по наблюдаемым их положениям, которые можно найти в работах астрономов прежнего времени, считая, что все кометы движутся по параболам. Если окажется, что некоторые из них двигались по одной и той же орбите (элементы q , Ω , i и ω у всех этих комет должны быть близки друг к другу) и приближались к Солнцу через равные промежутки времени, то следует заключить, что это — последовательные появления одной и той же кометы. Определив таким путем период обращения T кометы (промежуток времени между двумя ее последовательными прохождениями через перигелий) по третьему закону Кеплера $a^3/T^2 = 1$, где a — большая полуось орбиты кометы, а T — период обращения в годах, найдем a ; тогда из уравнения $a = \frac{q}{1-e}$ можно вычислить последний недостающий элемент — эксцентриситет e кометной орбиты.

В 1705 г. Галлей напечатал первый каталог кометных орбит (24 кометы от 1337 до 1698 г.)¹⁾, обработав собранные им наблюдения.

«Следуя по стопам великого ума, — пишет Галлей, — я приступил к приспособлению его геометрического метода к арифметическим вычислениям орбит комет, — и труды мои были не напрасны. Собрав отовсюду наблюдения комет, я составил таблицу, плод обширного и утомительного труда, небольшую, но бесполезную для астрономов».

¹⁾ Synopsis Astronomiae Cometicae, *Phil. Trans.*, 297, pp. 1882-1890. 1705.

Приведу из работы Галлея его оригинальную запись элементов кометы 1531 г.

Долгота восходящего узла	Наклонение	Долгота перигелия	Перигелийное расстояние	Момент прохождения через π
ϑ	i	$\bar{\omega}$	q	T_{π}
$\vartheta 19^{\circ}25'$	$17^{\circ}56'$	$\approx 1^{\circ}39'$	56700	24/VIII 21h 18m,5

Перед величиной угла ϑ поставлен знак созвездия Тельца ϑ . В эпоху Галлея углы по эклиптике отсчитывались, как и теперь, от Υ — точки весеннего равноденствия, но вместо того, чтобы написать угол $49^{\circ}25'$ писали $\vartheta 19^{\circ}25'$ (восходящий узел лежит в созвездии Тельца; Телец — второе зодиакальное созвездие; каждое созвездие занимает ровно 30° по эклиптике, поэтому $49^{\circ}25' = 30^{\circ} + 19^{\circ}25'$. Долгота перигелия по записи Галлея $\approx 1^{\circ}39'$, или $300^{\circ} + 1^{\circ}39'$; \approx — знак Водолея, по эклиптике одиннадцатое созвездие). За угол наклона i Галлей брал угол $K' \vartheta E$ (рис. 7, с), но теперь берется угол $i = K' \vartheta E'$ (угол между положительными направлениями Земли и кометы). По современной записи $i = 162^{\circ}4'$. Следовательно, комета Галлея обладает обратным движением относительно планет солнечной системы. Вследствие этого связь между долготой перигелия $\bar{\omega}$ по Галлею и положением перигелия ω по современной записи выразится уравнением $\omega = 360^{\circ} + \vartheta - \bar{\omega}$, или $\omega = 107^{\circ}46'$.

Галлей среди вычисленных им 24 орбит выделил три орбиты, элементы которых оказались чрезвычайно близкими друг к другу.

Привожу список кометных орбит, вычисленных Галлеем (табл. 4).

Таблица 4. Первый каталог кометных орбит Галлея

Прохождение через перигелий	Восходящий узел	Долгота перигелия от узла	Наклонение	Перигелийное расстояние
1337 июнь 2,268	$84^{\circ}21' 0''$	$46^{\circ}22' 0''$	$147^{\circ}49' 0''$	0,40666
1472 февр. 28,932	$281^{\circ}46'20''$	$236^{\circ}12'50''$	$174^{\circ}40' 0''$	0,54273
1531 авг. 24,888	$49^{\circ}25' 0''$	$107^{\circ}46' 0''$	$162^{\circ} 4' 0''$	0,56700
1532 окт. 19,225	$80^{\circ}27' 0''$	$30^{\circ}40' 0''$	$32^{\circ}36' 0''$	0,50910
1556 апр. 21,835	$175^{\circ}42' 0''$	$103^{\circ} 8' 0''$	$32^{\circ} 6'30''$	0,46390
1577 окт. 26,781	$25^{\circ}52' 0''$	$256^{\circ}30' 0''$	$105^{\circ}27'15''$	0,18342
1580 нояб. 28,625	$18^{\circ}57'20''$	$90^{\circ} 8'30''$	$64^{\circ}40' 0''$	0,59628
1585 сент. 27,806	$37^{\circ}42'30''$	$331^{\circ} 8'30''$	$6^{\circ} 4' 0''$	1,09358
1590 янв. 29,152	$165^{\circ}30'40''$	$308^{\circ}36'10''$	$150^{\circ}19'20''$	0,57661
1596 июль 31,830	$312^{\circ}12'30''$	$83^{\circ}50'30''$	$124^{\circ}48' 0''$	0,51293

Прохождение через перигелий	Восходящий узел	Долгота перигелия от узла	Наклонение	Перигелийное расстояние
1607 окт. 16,151	50°21' 0"	108° 5' 0"	162°58' 0"	0,58680
1618 окт. 29,517	76° 1' 0"	286°13' 0"	37°24' 0"	0,37975
1652 нояб. 2,653	88°10' 0"	800° 8'40"	79°28' 0"	0,84750
1661 янв. 16,987	82°30'30"	33°28'10"	32°35'50"	0,44851
1664 нояб. 24,495	81°14' 0"	310°32'35"	158°41'30"	1,02576
1665 апр. 14,219	228° 2' 0"	156° 7'30"	103°55' 0"	0,10649
1672 февр. 20,359	297°30'30"	109°29' 0"	83°22'10"	0,69739
1677 апр. 26,026	236°49'10"	97°12' 5"	100°56'45"	0,28059
1680 дек. 8,042	272° 2' 0"	350°37'30"	60°56' 0"	0,00612
1682 сент. 4,319	51°16'30"	108°23'45"	162° 4' 0"	0,58328
1683 июль 13,118	173°23' 0"	87°53'30"	96°49' 0"	0,56020
1684 май 29,427	268°15' 0"	330°37' 0"	65°48'40"	0,96015
1686 сент. 6,606	350°34'40"	86°25'50"	31°21'40"	0,32500
1698 окт. 8,706	267°44'15"	356°53' 0"	168°14' 0"	0,69129

Считая все три взятые в рамки кометы за одну, периодически проходившую через свой перигелий в 1531, 1607 и 1682 гг., Галлей вычислил большую полуось ее эллиптической орбиты и эксцентриситет. По третьему закону Кеплера $a^3 = T^2$ (a выражено в АЕ и T — в годах). Взяв средний период обращения, $T = 1/2 [1682\ 4/IX - 1531\ 24/VIII] = 75,5$, получим $a^3 = 75,5^2$, или $a = 17,86$.

Из уравнения $1 - e = q/a$ имеем $e = 0,968$. При последнем появлении кометы Галлея в 1909—1910 гг. эти элементы оказались почти неизменными: $a = 17,95$ и $e = 0,9675$. Наибольшее расстояние от Солнца этой кометы (точка афелия) $2a - q$ (рис. 9) равно 35,14. Оттуда Солнце кажется звездой, его видимый поперечник меньше l' и диска невооруженным глазом различить нельзя; но звезда эта ослепительная — яркость ее в 360 раз больше яркости Луны в полнолуние.

«Довольно многое заставляет меня думать (пишет Галлей), что комета 1531 года, которую наблюдал Апиан, была тождественна с кометой 1607 года, описанной Кеплером и Лонгомонтаном, а также с той, которую наблюдал я сам в 1682 г. Все элементы сходятся почти в точности, и только неравенство периодов, из которых первый равен 76 годам и 2 мес., а второй 74 годам и $10\frac{1}{2}$ мес., повидимому, противоречит предположению о тождестве, но разность между ними не столь велика, чтобы ее нельзя было приписать каким-либо

физическим причинам. Мы знаем, что движение Сатурна так сильно возмущается другими планетами, особенно Юпитером, что время его обращения известно лишь с точностью до нескольких дней. Насколько же больше должна подвергнуться таким влияниям комета, уходящая от Солнца почти в 4 раза далее Сатурна». «Поэтому с уверенностью решаюсь

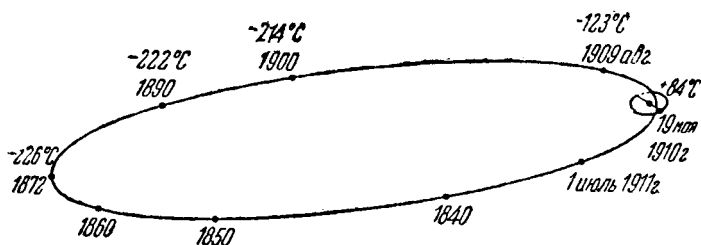


Рис. 9. Орбиты Земли и кометы Галлея.

Положения кометы на ее орбите нанесены с 1840 по 1911 г. Через перигелий комета прошла 19 апреля 1910 г.; а 19 мая того же года комета проходила как раз между Солнцем и Землю (на расстоянии от Земли 28 млн. км). В афелии (1872) комета была на расстоянии 5230 млн. км от Солнца. Ее ядро имело температуру порядка -230°C ; в перигелии расстояние было 88 млн. км, а температура ядра — порядка $+80^{\circ}\text{C}$. Комета наблюдалась с августа 1909 г. по июль 1911 г.

предсказать ее возвращение на 1758 год. Если она вернется, то не будет больше никакой причины сомневаться, что и другие кометы должны снова возвращаться к Солнцу».

Великие ученые обладают редким даром — по неясным, иногда противоречивым данным приходиться к правильным заключениям. Мысли Ньютона о движении комет по иллионским эллипсам с громадными периодами обращений подтверждаются только в наше время. Предсказание Галлея о возвращении к Солнцу его кометы тоже сбылось. С тех пор прошло $2\frac{1}{2}$ столетия. Комета Галлея уже трижды за это время проносилась около Солнца, привлекая к себе всеобщее внимание. Благодаря ей были выработаны новые методы изучения путей комет, произведены исследования над отталкивательными силами Солнца, выработаны новые физические теории кометных форм.

Наступил 1758 год. Приближалось время возвращения кометы Галлея к Солнцу. «Истинные любители науки, — пишет Клеро в своей работе, посвященной комете Галлея, — ожидают ее с нетерпением, потому, что она должна своим появлением подтвердить законы Ньютона, но многие усмеваются, видя астрономов, погруженных в неизвестность и беспokoйство, и утверждают, что комета вовсе не вернется».

Клеро только что начал работать над знаменитой задачей о трех телах, движущихся под влиянием взаимного тяготения. Его заинтересовала возможность применить полученные им формулы для проверки закона ньютоновского тяготения; зная, что комета на всем своем исполинском пути притягивается не только Солнцем, но и другими планетами, он решил вычислить возмущения ее движения, производимые тяготением Юпитера и Сатурна—самых больших планет нашей системы, определить ту орбиту, по которой она вновь должна приближаться к Солнцу, и время прохождения ее через перигелий. Даже в наше время подобная работа считается очень трудной и требует для своего решения много длительных и сложных вычислений, а Клеро должен был ещё выработать сам метод учета возмущений, составить целую серию таблиц для облегчения подсчетов.

Между последовательными прохождением кометы через перигелий в 1531 и в 1607 гг. прошло 27 811 суток, или 76,1 года; следующий период от 1607 г. до 1682 г. имел 27 352 суток, или 74,9 года. Если взять средний период 75,5 года, то комета должна была бы появиться на небе в конце 1757 г., но несмотря на тщательные поиски кометы не было. Ненавистники науки, а их и тогда было достаточно, ликовали, видя в запоздании кометы доказательство несостоятельности теории. Клеро решил ускорить работу: все вычисления до появления кометы должны быть закончены, иначе их значение обесценивалось. На помощь Клеро пришли Лаланд, один из крупнейших французских астрономов, и Гортензия Лепот, выполнившие громадную вычислительную работу.

Имя этой женщины, самоотверженно пришедшей на помощь Клеро и Лаланду, было увековечено следующим оригинальным образом.

Астроном Лежантиль (Франция) был послан в Индию наблюдать прохождение Венеры по диску Солнца в 1761 г. По мысли Галлея наблюдения над прохождением Венеры, произведенные с разных, отдаленных друг от друга пунктов Земли, могли дать точную величину расстояния Земли от Солнца—основной астрономической единицы. Но корабль, на котором плыл Лежантиль, запоздал, и прохождения наблюдать не пришлось; чтобы не повторять опасный и дорого стоящий тогда переезд в Индию (шли войны между Францией и Англией из-за преобладания в Индии), Лежантиль решил остаться и подождать следующего прохождения, которое должно было произойти через 8 лет (прохождения идут одно за другим последовательно через 8 и 125 лет). Но Лежантилю не везло: случайная тучка, надвинувшаяся на Солнце во вре-

мя прохождения, и в 1769 г. сорвала всю его работу. Несчастный Лежантиль возвратился во Францию. Из Индии он вывез новый цветок, еще невиданный в Европе; в честь Гортензии Лепот этот цветок был назван ее именем.

Клеро сначала обработал прежние появления кометы. Он начал следить за ней с момента ее открытия в 1351 г. Учтывая возмущения, он выяснил, что Юпитер ускорил движение кометы за период 1351—1607 гг. на 19 суток; в следующем периоде ускорение увеличилось, и комета прошла через перигелий на 432 дня раньше по сравнению с первым периодом. На самом деле второй период был короче на 459 дней. Теория дала точность подсчетов порядка одного месяца. Клеро пишет: «Если бы мы обратили внимание на сложность причин, производящих неравенства, и на природу задачи, то мы нашли бы эту проверку теории Ньютона более поражающей, чем какая бы то ни была другая». На самом деле, невязка незначительна — она составляет всего 0,14% периода.

После невероятных усилий работу удалось закончить за два месяца до появления кометы. «Я нашел, — пишет Клеро, — что благодаря Юпитеру новый период будет длиннее предыдущего на 518 суток; Сатурн увеличит его еще на 100 суток; поэтому мне кажется, что комета пройдет через перигелий в середине будущего апреля (1759 г. 13 апр.)». Клеро прибавляет, что ошибка в определении момента прохождения может быть порядка одного месяца.

Раньше всех, 25 декабря 1758 г., нашел комету крестьянин Палич, любитель астрономии; он жил в окрестностях Дрездена. Во Франции комету первым открыл Мессье (Париж, Морская обсерватория) 21 января 1759 г. Прохождение через перигелий произошло 12 марта — в пределах неуверенности по Клеро. Комету наблюдали до начала февраля; ненастная погода и близость кометы к Солнцу прервали наблюдения, и только 1 апреля рано утром на фоне зари она вновь заблестела, по яркости равная звезде 1^{mg}, с хвостом длиной около 25°. Слух о появлении знаменитой кометы разнесся по Парижу, но пасмурная погода не давала возможности наблюдать ее. Первый ясный день наступил лишь в мае. Вечером, задолго до захода Солнца, парижане нетерпеливо ждали появления кометы. Зашло Солнце, недалеко от него зажглась яркая звезда, раздались крики «комета». Но это была планета Венера; кометы парижане так и не видели. 28 мая комета удалась от Земли и от Солнца и перестала быть видимой невооруженным глазом. В первых числах июня комета исчезла. Закон тяготения Ньютона получил блестящее подтверждение.

Следующее возвращение кометы ожидалось в 1835 г. Момент прохождения через перигелий был вычислен еще точнее — за это время В. Гершель открыл большую планету,двигающуюся далеко за орбитой Сатурна; ее назвали Ураном, и можно было учесть возмущения и от этой новой планеты. Поитекулан (Париж) закончил работу за год до появления кометы и дал момент прохождения ее через перигелий (13 ноября 1835 г.) с вероятной ошибкой в 11 суток. Прохождение через перигелий на самом деле произошло 16 ноября (ошибка только 3 суток). В эту эпоху перед астрономами уже встали другие задачи: начиналось изучение физического строения небесных светил; зарождалась астрофизика, получившая такое могучее развитие в наши дни.

В. Я. Струве, основатель и первый директор Пулковской обсерватории, так формулировал основные задачи наблюдения кометы Галлея в 1835 г.:

1) Определение точных положений на небе кометы для вычисления орбиты.

2) Изучение ее физического строения.

Комета была открыта в Риме Дюмушелем 5 августа 1835 г. в созвездии Тельца, как слабое туманное пятнышко. 23 сентября ее уже можно было видеть невооруженным глазом. В конце сентября появился хвост. В октябре из ядра по направлению к Солнцу стали изливаться потоки светящейся материи (излияния), похожие на струйки фонтана, веерообразно расходящегося от ядра к Солнцу. Они то гасли, то становились ярче, колеблясь около линии, соединяющей ядро с Солнцем. 9 октября хвост достиг 2° длины. 13 октября по наблюдениям Струве длина хвоста увеличилась до 20° . В начале ноября комета стала приближаться к Солнцу и к 16 ноября (моменту прохождения через перигелий) исчезла в его лучах. В южных широтах она сделалась видимой в начале января, но близко к горизонту. Наблюдения продолжались до 20 апреля. 17 октября Струве наблюдал покрытие кометой двух крохотных звездочек (голова кометы проходила как раз между этими звездочками и Землей). Ядро кометы прошло только в $2''$ от одной из них. Струве не заметил никакого ослабления ее яркости, — поглощение света кометой, даже наиболее плотными ее частями около самого ядра, было ничтожным. Голова кометы проходила через звездочку в продолжение двух часов; Струве тщательно измерял все это время расстояния этой звездочки от центра ядра и от окружающих звездочек и сделал 42 измерения; никакого преломления лучей в голове кометы обнаружено не

было; отсюда следует, что плотность газовых масс в голове кометы ничтожна.

Наблюдения, произведенные Струве и другими астрономами над положением среди звезд хвоста кометы, над формой и направлением излияний и очертаниями головы, дали возможность Бесселю начать исследование хвостов комет. Он первый заложил основы механической теории кометных форм, выработал метод определения величин отталкивательных сил Солнца и приложил его к изучению хвоста кометы Галлея. На основе работ Бесселя русский ученый Ф. А. Бредихин завершил построение теории кометных форм, дал точные формулы обработки комет, определил величины отталкивательных сил Солнца для хвостов 50 комет, дал классификацию кометных хвостов, верно им угаданную и сохранившуюся до нашего времени.

Большое исследование о движении кометы Галлея к ее следующему появлению в 1909—1910 гг. было закончено совместно двумя учеными Коуэллом и Кроммелином (Англия). Коуэлл выработал новый метод непосредственного вычисления возмущенных притяжением планет координат кометы, сильно облегчивший вычисления. Коуэлл и Кроммелин проследили движение кометы задолго до начала нашей эры (240 г.); для каждого из ее прежних появлений им удалось разыскать в старинных хрониках и летописях европейских и азиатских наблюдения над этой кометой, проверяя этим свои вычисления. Нужно только удивляться зоркости умственного взора человека, который с помощью математического анализа мог точно следить за движением кометы на протяжении двух тысячелетий, лишь изредка в записях старинных хроник находя подтверждение, что комета неуклонно идет по вычерчиваемому пути, и цепко держа ее мысленным взором, вновь двигаться дальше назад в глубь давно прошедших веков. Поразительный пример мощи человеческой мысли!

Комета была открыта М. Вольфом (Гейдельберг) 11 сентября 1909 г. Вольф большим астрографом фотографировал ту область неба, где, согласно вычислениям Коуэлла и Кроммелина, должна была появиться комета. На одном из снимков ему удалось различить крохотное туманное пятнышко ($16-17^m$); на следующем снимке оно заметно сместилось относительно звезд — это пятнышко и была комета Галлея, вновь приближающаяся к Солнцу. Уже после ее открытия изображения кометы были найдены на снимках других обсерваторий, полученных раньше 11 сентября [снимок Гелуанской обсерватории (Африка) 24 августа и Гриничской

(Англия) 9 сентября]. Ошибка в положении кометы (в момент открытия), данном в эфемериде Коуэлла-Кроммелина, была ничтожная. Произведенные сейчас же вычисления дали момент прохождения через перигелий на 19,67 апреля¹⁾ 1910 г.— на 3,1 суток позднее предсказанного Коуэллом и Кроммелином.

Ниже приведены данные о комете для трех ее последних появлений.

Момент открытия	1758 25/XII	1835 5/VII	1909 11/III
Момент прохождения через π	1759 12/III	1835 16/XI	1910 19/V
Ошибка в вычислении момента в сутках	+32	+3	+3
За сколько дней до прохождения через перигелий была открыта	67	105	220
Расстояние до Солнца в момент открытия	1.4	2.0	3,6
Сколько дней наблюдалась	157	274	642

В конце января у кометы появился короткий хвост (20'). В феврале комета уже сделалась доступной невооруженному глазу. В начале марта комета исчезла в лучах Солнца, и уже к середине апреля ее вновь можно было найти на восточной стороне неба рано утром. Хвост достигал 10° (Калифорния). Наибольшей видимой яркости комета достигла уже после прохождения ее через перигелий в первой половине мая (0^{мг},6). К сожалению, в центральных и северных областях Европы в мае — «белые ночи» и на светлом фоне неба хвоста кометы заметить было нельзя; но на юге, в Крыму и на Кавказе, вид кометы был совсем другой (рисунки и фотографии кометы Галлея см. вкладной лист II).

Вот что пишет в своем дневнике энтузиаст-любитель астрономии К. А. Пашин (Ессентуки). Под утро 10 мая облака закрывали собой восточную часть горизонта, и кометы видно не было. «Показались звезды Водолея и широкая полоса света, упирающаяся в группу звездочек Пегаса. Я вдруг задрожал от пронизавшей меня мысли — ведь эта полоса и есть продолжение кометного хвоста. Такая громадная длина хвоста! Хвост выдвигается из-за облака все больше и больше. Наконец, показалась и голова кометы. Теперь вся она перед глазами. Какое необычайное и величественное зрелище представляет собою комета в сегодняшнюю ночь». Комета быстро двигалась навстречу Земле и 19 мая проходила по диску Солнца (двига-

¹⁾ Часы, минуты и секунды момента прохождения через перигелий переведены в десятые и сотые доли суток.

лась как раз между Землей и Солнцем) (см. рис. 10). В это время расстояние головы кометы от Земли было всего 0,15 АЕ, или 22,5 млн. км. Хвост, направленный прямо от Солнца, был значительно длиннее, и Земля должна была влететь в

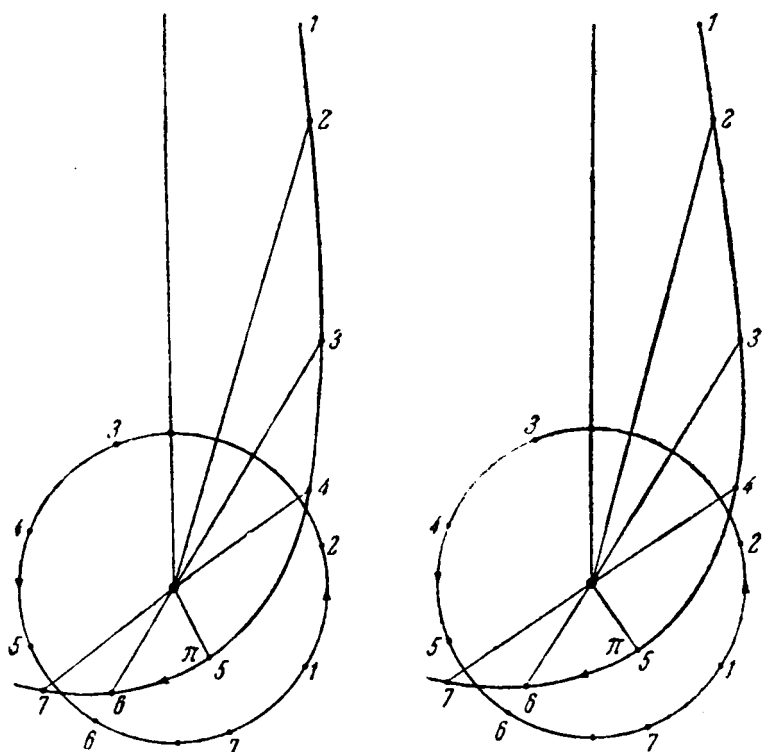


Рис. 10. Стереоскопический рисунок орбит Земли и кометы Галлея. При рассматривании рисунка в стереоскоп мы увидим расположение орбит в пространстве. Одинаковыми цифрами на орбитах помечены одновременные положения Земли и кометы (1—1909, август 22,7; 2—1909, октябрь 9,7; 3—1910, январь 13,7; 4—1910, март 2,7; 5—1910, апрель 19,7; 6—1910, июль 24,7; 7—1910, сентябрь 16,7).

хвост и в продолжение нескольких часов двигаться среди его быстро движущихся газовых молекул. Но, несмотря на тщательные наблюдения за диском Солнца во время прохождения, не было замечено никаких следов кометы. Она оказалась совершенно прозрачной. Казалось бы, что твердое ядро кометы, которое проецировалось на диске Солнца,

должно было быть видимым, как крохотный черный шарик. Но если учесть расстояние, то ядро, поперечник которого порядка двух километров (см. стр. 93), занимало только $0''{,}02$, а такие углы недоступны даже самым сильным из современных инструментов.

В эпоху прохождения Земли через хвост кометы были организованы геофизические наблюдения (анализ воздуха, исследования запыленности воздуха, свечения неба, интенсивности атмосферного электричества и пр.), но не было замечено ничего такого, что можно было бы всецело приписать частям хвоста, проникшим в нашу атмосферу. Не обошлось без анекдотов. Проф. В. К. Церасский (директор Обсерватории Московского университета) получил письмо от капитана одного из волжских пароходов. 19 мая, в день прохождения кометы по диску Солнца, пассажиры обратили его внимание на желтый порошок, рассыпанный всюду по палубе. Думая, что один из пассажиров в шутку разбросал этот порошок по палубе, капитан влез на мачту, но и ванты тоже были покрыты тем же порошком. Тогда капитан решил, что это материя хвоста кометы, рассеявшаяся по земной поверхности. При письме проф. Церасский получил пузырек с порошком. Оказалось, что это споры от цветения сосны: явление, происходящее именно в мае каждый год, но в обычное время мало кто обращал на него внимание, а в эти дни все приписывали комете.

После прохождения по диску Солнца расстояние между Землей и кометой быстро увеличивалось; комета перестала быть видимой невооруженным глазом. Хвост делался все короче и короче. Последнее наблюдение над кометой было сделано Кэртисом (США) 15 июля 1911 г. Комета исчезла на фоне ночного неба, чтобы через несколько десятков лет снова вернуться к Солнцу.

За последнее появление кометы получено около 500 фотографических снимков ее хвоста и головы, около 100 спектрограмм, много отдельных рисунков и сделано громадное количество определений ее положения среди звезд. Только небольшая часть всего материала обработана. Снимки головы, полученные современными длиннофокусными астрографами, дали возможность произвести тщательные измерения очертания ее головы. На основе этих измерений была построена в Москве новая физическая теория головы кометы. Новая теория дает возможность по величинам оболочек определять размеры кометных ядер и их массы. Массы комет, приведенные в таблице 15 на стр. 93, вычислены с помощью этой новой теории.

Мы привели здесь краткую историю одной из самых замечательных периодических комет — кометы Галлея. Таких комет, возвращающихся к Солнцу через различные промежуточные времена, и, следовательно, движущихся по эллиптическим орбитам, сейчас известно около 170; из них только 37 наблюдались проходящими около Солнца более одного раза. Привожу список характерных элементов орбит периодических комет, которые больше четырех раз совершали свой полный оборот около Солнца, причем при каждом своем прохождении наблюдались астрономами (см. табл. 5). Таких комет 13.

Таблица 5. Список периодических комет, пронесившихся около Солнца больше четырех раз

Название	T	q	e	i	n
Энке-Баклунд	3,2840	0,332	0,8498	12°,6	39
Галлей	76,03	0,587	0,9673	162°,2	30
Понс-Виншеке	6,156	1,102	0,6719	20°,1	12
Фай	7,321	1,617	0,5711	10°,6	11
Темпель II	5,162	1,318	0,5590	12°,8	9
Даррэ	6,635	1,352	0,6170	18°,1	8
Вольф I	8,329	2,450	0,4037	27°,3	7
Тэтл I	13,536	1,031	0,8185	55°,0	7
Бнела	6,621	0,861	0,7559	12°,6	6
Брукс	6,935	1,870	0,4858	5°,6	6
Брорзен I	5,463	0,590	0,8098	29°,4	5
Финлей	6,844	1,059	0,7066	3°,4	5
Борелли I	6,875	1,34	0,57	10°,6	5

T —время обращения кометы в звездных годах (365,25d),

n —число наблюденных прохождений около Солнца.

Орбиты периодических комет суть эллипсы с различными эксцентриситетами, а следовательно с различными периодами обращений — от 3,3 года (комета Энке-Баклунда) до 10 000 000 лет. Однако, их орбиты не стоят обособленно в нашей солнечной системе, наоборот, они переплетаются с астероидными орбитами, что указывает на общность их происхождения.

По какому бы элементу, характеризующему орбиты, их не распределять — орбиты комет (К) и астероидов (А) непременно перепутываются:

По величинам эксцентриситета e		По величинам времен обращения T		По величинам углов наклонов	
Церера (А)	0,077	Адонис (А)	2,57	Адонис (А)	1°,5
Швасман-Вахман (К)	0,142	Энке (К)	3,30	Рейнмут (К)	8°,1
Гидальго (А)	0,350	Церера (А)	4,60	Швасман-Вахман (К)	9°,4
Рейнмут (К)	0,503	Рейнмут (К)	7,32	Церера (А)	10°,6
Адонис (А)	0,765	Гидальго (А)	13,7	Энке (К)	12°,5
Энке (К)	0,847	Швасман-Вахман (К)	16,3	Гидальго (А)	43°,1
Галлей (К)	0,967	Галлей (К)	76,0	Галлей (К)	168°,6

Несколько элементов орбит астероидов (А) и комет (К)

Название	e	a	T	i
Адонис (А)	0,765	1,878	2,57	1°,5
Энке (К)	0,847	2,218	3,30	12°,5
Церера (А)	0,077	2,77	4,60	10°,6
Рейнмут (К)	0,503	3,74	7,32	8°,1
Гидальго (А)	0,350	5,71	13,7	43°,1
Швасман-Вахман (К)	0,142	6,43	16,3	9°,4
Галлей (К)	0,967	18,0	76,0	168°,6

Это характерное свойство орбит периодических комет и астероидов, к выяснению которого мы вернемся в предпоследней главе, говорит об общности их происхождения.

ГЛАВА IV

МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ КОМЕТНЫХ ФОРМ

1. Основы теории

Хвосты комет всегда направлены от ядра в сторону, обратную Солнцу; об этом знал еще Сенека (римский ученый начала нашей эры). Что вещество, образующее хвосты комет, отталкивается лучами Солнца, предполагал еще Кеплер, но доказать правильность своей мысли он не мог — в эпоху Кеплера Галилей только еще создавал основы динамики

(движение под действием силы). Прошло еще два с половиной столетия до того как Бессель вывел первые приближенные формулы, по которым можно было вычислить движение частицы под влиянием отталкивательных сил Солнца.

Задавшись какой-либо величиной отталкивательного ускорения Солнца, Бессель мог построить теоретический хвост кометы, сравнить его с наблюдаемым хвостом и путем проб подобрать такую величину отталкивательного ускорения, чтобы теоретически вычисленные точки хвоста совпали с наблюдаемыми. Уже первое применение формул к исследованию хвоста кометы 1835 (Галлея) показало Бесселю правильность предположений, положенных им в основу механической теории кометных форм.

Основные положения этой теории следующие: 1) хвосты комет состоят из материальных частиц (отдельные газовые молекулы или космические пылинки), вылетающих непрерывным потоком из ядра; 2) эти частицы движутся под влиянием двух сил — обычного ньютоновского тяготения Солнца и силы его отталкивания, — величины которых изменяются обратно пропорционально квадратам расстояний от Солнца. Величина ускорения притягивающей силы Солнца на расстоянии одной астрономической единицы от него равна $k^2 = 0,0002959$, причем здесь за единицу расстояния взята 1 АЕ, а за единицу времени — средние солнечные сутки (k^2 называется гауссовой постоянной). В системе CGS на расстоянии 1 АЕ от Солнца солнечное ускорение равно $0,5934 \text{ см/сек}^2$. На расстоянии r от Солнца ускорение его силы тяготения выразится формулой k^2/r^2 . Пусть ускорение его силы отталкивания в R_p раз больше; тогда оно выразится формулой $k^2 R_p / r^2$. Эти ускорения сил тяготения и сил отталкивания Солнца направлены в диаметрально противоположные стороны, и равнодействующая этих ускорений, так называемое эффективное ускорение, очевидно, равно их разности, т. е.

$$\frac{k^2 R_p}{r^2} - \frac{k^2}{r^2} = \frac{k^2 \mu}{r^2}.$$

Отсюда, сокращая все члены уравнения на k^2/r^2 , имеем следующую зависимость между нашими ускорениями $R_p - 1 = \mu$ или $R_p = 1 + \mu$ (ускорение силы притяжения Солнца здесь принято за единицу). Символом R_p или $1 + \mu$ обозначается ускорение отталкивательной силы Солнца, а μ — эффективное ускорение Солнца, т. е. то ускорение, под влиянием которого движется частица, отталкиваемая Солнцем с ускорением $1 + \mu$ и притягиваемая с ускорением, равным единице. Эффективное ускорение $\mu = R_p - 1$ может быть по-

ложительным, если $R_p > 1$; в этом случае Солнце отталкивает частицу. Если $R_p < 1$, то μ — отрицательно, и частица движется под влиянием ослабленного тяготения. Если исследуют движение частицы в системе астрономических единиц, то ее эффективное ускорение на расстоянии r от Солнца будет $k^2\mu/r^2$.

Прежде чем дать понятие о точной теории движения частицы, вылетевшей из ядра и движущейся под влиянием отталкивательной силы Солнца, познакомимся с упрощенными формулами. Для многих задач в теории кометных форм этими упрощенными формулами пользуются и сейчас. Почти вся теория строения головы кометы выведена с их помощью. Упрощение задачи основано на том, что размеры головы кометы ничтожно малы по сравнению с ее расстоянием r от Солнца, и можно принять, что во всем объеме, занимаемом головой кометы и началом хвоста, силы солнечного тяготения и отталкивания постоянны как по величине, так и по направлению ¹⁾. На расстоянии r от Солнца ускорение силы тяготения будет k^2/r^2 , а отталкивательное ускорение $k^2(1 + \mu)/r^2$; их величины постоянны.

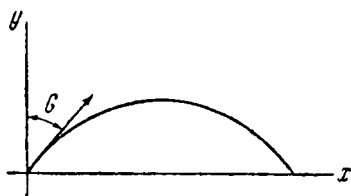
Для объяснения строения головы кометы и хвоста Бессель принял, что частицы, формирующие голову и хвост кометы, непрерывно вылетают по всем направлениям из ядра кометы с одними и теми же скоростями. Разберем их движение в плоскости орбиты кометы.

Проще всего исследовать движение этих частиц относительно ядра кометы. Частица вырвалась из ядра и полетела по направлению к Солнцу; чтобы иметь право рассматривать ее движение относительно ядра, нужно сделать так, чтобы на него не действовало тяготение Солнца; в механике это делается просто — нужно приложить к ядру и к частице ускорение силы тяготения Солнца, взятое в обратном направлении; тогда ядро как бы не будет притягиваться Солнцем, и мы получим возможность относительно его изучать движение нашей частицы. Ускорение частицы было $k^2\mu/r^2$, оно направлено от Солнца; приложив ускорение силы тяготения k^2/r^2 , взятое в обратном направлении, — следовательно, тоже от Солнца, — получим $k^2(1 + \mu)/r^2$. Вот с каким ускорением движется наша частица относительно ядра кометы.

Вспомним, как движется брошенное тело у нас на по-

¹⁾ По тем же соображениям, исследуя, например, падение тел на Земле, принимают, что ускорение силы тяжести $g = 981$ см/сек² постоянно, хотя, конечно, его величина обратно пропорциональна квадратам расстояний от центра Земли. Если даже подняться с поверхности Земли на 1 км, то ускорение силы тяжести уменьшится только на 0,03%.

верхности Земли. Пусть мы бросили камень со скоростью v под углом G к вертикальной линии (ось y на рис. 11). Разложим движение камня по оси y (вверх) и по оси x (горизонтально). Через t секунд камень, под действием сообщенной ему скорости, поднимется вверх на расстояние $vt \cos G$, но его тянет вниз сила тяжести, и в то же время t он должен упасть вниз на расстояние $gt^2/2$ (g — здесь ускорение силы тяжести). Следовательно, камень пройдет расстояние



$$y = vt \cos G - \frac{gt^2}{2}.$$

Рис. 11. Движение брошенного тела.

По оси x (горизонтальной) сила тяготения не действует, и движение будет без действия силы, т. е. прямолинейным и равномерным: $x = vt \sin G$. Из написанных двух уравнений можно исключить время t ; тогда получим кривую движения камня

$$y = x \operatorname{ctg} G - \frac{g}{2v^2 \sin^2 G} x^2.$$

Эта кривая называется параболой.

Можно начертить эту кривую, задавшись каким-нибудь углом G и величиной скорости v . Пусть, например, $G = 45^\circ$ и $v = 10$ м/сек, $g = 9,8$ м/сек². Получим величины x и y из уравнения $y = x - 0,098x^2$:

x	2,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
y	1,61	2,37	2,45	2,33	1,47	-0,20

На рис. 12 вычерчены параболы, по которым движутся тела, брошенные со скоростью 10 м/сек под углами к вертикальной линии в 15° , 30° , 45° , 60° . Так располагаются струйки фонтана, выбрасываемые по всем направлениям из точки A . Огибающая всех этих струек, нанесенная на чертеже пунктиром, тоже парабола. Это и есть очертание головы кометы.

Частицы выкидываются из ядра кометы широким веером по направлению к Солнцу (направление на Солнце указано стрелкой). Отталкивательная сила Солнца заставляет все частицы относительно ядра двигаться по параболам (ускорение постоянно) и из головы кометы гонит их в ее хвост. Очертание головы кометы должно быть параболой. В этом и состоит фонтанная теория головы кометы, как ее представляли себе Бессель и Бредихин.

Русский ученый, акад. Ф. А. Бредихин (1831—1904 гг.), на основе положений, данных Бесселем, завершил своими работами механическую теорию кометных форм. Сначала он критически разобрал все исследования Бесселя, нашел и исправил неточности, вкравшиеся в его приближенные

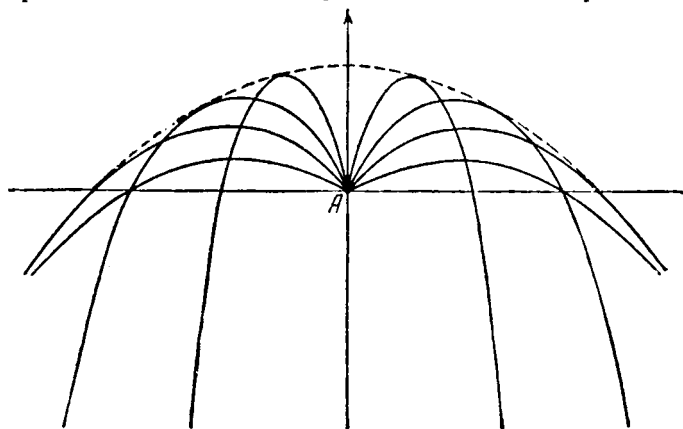


Рис. 12. Голова кометы по фонтанной теории.

формулы; показал, что на основе этих формул нельзя с уверенностью определять величины отталкивательных ускорений Солнца и развивать дальше теорию. Он дал метод изучения кометных форм, основываясь на точных формулах, учитывающих, что частицы, отталкиваемые Солнцем, движутся по гиперболическим орбитам; разобрал и объяснил на основе механической теории все наблюдавшиеся в то время формы кометных хвостов, дал основы, верно угаданные им, классификации хвостов; развил теорию распада комет на метеорные потоки. Эти работы создали ему мировую известность. Со времен Бредихина ведущая роль в работах по теории кометных форм принадлежит русским астрономам.

Движение тела под влиянием силы тяготения Солнца было впервые аналитически исследовано Ньютоном. Он показал, что раз сила тяготения пропорциональна произведению тяготеющих масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами тяжести, то орбитой тела относительно Солнца будет одно из конических сечений — эллипс или гипербола ($f = k^2m/r^2$ — масса Солнца здесь принята за единицу, расстояния взяты в астрономических единицах, время в средних солнечных сутках). Совершенно тем же методом можно решить задачу о движении тела под влиянием отталкивательной силы Солнца, ускорение которой

выражается, как мы уже видели, формулой $k^2\mu/r^2$. Орбита такого тела — всегда гипербола. Точки O и O_1 (рис. 13) называются фокусами гиперболы, в фокусе O — Солнце; частица M , отталкиваемая Солнцем, должна двигаться по той ветви гиперболы, которая обращена выпуклостью к Солнцу.

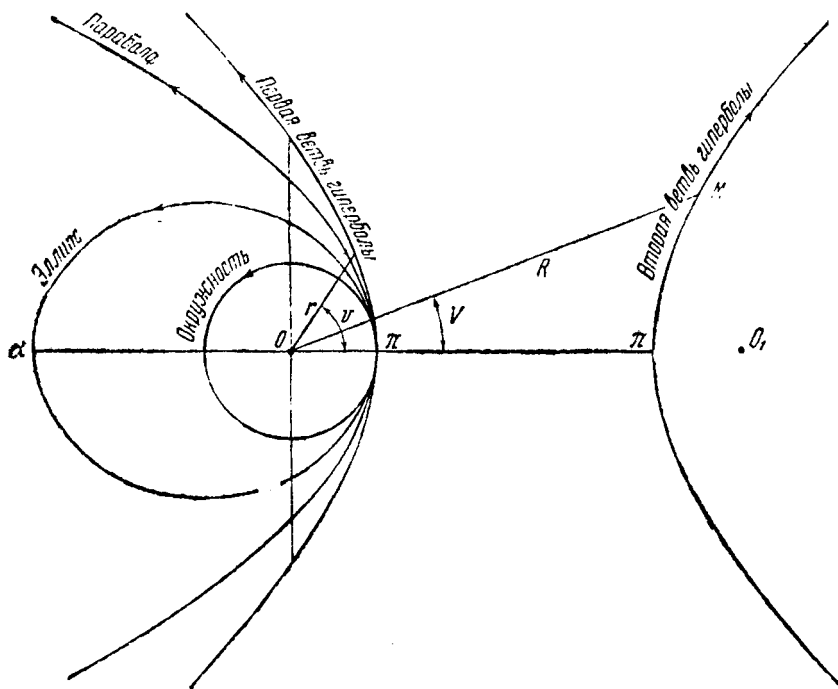


Рис. 13. Слева — орбиты планет и комет, движущихся под действием притяжения Солнца; справа — орбита частицы кометного хвоста, движущейся под действием отталкивательной силы Солнца.

Представим себе, что комета движется по параболической орбите AB , в фокусе которой в точке S находится Солнце (рис. 14). Когда ядро кометы было в точке a_1 , из него вылетела частица и сейчас же, подхваченная отталкивательной силой Солнца, понеслась прочь от него по своей гиперболической орбите a_1b_1 . Если для эффективного ускорения μ взять какое-либо значение, то соответствующую гиперболическую орбиту можно вычислить. Когда ядро пронеслось через точку a_2 , из него вылетела другая частица с тем же ускорением и стала двигаться по своей орбите a_2b_2 и т. д. Посмотрим, как расположатся наши частицы, когда яд-



Ф. А. Бредихин

ро кометы будет в точке B . Первая частица, вылетевшая раньше других, пролетит дальше всех и будет в точке b_1 , вторая частица долетит в то же время до точки b_2 и т. д. Если представить себе, что из ядра кометы все время непрерывным потоком вылетали частицы, то они, очевидно, расположатся на кривой $b_1 b_2 b_3 b_4 B$. Если величина эффективного ускорения все время была в μ раз больше ньютоновского ускорения и частицы вылетали из ядра при одних и тех же начальных условиях (например, отсеивались без какой-либо скорости из ядра; $g = 0$), то кривая $b_1 b_2 \dots B$ носит название *синдинами*. Из таких синдинам и состоят хвосты комет (хвосты I типа). На рис. 14 видно, что хвост направлен от Солнца и резко искривляется в сторону, обратную движению кометы.

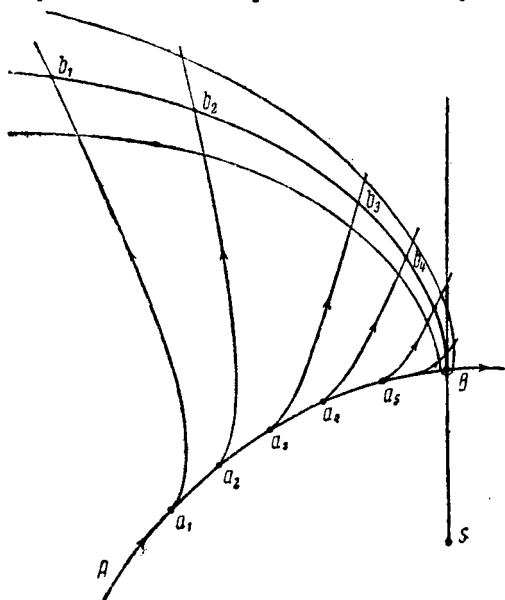


Рис. 14. Синдинами.

Из таких синдинам и состоят хвосты комет (хвосты I типа). На рис. 14 видно, что хвост направлен от Солнца и резко искривляется в сторону, обратную движению кометы.

2. Классификация кометных хвостов по Бредихину

Ф. А. Бредихин первый применил точные формулы гиперболического движения для исследования кометных хвостов и с помощью этих формул изучил несколько десятков комет, определив величины отталкивательных ускорений Солнца, образующие их хвосты. Примерная схема определения отталкивательных ускорений следующая. Имеется рисунок хвоста кометы с отмеченными на нем звездочками, окружающими комету. Отождествив звезды по атласу и зная их координаты (прямое восхождение и склонение), можно определить координаты любой точки на рисунке. Задавшись какой-либо величиной отталкивательного ускорения Солнца и зная орбиту кометы, можно вычислить соответствующую синдинему и врисовать ее положение среди звезд на рисунке кометы. Если

средняя линия хвоста не совпала с вычерченной синдиной, то изменяют взятую величину $1+\mu$ (отталкивательного ускорения Солнца), вычисляют вторую синдину и врисовывают ее. Путем проб, последовательными приближениями, добиваются того, чтобы врисованная синдина аккуратно легла по средней линии хвоста, имея ту же кривизну. Это всегда удается сделать, что указывает на правильность предположения об образовании хвостов отталкивательными силами Солнца и о том, что эти силы обратно пропорциональны квадратам расстояний. Подобным путем (метод проектирования) Ф. А. Бредихин определил средние величины $1+\mu$ для нескольких десятков кометных хвостов и еще в 1877 г. высказал предположение, что существуют три типа хвостов, резко отличающихся друг от друга величинами $1+\mu$.

Привожу классификацию Бредихина (1903 г.).

Хвосты I типа по Бредихину имеют отталкивательные ускорения $1+\mu=18$. Эти хвосты имеют еле заметную кривизну в сторону, обратную движению кометы, направлены прямо от Солнца, располагаясь вдоль продолженного радиуса-вектора кометы. Исследуя движение облачных образований в хвостах I типа, Бредихин пришел к убеждению, что отталкивательные силы в них кратны числу порядка 18 ($1+\mu=18n$, где $n=1, 2, 3$ и т. д.). Им были обнаружены ускорения, равные 36 и 72. Кратность ускорений, подтверждена современными исследованиями (см. стр. 59).

Хвосты II типа, более широкие и яркие, резко кривятся в сторону, обратную движению кометы (вкладной лист III, 7). Величины $1+\mu$ в этих хвостах принимают все значения от 2,5 до 0,5. Средняя линия хвоста соответствует $1+\mu=1$, или $\mu=0$ (частицы средней линии хвоста движутся прямолинейно и равномерно относительно Солнца, так как эффективное ускорение $\mu=0$).

Хвосты III типа еще дальше отходят в сторону, обратную движению кометы. У них $1+\mu$ принимают все значения от 0,3 до 0.

Кроме трех основных типов хвостов Бредихин установил наличие еще хвостов аномального типа; частицы, его образующие, совсем не отталкиваются Солнцем; вылетая из ядра кометы, они располагаются внутри кометной орбиты, представляя собой слабо светящуюся еле видимую полосу, направленную от головы кометы к Солнцу.

Основы бредихинской классификации кометных хвостов получили всеобщее признание и были развиты в последнее время трудами советских астрономов.

Облачные образования

Иногда в ядре кометы происходит нечто вроде взрыва, в результате чего вырывается целое облако частиц, причем все они отталкиваются Солнцем с одной и той же силой. В таком случае наше облако будет двигаться в хвосте как одно целое, медленно расширяясь и уменьшаясь в яркости. За движением подобного облака можно следить, особенно по фотографическим снимкам кометы, с очень большой точностью, что позволяет определить и его орбиту, и величину ускорения $1 + \mu$ отталкивательной силы Солнца с достаточной уверенностью. Такие облачные образования часто наблюдаются в хвостах I типа (вкладной лист III, 3).

Синхронные образования и хвосты II типа

Может быть и другой случай. Часто в какой-либо точке A (рис. 15) из ядра кометы сразу вырвется целое облако частиц, причем на каждую из них действует своя, ей присущая по величине отталкивательная сила Солнца. Частица с отталкивательным ускорением $1 + \mu = 2,5$ (ускорение в два с половиной раза большее ньютоновского) пойдет по гиперболической орбите Aa ; другая, с ускорением $1 + \mu = 2$, пойдет по кривой Aa_1 ; с ускорением $1 + \mu = 1$ пойдет по Aa_2 и с ускорением $1 + \mu = 0,5$ пойдет по кривой Aa_5 . Когда ядро кометы достигнет точки B , все наши частицы, как показывают вычисления, расположатся на прямой aa_5 , направленной к ядру кометы. Подобные полоски называются *синхронами*; из них образуются хвосты II типа.

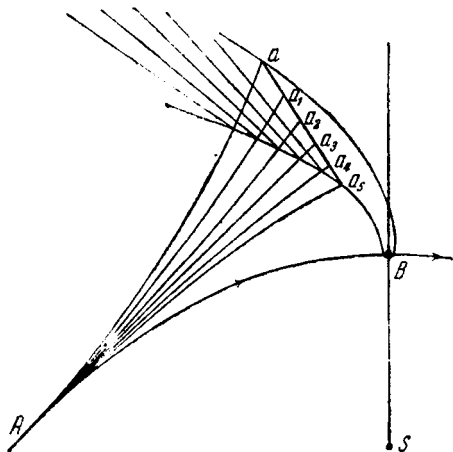


Рис. 15. Синхроны в хвосте II типа.

Если таких взрывов, в результате которых выделялись целые облака частиц, было несколько, один за другим, то хвост кометы будет состоять из отдельных поперечных полосок — синхрон, направленных к ядру. Подобный хвост II типа можно видеть на вкладном листе I, 7.

Величины ускорений отталкивательных сил в этих хвостах принимают все значения от $1 + \mu = 2,5$ до $1 + \mu = 0,5$. Между этими ускорениями имеется $1 + \mu = 1$, или $\mu = 0$; следовательно, эффективное ускорение просто равно нулю и движение без действия какой-либо силы (ускорение равно нулю) должно быть прямолинейным и равномерным (на рис. 15 Aa_3 — прямая); это единственный случай в солнечной системе движения по прямой. Если взять предельное значение $1 + \mu = 0,5$, то $\mu = -0,5$. Знак минус эффективного ускорения говорит о том, что наша частица, в результате сложения сил, притягивается Солнцем, но притяжение вдвое меньше ньютоновского (ослабленное тяготение).

Хвосты III типа

Бывают случаи, что после взрыва выделяется облако частиц, величины отталкивательных ускорений которых принимают все значения от $1 + \mu = 0,3$ до $1 + \mu = 0$, а эффективные ускорения от $\mu = -0,7$ до $\mu = -1$ (ньютоновское ускорение). Здесь

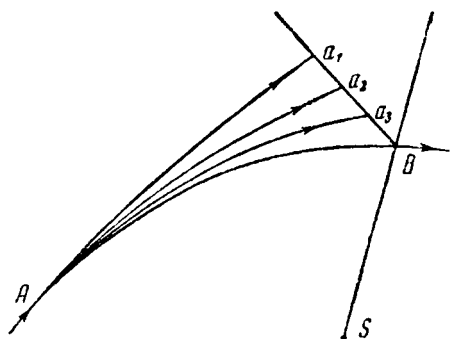


Рис. 16. Хвост III типа (одна синхрона).

тоже получится синхрона, но так как крайнее значение $1 + \mu = 0$ и $\mu = -1$, то на эти частицы отталкивательная сила просто не действует, и частицы, если они не получили заметных начальных скоростей, еще долго будут двигаться рядом с ядром под влиянием только силы тяготения Солнца; частицы с ускорением $1 + \mu = 0,3$, двигаясь по гиперболам, успеют далеко отойти от

ядра, и все облако растянется в полосу — синхрону, начинающуюся непосредственно от ядра (рис. 16). Такие отдельные полосы, встречающиеся довольно редко, образуют собой хвосты III типа (см. хвост III типа, отходящий от ядра вверх и влево, на вкладном листе 1,7).

Довольно редко наблюдаются светящиеся кольца, так называемые *галосы*, концентрические с ядром кометы. Галосы медленно расширяются, радиус их неуклонно и равномерно растет, они становятся все слабее и слабее и, наконец, исчезают, сливаясь с фоном неба. Объясняются галосы внезапным выбросом из ядра частичек, вылетающих одновремен-

но по всем направлениям почти с одинаковыми скоростями. На эти частицы отталкивательные силы Солнца не действуют совсем; поэтому они равномерно отходят от ядра, группируясь на поверхности сферы, центр которой — в ядре кометы, а радиус непрерывно растет. Если смотреть издали на такую сферу с тонкими стенками, то по краям ее луч зрения встретит значительно больше светящихся частиц, чем ближе к середине — сфера будет казаться светящимся кольцом. На вкладном листе III, 2 можно видеть два галоса в голове кометы Донати (1858 VI).

3. Определение отталкивательных ускорений в хвостах I типа

Определение величин отталкивательных ускорений в хвосте кометы методом проектирования (см. стр. 54) основано на изучении его кривизны, но хвосты I типа почти прямые и стелятся прямо от головы кометы в сторону, обратную Солнцу; малейшая ошибка в определении его кривизны во много раз может увеличить или уменьшить искомое значение отталкивательного ускорения Солнца. Поэтому определение ускорений в этих хвостах производится по движению в них облачных образований. Эти хвосты состоят из отдельных часто неправильной формы струек и облачных образований, иногда достаточно резко выделяющихся в течение нескольких суток. Изучая снимки хвостов I типа, стараются отождествить одно и то же облачное образование на нескольких снимках, полученных в разные моменты времени. Если это удалось, намечают центр облачного образования и определяют его положение среди звезд, всегда имеющих на том же снимке. Так как начальные скорости, с которыми облачные образования вырываются из ядра, в десятки раз меньше орбитальной скорости самой кометы, то можно принять, что они движутся в плоскости кометной орбиты, положение которой в пространстве хорошо известно. Тогда, зная направление с Земли на центр облачного образования, можно продолжить его до пересечения с плоскостью кометной орбиты и вычислить расстояние R (радиус-вектор) центра облака от Солнца.

Пусть на нескольких снимках кометы, полученных в моменты времени M_1, M_2, M_3 , можно различить продвигающееся в хвосте облачное образование. Тщательно измеряют центр этого облака относительно близлежащих звезд, координаты которых (α и δ) можно взять из каталога. Для каждого из снимков вычисляем R_1, R_2, R_3 , и т. д. Путь, пройденный облачным образованием относительно

Солнца, за время $M_3 - M_1$, всегда очень мал по сравнению с расстоянием его от Солнца; поэтому эффективное ускорение облака можно считать постоянным.

Из элементарной физики мы знаем закон движения тела под влиянием постоянного ускорения $s = vt + at^2/2$. Приведу пример. На трех последовательных снимках хвоста кометы 1903 IV были измерены положения (α , δ) облачного образования. В таблице даны моменты снимков и вычисленные радиусы-векторы:

	M	R	
Июль	24,4382	0,94822	
»	24,6438	0,94982	0,00160 = 0,2056 v + 0,02114 a
»	24,7701	0,95135	0,00313 = 0,3319 v + 0,05508 a

Примем первый момент за начало счета времени, когда облако имело скорость v и двигалось с постоянным ускорением

$$a = \frac{k^2 \mu}{R_1^2}.$$

Для второго момента можно написать следующее уравнение:

$$R_2 - R_1 = v(M_2 - M_1) + \frac{a(M_2 - M_1)^2}{2},$$

или

$$0,00160 = 0,2056v + 0,02114 a.$$

Уравнения написаны в таблице. Наши два уравнения с двумя неизвестными решаем обычным способом и получаем $v = 0,00509$, $a = 0,0262$. Так как $a = k^2 \mu / R_1^2$, то $\mu = a R_1^2 / k^2$, но $R_1 = 0,94822$, а $k^2 = 0,000296$. Отсюда $\mu = 80$. Для v за единицу времени взяты средние солнечные сутки (86 400 сек.), за единицу длины 149 450 000 км. Отсюда

$$v = \frac{0,00509 \cdot 149\,450\,000}{86\,400} = 8,8 \text{ км/сек.}$$

На самом деле приходится пользоваться более сложными формулами, принимая во внимание движение облачного образования не по прямой, а по гиперболе, как это и происходит на самом деле, и считая a не постоянным, а изменяющимся обратно пропорционально квадратам расстояний. Тогда μ , вычисленное по более точным формулам, будет на несколько процентов больше.

Наиболее надежный метод определения гиперболической орбиты облачного образования и величины эффективного ускорения μ был выработан в Москве советскими учеными. Применение его всегда дает результаты, лучше согласую-

щиеся с наблюдениями, чем более сложные методы, выработанные на Западе (Копф, Гондолач и др.).

В табл. 6 приведены результаты вычислений величины $1+\mu$ (ускорение отталкивательной силы Солнца), произведенных в Москве по движениям облачных образований в хвостах I типа.

Таблица 6. Отталкивательные ускорения в хвостах I типа

Комета	Число наблюдений	$1 + \mu$	Кратность n	$\frac{1 + \mu}{n}$
1892 I	5	45,5	2	22,8
1899 I	5	22,5	1	22,5
1882 II	4	23,2	1	23,2
1882 II	4	20,0	1	20,0
1903 IV	6	86,8	4	21,7
1908 III	16	66,4	3	22,1
1908 III	16	87,8	4	22,0
1908 III	16	155,4	7	22,2
1908 III	9	160,4	7	22,9
1908 III	—	200,0	9	22,2
1910 II (Галлея)	20	66,5	3	22,3
		734,5	33	Среднее 22,3

Обнаруживается интересная особенность отталкивательных сил в хвостах I типа: они всегда кратны числу порядка 22,3 или $1+\mu=22,3n$ (где $n=1, 2, 3$ и т. д.).

Эта характерная особенность подтверждается статистической обработкой скоростей облачных образований в хвосте кометы 1908 III, определенных проф. Вольфом (Германия). Если получать по два снимка хвоста кометы за ночь, то всегда можно на них отождествить много отдельных облачных образований и определить их положения. Но, как мы уже видели, для определения $1+\mu$ нужны три наблюдения над одним и тем же облаком; по двум можно определить только их скорости. Ф. А. Бредихин выработал способ приближенного определения ускорения $1+\mu$ отталкивательных сил Солнца по скоростям облачных образований. Применяв этот метод для каждой величины скорости, данной Вольфом, можно было подсчитать приближенные значения $1+\mu$. Всего Вольфом измерено было 128 скоростей. Способ, разработанный в Москве, дал возможность выделить наиболее вероятные величины $1+\mu$.

На рис. 17 по абсциссам отложены величины $1+\mu$, а по ординатам — числа, показывающие, сколько раз данная ве-

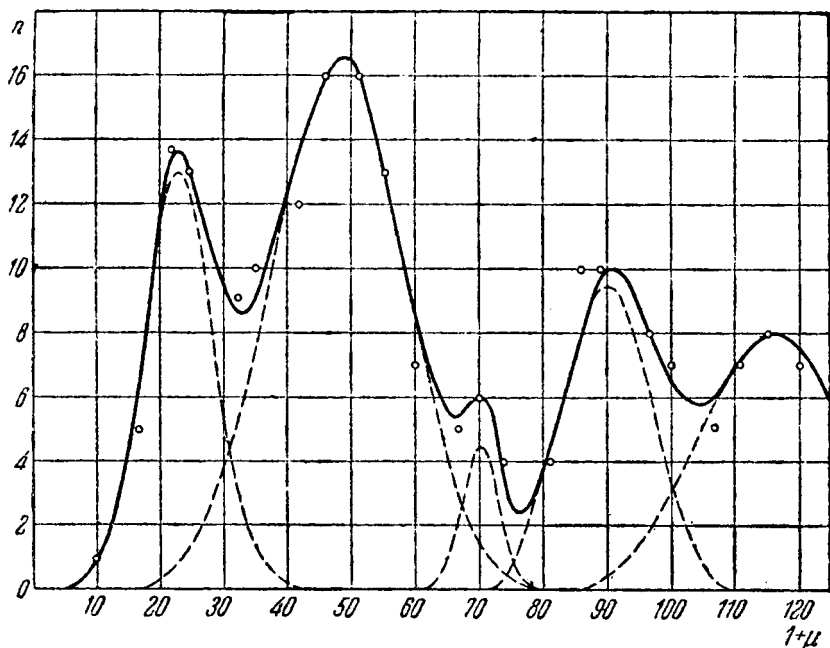


Рис. 17. Отталкивательные ускорения в хвосте кометы Морхауза (1908 III).

личина $1+\mu$ наблюдалась в хвосте кометы. Значения $1+\mu$ получались приближенные и отклонялись от реальных как в ту, так и в другую сторону. Из теории ошибок известно, что чем отклонение больше, тем реже оно встречается. При большом числе измерений мы будем иметь одинаковое количество как положительных, так и отрицательных отклонений. Кривая распределения случайных ошибок симметрична (рис. 18); она носит название кривой Гаусса. Эта кривая выражается вполне определенной формулой, параметры которой характеризуют точность измерений.

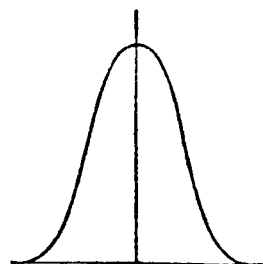


Рис. 18. Кривая Гаусса.

Наша сложная кривая $1+\mu$ была разбита на отдельные элементарные кривые Гаусса, причем оказалось (рис. 17), что в хвосте, повидимому, были отталкивательные силы порядка 23, 48, 70, 90 и 115. Все эти величины кратны числу 60

порядка 23. Статистические сравнительно грубые исследования подтвердили кратность сил в хвостах I типа, заподозренную еще Ф. А. Бредихиным.

4. Величины отталкивательных ускорений в голове кометы

Много раз наблюдались крохотные облачные образования,двигающиеся в самой голове кометы в областях, близких к ядру. Теми же методами, как и для хвостов, и для них определялись величины отталкивательных ускорений Солнца. Несмотря на то, что в хвосте I типа силы кратны числу 22,3, в голове той же самой кометы подобных величин совсем нет: здесь силы значительно меньше — порядка 1. Правда, спектр хвостов указывает на присутствие в них ионизированной окиси углерода (CO^+) и азота (N_2^+), а в спектре головы других излучений — углерода (C_2 , спектр Свана) и циана (CN), и ничего странного нет, что в голове кометы действуют иные, чем в хвосте, отталкивательные силы Солнца.

Привожу в табл. 7 результаты вычислений отталкивательных ускорений Солнца для облачных образований в голове кометы Галлея 1910 II, по измерениям Бобровникова (Северная Америка).

Таблица 7. Отталкивательные ускорения в голове кометы Галлея

Эпоха	Число наблюдений	$1 + \mu$	Спектр облака
1910			
Апрель 17—20	6	0,5	—
Май 8—11	7	2,5	Спектр CN
» 13—17	8	0,6	» C_2 (углерод)
» 13—17	8	0,7	» C_2 »
» 13—17	8	1,9	» C_2 »
» 14—15	5	2,6	—
» 26—28	5	1,0	—
Июнь 31—2	10	1,0	—
» 2—4	8	4,6	—
» 5—6	6	2,2	—

Есть некоторые данные предполагать, что циановые облака в среднем движутся под действием сил, в 2,5 раза больших солнечного тяготения, а облака из углерода (C_2) имеют силы порядка 1.

Строение головы кометы

Голова кометы состоит из ядра (вкладной лист IV, 3) и оболочки; иногда видно несколько оболочек, облегающих одна другую (многоярусные оболочки). Очертания оболочек на солнечной стороне кометы обычно довольно определены и резки, а форма их близка к параболе, имеющей фокус в ядре кометы. Мы уже видели, как просто объясняется строение головы и ее оболочек «фонтанной» теорией Бесселя.

Применим еще раз простые формулы, выведенные еще Галилеем, для падения тел под влиянием земной силы тяжести. Пусть частица выброшена из ядра кометы прямо к Солнцу (вверх на рис. 12) со скоростью g_0 ; тогда без действия какой-либо силы она двигалась бы от ядра равномерно и прямолинейно по формуле $s = g_0 t$ (s — пройденный частицей путь, t — время от начала движения). Но частица отталкивается Солнцем с ускорением a и за время t пройдет в обратном направлении $at^2/2$. В результате этих двух движений частица пройдет путь $s = g_0 t - at^2/2$. Скорость g движения все время будет уменьшаться: в единицу времени уменьшение скорости равно самому ускорению $-a$, а в t уменьшение достигает $-at$; формула скорости будет: $g = g_0 - at$. Из этих двух написанных формул можно исключить время t ; мы получим новую формулу

$$s = \frac{g_0^2 - g^2}{2a}.$$

Эта формула дает зависимость пути s от скорости g (g_0 и a — постоянные величины). Когда наша частица достигнет вершины оболочки, она остановится и под влиянием отталкивания Солнца полетит вниз к ядру; в момент остановки ее скорость, очевидно, равна нулю. Положив в последней формуле $g = 0$, получим расстояние s_0 от ядра до вершины оболочки

$$s_0 = \frac{g_0^2}{2a}.$$

В исследованиях головы кометы приняты свои специальные обозначения: расстояние от ядра до вершины оболочки обозначается символом ξ_0 (греческая буква «кси»), начальная скорость обозначается буквой g . Ускорение отталкивательной силы Солнца (см. стр. 49) $a = k^2(1 + \mu)/r^2$ обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца, и наша формула примет вид:

$$\xi_0 = \frac{g^2 r^2}{2k^2(1 + \mu)}.$$

Даже эта простая формула может кое-что рассказать нам о жизни кометы. Скорость g можно считать постоянной, совершенно так же, как и величину $1 + \mu$. Тогда расстояние от вершины оболочки до ядра, а, следовательно, размеры оболочки должны изменяться в зависимости от расстояния r кометы от Солнца: чем больше r , тем больше размеры оболочки; чем ближе комета к Солнцу, тем меньше оболочка (расстояние от вершины оболочки до ядра пропорционально r^2). Это странное на первый взгляд свойство оболочек подтверждено наблюдениями над их размерами, но закон изменения оказался другим. В табл. 8 приведены значения ξ_0 для одной из оболочек в голове кометы Галлея (1910 II) на разных расстояниях ее от Солнца. Измерения произведены по снимкам кометы, полученным на Иеркской обсерватории (Северная Америка).

Таблица 8. Изменение размеров оболочки в зависимости от расстояния кометы от Солнца

r	Наблюдаемые ξ_0	ξ_0 , вычисленные по старой формуле	ξ_0 , вычисленные по новой формуле
0,5982	0,000140	0,000081	0,000174
0,5890	0,000171	0,000078	0,000173
0,5917	0,000185	0,000079	0,000173
0,6753	0,000197	0,000102	0,000199
0,9892	0,000225	0,000220	0,000224
1,174	0,000257	0,000310	0,000244

Из приведенной таблицы видно, что чем дальше комета от Солнца, тем больше размеры ее головы, но количественно старая (выведенная выше) формула явно не удовлетворяет наблюдениям. В последние годы (Москва) на основе физических данных была получена другая формула $\xi_0 = \sqrt{2r} \cdot \sqrt[4]{M}$, при выводе которой было принято во внимание влияние ядра [частица, вылетевшая из ядра, отталкивается не только Солнцем ($1 + \mu$), но и ядром кометы (μ'): в формуле $M = \frac{\mu'}{1 + \mu}$]. Новая физическая теория головы кометы дала возможность определить размеры кометных ядер и их массы (см. стр. 93).

Чтобы сравнивать величины поперечников одной кометы с другой, нужно условиться брать их для одного и того же расстояния от Солнца, так как размеры комет, как мы уже видели, резко меняются в зависимости от величины r . Усло-

вимся их брать всегда для расстояния кометы от Солнца, равного одной астрономической единице. Ниже приведены поперечники нескольких комет, планет и Солнца.

	Поперечник в км		Поперечник в км
1811 I	1 200 000	1910 I	180 000
1882 II	600 000	Юпитер	140 000
1858 VI	360 000	Земля	13 000
1910 II	300 000	Солнце	1 390 000
1908 III	270 000		

Из приведенных выше данных видно, что кометы по размерам их поперечников значительно больше планет; даже само Солнце уступает некоторым кометам: та же комета 1811 I на расстоянии 2 АЕ имеет поперечник больше солнечного (1 900 000 км).

Остановимся на самом процессе развития головы кометы. Далеко от Солнца ($r > 2,5$ АЕ) комета имеет вид слабо светящегося туманного шара с размытыми краями и с более или менее резко выраженным вблизи центра световым уплотненным ядром.

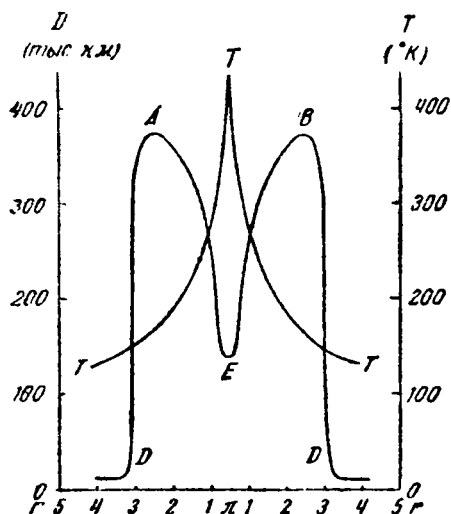


Рис. 19. Зависимость поперечника D головы кометы и абсолютной температуры T ядра от расстояния r от Солнца.

Здесь уже сделались заметными первые признаки хвоста. На стороне, обращенной к Солнцу, появилась резкая светящаяся, окаймляющая ядро параболическая оболочка. При дальнейшем сближении с Солнцем поперечник резко уменьшался: при $r = 0,6$ $D = 150 000$ км, а когда комета проходила через перигелий ее поперечник

Здесь уже сделались заметными первые признаки хвоста. На стороне, обращенной к Солнцу, появилась резкая светящаяся, окаймляющая ядро параболическая оболочка. При дальнейшем сближении с Солнцем поперечник резко уменьшался: при $r = 0,6$ $D = 150 000$ км, а когда комета проходила через перигелий ее поперечник

был минимальным: $D = 120\,000$ км. После перигелия, когда комета начала удаляться от Солнца, повторилась та же картина, но в обратном порядке:

$$\begin{aligned} r = 1,1, & \quad D = 280\,000 \text{ км}, \\ r = 5,3, & \quad D = 23\,000 \text{ км}. \end{aligned}$$

Часть кривой AEB следует считать областью нормально развитой головы кометы, в частях DA и BD оболочек, имеющих параболические очертания, уже нет, и только кома обволакивает своей туманной массой кометное ядро. Бурное выделение газов из ядра начинает происходить в точках A и B , когда предполагаемую температуру в ядре можно считать порядка 170° К или -100° С.

Я убежден, что и другие кометы имеют наибольшие размеры головы при $r = 2,5$ АЕ. Все они отличаются одна от другой только размерами, но качественная картина изменения их размеров должна развиваться совершенно так же, как у кометы Галлея (см. рис. 19).

На рис. 20 наверху комета 1911 на расстоянии 150 млн. км от Солнца; внизу та же комета на расстоянии 1,5 млн. км от Солнца. Рядом нарисованы Солнце и Земля (белая точка). Диаметр Солнца 1 390 000 км. Диаметр головы кометы наверху 1030000 км, диаметр головы кометы внизу 103 000 км, диаметр Земли 12 800 км.

С удалением кометы от Солнца яркость уменьшается, поперечник головы растет, хвост делается короче и слабее, наконец комета быстро сокращает величину своего поперечника при $r = 2,5$ и снова обращается в крохотное туманное пятнышко и, наконец, исчезает на фоне звездного неба.

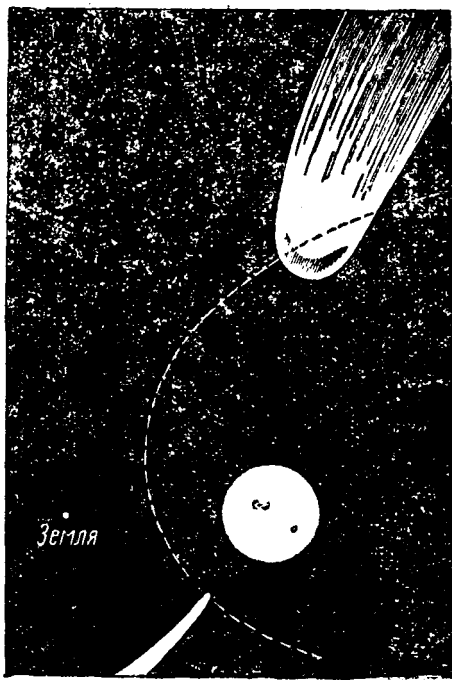


Рис. 20.

ГЛАВА V

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ КОМЕТ

1. Основы спектроскопии

Спектроскопия представляет собой один из самых тонких и поразительных методов, благодаря которому мы все ближе и ближе подходим к познанию строения и физических свойств мельчайших частиц вещества: атомов и молекул. Лучи света, несущиеся к нам от кометы и записанные на фотопластинке после прохождения через стеклянную призму, рассказывают нам много интересного о кометных оболочках и хвостах, об их строении и физических свойствах.

До начала нынешнего столетия спектры комет изучали почти исключительно при помощи обычных спектроскопов,

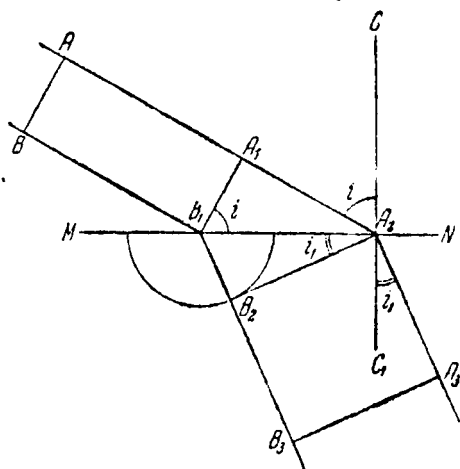


Рис. 21. Преломление света.

прикрепленных к астрономическим рефракторам. Простая трехгранная стеклянная призма является одним из самых распространенных приборов для исследования спектров. Все основано на том, что элементарные лучи света (красный, оранжевый, желтый и т. д.) распространяются в прозрачных средах (воздух, вода, стекло, кварц и т. д.) с разными скоростями. Проследим переход луча из одной прозрачной среды (воздух) в другую (стекло). Пусть MN граница этих двух сред (рис. 21), AA_1BB_1 — параллельный пучок света, падающий под углом $i = \angle A_1A_2C_1$ на поверхность стекла MN . До стекла из нашего пучка первым дойдет луч BB_1 ; он проникнет в стекло и будет распространяться в нем с меньшей, чем в воздухе, скоростью c_1 (скорость света в воздухе равна скорости света в пустоте: $c = 300\,000$ км/сек). Пусть в t сек. свет пробежит от A_1 до A_2 ($A_1A_2 = ct$ км), а в то же время свет из точки B_1 распространится в стекле, и по принципу Гюйгенса (каждая точка волны есть центр самостоятельных колебаний) его колебания расположатся на поверхности полусферы, радиус которой $B_1B_2 = c_1t$. К концу времени t фронт световой волны

займет положение B_2A_2 (B_2A_2 — касательная из точки A к полусфере), а так как движение луча перпендикулярно к фронту, то он будет двигаться в стекле между параллельными прямыми A_2A_3 и B_1B_3 . Угол $A_3A_2C_1$ будет углом преломления i_1 . Углы $A_1A_2C = A_1B_1A_2$ и $A_3A_2C_1 = B_1A_2B_2$ (они острые и с перпендикулярными сторонами). Из прямоугольного $\triangle A_1B_1A_2$ имеем: $\sin i = \frac{ct}{B_1A_2}$, а из такого же $\triangle B_1A_2B_2$ $\sin i_1 = \frac{c_1t}{B_1A_2}$. Отсюда $\frac{\sin i}{\sin i_1} = \frac{c}{c_1}$. Это отношение называют *показателем преломления* n стекла для данного луча (относительно воздуха):

$$n = \frac{\sin i}{\sin i_1} \quad \text{или} \quad n = \frac{c}{c_1}.$$

Чем больше показатель преломления, тем больше разница в углах падения и преломления (больше преломится луч).

Если в темной комнате (рис. 22) пропустить через стеклянную призму тонкий пучок солнечных лучей, то он развернется в цветную полоску (спектр). Наверху будут красные лучи (значит, их показатель преломления меньше других, а, следовательно, скорость в стекле больше, чем желтых, синих и т. д. лучей); ниже красных лучей расположатся в последовательном порядке:

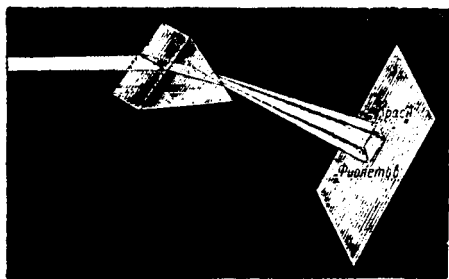


Рис. 22. Получение спектра.

оранжевые, желтые, зеленые, синие и фиолетовые. Фиолетовые лучи имеют скорость в стекле меньшую, чем лучи других цветов.

Для изучения спектров небесных светил служат спектрографы. Щелевой спектрограф состоит из пластинки B с вырезанной в ней

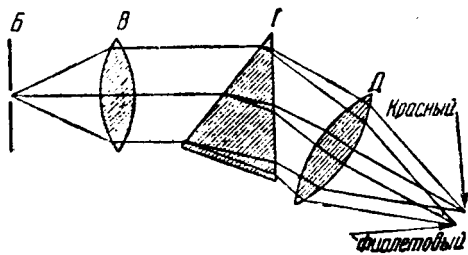


Рис. 23. Схема спектрографа.

тонкой щелью (рис. 23); щель по желанию особым винтом может сдвигаться или раздвигаться, делаясь уже или шире.

Эту щель освещают тем светом, спектр которого нужно изучить. Часть лучей, пройдя через щель, расходится конусообразным пучком; чтобы заставить весь этот пучок пройти через призму, перехватывают его увеличительной линзой *B*, установленной так, чтобы щель приходилась в ее главном фокусе; тогда дальше лучи пойдут параллельными пучками, пронизуют призму *Г* и разложатся на элементарные цвета (лучи разных цветов призма отклонит на разные углы).

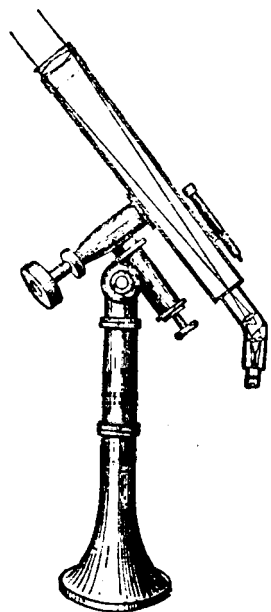


Рис. 24. Астроспектроскоп.

После призмы лучи падают на объектив спектрографа *Д*, и так как лучи каждого отдельного цвета бегут параллельными пучками, то в главной фокальной плоскости объектива *Д* мы должны получить резкое изображение спектра. В фокальной плоскости получаются изображения освещенной щели, и чем они уже, чем длиннее полоска спектра на фотопластинке, помещенной в главном фокусе объектива, тем больше подробностей можно разобрать на полученной спектрограмме¹⁾. Чтобы получить более длинную полоску спектра (как говорят, спектр большей дисперсии), берут вместо одной призмы две, три и более. В спектрографах подобного типа большая доля света, прошедшего через щель, не дойдет до фотопластинки; часть его отразится от поверхностей призм и линз, часть поглотится самим стеклом

призм и объективов, и поэтому необходимы длительные экспозиции, чтобы получить хорошо проработанный негатив спектра исследуемой кометы. Если отнять кассету, то можно с помощью простой лупы или окуляра непосредственно глазом (визуально) изучать спектр, изображение которого лежит в главной фокальной плоскости объектива *Д*. Такой прибор называется спектроскопом.

При фотографировании кометных спектров щель астрографа помещают в главном фокусе объектива (рис. 24) астрономической трубы; устанавливают ее так, чтобы изображение головы кометы как раз пришлось на щели (на щель помещают

¹⁾ Спектрограммой называется фотографический снимок спектра.

изображение ядра кометы, как наиболее ее яркой части). Потом в продолжение двух и более часов тщательно вѣдут трубу за кометой, так чтобы ее ядро все время проецировалось на щель. Благодаря слабой яркости громадного большинства комет только при длительных экспозициях можно получить спектр кометного ядра и окружающих его более ярких частей головы. Спектр кометных хвостов, имеющих значительно меньшую яркость, щелевыми спектрографами изучать уже нельзя.

В начале текущего столетия для изучения спектров комет стали применять призмные камеры (иначе, камеры с объективными призмами). Перед объективом фотокамеры обычно большой светосилы (например, 1:3,5) помещают достаточной величины призму, закрывающую собой весь объектив. Лучи от кометы или звезды сначала проходят через призму, преломляются в ней и входят в объектив уже разложенными на элементарные цвета. Объектив рисует на фотопластинке изображения кометы в разных цветах; эти изображения лежат друг около друга, и мы можем различать и изучать отдельно и спектр ядра, и спектр оболочки, и спектры хвостов — все это возможно благодаря меньшей потере света на отражение и поглощение внутри прибора (один объектив и одна призма) в сравнении с обычными щелевыми спектрографами и благодаря большой светосиле объектива фотокамеры. В среднем достаточно получасовой экспозиции, чтобы получить снимок со многими деталями; на пластинке получается спектр всей кометы и спектр всех, конечно, более ярких, звезд, находящихся поблизости. При обработке спектрограммы это имеет существенное значение.

Недостатком призмной камеры является незначительная дисперсия (обычно одна призма), вследствие чего отдельные, близкие друг к другу по цветности, изображения кометы часто накладываются краями одно на другое, что сильно затрудняет и часто делает невозможным более тонкие исследования спектрограмм. Вторым недостатком является чересчур большая «ширина» щели, место которой здесь занимает сама комета; это тоже сильно сказывается на точности определения длин волн фотографированных излучений.

2. Спектральный анализ

Чтобы получить хорошее представление о спектре, возвратимся к опыту с трехгранной призмой, описанному на стр. 67 (рис. 22). Вместо узкой белой полоски мы получили широкую цветную полосу — спектр, в котором можно разли-

чить последовательно красные, оранжевые, желтые, зеленые, голубые, синие и фиолетовые цвета. Узкая белая полоска расширилась — распалась на свои составные элементарные цвета.

Будем теперь медленно вращать призму, оставляя ее ребра параллельными щели и отыскивая такое положение, при котором разноцветная полоска или спектр будет казаться всего шире. Если щель достаточно узка, то, присматриваясь, мы увидим вдоль цветной полоски тонкие темные перерывы: это — фраунгоферовы линии солнечного спектра (щель освещена в конце концов лучами Солнца). Каждая из этих темных линий говорит о каком-нибудь элементе, присутствующем в солнечной атмосфере.

Из раскаленной поверхности Солнца (фотосферы) вырываются во все стороны излучения всех цветов, дающие сплошной спектр; но в солнечной атмосфере, над ее фотосферой носятся тоже раскаленные газы. Лучи света свободно пронизывают эту атмосферу, но каждый носящийся в ней элемент поглощает и сейчас же испускает во все стороны (рассеивает) именно те лучи, которые он сам испускает (закон Кирхгофа).

Поясним это простым примером. Обычная спиртовая горелка светит тусклым голубоватым пламенем, но когда мы бросим на ее фитиль несколько крупинок обычной соли, пламя сейчас же окрасится ярким желтым цветом: это засветились раскаленные пары элемента натрия (Na) (поваренная соль это хлористый натрий — NaCl). По закону Кирхгофа натрий сам должен поглощать те же желтые лучи, которые он же и испускает. Если в атмосфере Солнца присутствуют пары натрия, то в спектре Солнца части желтых лучей не будет (темная фраунгоферова линия в желтом цвете).

Всмотримся теперь снова в спектр Солнца; мы заметим в желтой его части темную полоску, как результат поглощения света парами натрия. Это знаменитая в истории спектроскопии фраунгоферова линия *D* (Фраунгофер первый описал и систематизировал эти линии, обозначив их заглавными буквами латинского алфавита).

Мы хорошо знаем, что несущиеся к нам излучения Солнца — это волны, аналогичные волнам звука в воздухе, волнам на поверхности пруда от брошенного камня и т. д. Так же, как и эти волны, волны света имеют *длину* λ (от горба до следующего горба) и *скорость* распространения, обозначаемую буквой *c* ($c = 299\,800$ км/сек). Если какой-нибудь источник в каждую секунду испускает ν (ню) волн (ν — число колебаний в секунду), то первая, выпущенная им в начале какой-нибудь секунды волна к концу той же секунды отлетит на расстояние *c*, на котором, очевидно, разместится

ν волн; отсюда легко перейти к алгебраической записи явления:

$$c = \lambda \nu.$$

Длины волн света чрезвычайно малы и они измеряются особыми единицами длины—ангстремами—(Å) ($1 \text{ см} = 100\,000\,000 \text{ Å}$, $1 \text{ мм} = 1000 \text{ м}$, $1 \text{ м} = 1000 \text{ мк}$, $1 \text{ мк} = 10 \text{ Å}$). Привожу длины волн, характеризующих типичные цвета:

λ красного цвета	7000 Å
оранжевого цвета	6200 »
желтого »	5700 »
зеленого »	5200 »
голубого »	4700 »
синего »	4400 »
фиолетового »	4100 »

Все сильно раскаленные твердые и жидкие тела (горные породы, металлы), все раскаленные газы при высокой температуре и давлении дают непрерывные спектры. Газы при небольшом давлении всегда дают отдельные яркие линии, причем каждый газ (например, водород H) испускает свои, характеризующие только его, излучения определенных длин волн. На спектрограмме (фотографическом отпечатке спектра) специалист сейчас же разберется в отдельных группах ярких линий и «прочтет» спектрограмму, назвав те газы, которые светились в исследуемом источнике света. В этом и состоит сущность *спектрального анализа*.

3. Свечение газов в кометах

Если разреженный газ сильно нагрет, то он сам испускает свои характеризующие его излучения (тепловое возбуждение). Но и при низкой температуре газы все-таки могут светиться под влиянием, например, пронизывающих их излучений постороннего сильного источника света, например Солнца. Далее, свечение газов может вызываться потоками корпускул (заряженных электричеством крохотных частиц или отдельных электронов); под влиянием их близких прохождений и ударов атомы и молекулы тоже способны возбуждаться и, следовательно, светиться.

Разберемся в сложном механизме свечения газовых атомов и молекул. Возьмем упрощенную модель атома водорода по Бору*). Он состоит из протона, материальной частицы, заряженной положительным элементарным зарядом ($+e$),

*) Подробнее о спектрах и строении атома см. Приложение III (на стр. 154).

и движущегося около него электрона с отрицательным зарядом ($-e$). Система атома водорода похожа на систему Земля-Луна, где Земля — протон, а Луна — электрон.

Как известно, сила тяготения заставляет Луну двигаться около Земли по кривой, близкой к окружности. Совершенно так же электрон по Бору, притягиваясь положительным зарядом протона (атомного ядра), движется около него по окружности. Здесь аналогия между атомом Н и системой Земля-Луна оканчивается. Представим себе, что у электрона имеется несколько устойчивых орбит; он может двигаться по любой из них, но движение по какой-либо из промежуточных орбит невозможно (постулат Бора).

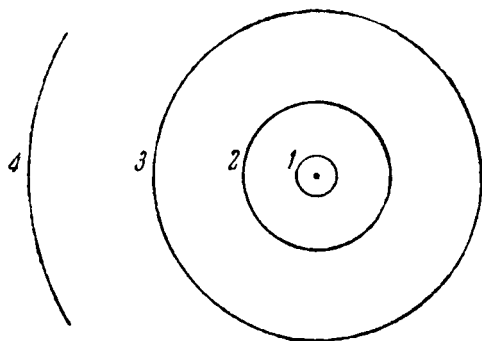


Рис. 25. Орбиты электронов в атоме водорода.

На рис. 25 вычерчены 4 устойчивые орбиты электрона водородного атома. Пусть электрон находится на первой орбите (перескок на ядро считается невозможным). Если в данной массе раскаленного газа один из атомов столкнется с другим, а при известной степени нагретости газа столкновения происходят непрерывно, то в результате удара электрон одного из атомов может перескочить с 1-й орбиты, например, на 3-ю. Такой атом называется *возбужденным*. Чтобы перебросить электрон с 1-й орбиты на 3-ю, нужно совершить работу, затратив определенное количество энергии, так как электрон притягивается атомным ядром. С 3-й орбиты наш электрон уже без всякого толчка может перескочить, например, на 2-ю орбиту. При этом освобождается энергия, которую электрон получил при столкновении. Этот комок энергии вырывается из атома в пространство со скоростью света как *фотон* — *квант* энергии. Если этот квант попадет в наш глаз, мы увидим вспышку красного цвета (красную водородную линию). При перескоке электрона с 4-й орбиты на 2-ю мы увидим вспышку синей водородной линии и т. д. В этом и состоит сущность атомных излучений.

Подобные процессы идут безостановочно — в сильно нагретых газах столкновений и перескоков много. Во все стороны излучаются различные кванты; попадая в глаз человека,

они дают впечатление тех цветов, которые им соответствуют, а попадая в объектив спектрографа, они дают на фотопластинке ряд спектральных линий, характеризующих тот или другой газ.

Простая формула Планка связывает число колебаний ν в 1 сек. и количество $\Delta\varepsilon$ энергии в фотоне: $\Delta\varepsilon = h\nu$ (h — планковская постоянная, $h = 6,54 \cdot 10^{-27}$). Если температура газа низка (газ холодный), а, следовательно, скорости отдельных атомов очень малы, то энергии при взаимных ударах недостаточно, чтобы перебросить электрон с одной орбиты на другую, и свечения не будет. Но если через холодный разреженный газ пролетают световые кванты солнечных лучей, то электроны могут захватить пронизывающий атом фотон и, воспользовавшись его энергией, перескочить на одну из следующих орбит, вследствие чего атом переходит в возбужденное состояние, а, следовательно, может лучеиспускать. Следует заметить, что электрон может захватывать не все пролетающие через атом фотоны, а только те, энергия которых по величине точно такая, какую нужно для перескока на одну из следующих орбит. При обратном перескоке атом излучает квант той же энергии, которую он только что захватил. Такое излучение называется *резонансным*. Возможен случай, когда электрон захватит больший квант, а выпустит квант меньшей энергии, чем им захваченный; такой процесс называется *флуоресценцией*.

Аналогичные процессы происходят в газах при пронизывании их корпускулярными потоками; эти потоки состоят из частиц, заряженных электричеством, и из электронов, движущихся с громадными скоростями. Возбуждение атомов вызывается энергией пролетающих корпускул.

Во всех этих случаях атомных возбуждений электрон может захватить количество энергии, достаточное для того, чтобы совершенно оторваться от атомного ядра и улететь в пространство; атом теряет отрицательный заряд, а так как нормальный атом нейтрален (имеет одинаковое число элементарных положительных и отрицательных зарядов, взаимно нейтрализующих друг друга), то, потеряв электрон (отрицательный заряд), он становится положительно заряженным или *ионизованным*.

Ознакомимся теперь с характерными особенностями излучений молекулы. Простейшая модель молекулы состоит из двух атомов A и B (рис. 26). Эти атомы, как всякие материальные частицы, притягивают друг друга, но вплотную сблизиться не могут, так как и тот, и другой окружены движущимися электронами, начинающими отталкивать друг дру-

га при сближении. Следовательно, атомы в молекуле могут колебаться (вибрировать) по прямой AB , и молекула обладает *колебательной* (вibrационной) энергией. Далее, атомы в молекуле могут обращаться около общего центра тяжести O , поэтому молекула обладает еще *вращательной* (ротационной) энергией. Наконец, около всей молекулы (рис. 25) движется по боровским орбитам электрон ($-e$), — его перескоки, так же как и в атомах, дают излучение и поглощение квантов, и молекула обладает электрической энергией.

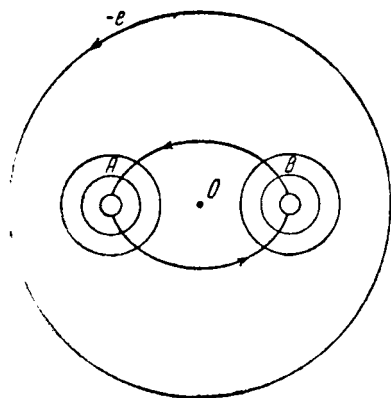


Рис. 26. Двухатомная молекула.

Все эти три рода энергии в молекуле (электрическая, колебательная и вращательная) квантуются, как говорят физики (испускают и поглощают фотоны).

Электронные перескоки в молекуле дают излучения в

виде отдельных ярких линий (как в атоме водорода); они обладают наибольшей мощностью; к ним прибавляются кванты, более слабые, колебательной энергии, вследствие чего фотон получает небольшой прирост, и общая длина волны (по формуле Планка) делается короче; линия в спектре поэтому смещается к фиолетовому концу тем сильнее, чем больше энергия колебательного кванта. Так как молекул в светящемся газе громадное количество и одновременно ими излучаются различные фотоны, то вместо одной линии мы увидим несколько близких одна к другой — иными словами линия превратится в полосу. Кванты вращательной энергии очень слабы, и их прибавка дает ничтожное добавочное смещение. В частности, в кометных спектрах, при исследовании которых приходится брать небольшие дисперсии, наблюдениям доступны только колебательные полосы. Полосчатый спектр молекул углерода (C_2), называемый спектром Свана, всегда наблюдаемый в кометах, можно видеть на вкладном листе IV, 2.

4. Спектроскопия комет

Спектры комет стали изучать с 1864 года обычными спектроскопами малой светосилы. При расширенной щели можно было в кометных спектрах рассмотреть слабый непрерыв-

ный спектр в частях кометы, близких к ядру (лучи Солнца, отраженные от твердых частиц и пылинок), на фоне которого обычно были видны три слабые светлые полосы: желтая, зеленая и голубая, что указывало на присутствие в кометах светящихся молекул (полосчатый спектр). Донати, первый наблюдавший спектр кометы 1864 II, высказал предположение, что это — те же полосы, которые дают горящие углеводороды (светильный газ, болотный газ и др.) Последующие наблюдения подтвердили это предположение Донати.

Почти все горящие на Земле материалы (дерево, бумага, керосин, масла и т. д.) дают спектр углеводородов, называемый спектром Свана (по имени его первого исследователя). Пламя спички или простой свечи состоит из двух частей: нижней, голубой и слабо светящейся, и верхней, яркой и желтоватой. Верхняя часть — это свечение раскаленных твердых частиц угля, нижняя (голубое пламя) — при рассмотрении через призму дает тот же спектр, что и почти все кометы — спектр углеводородов. В настоящее время этот спектр приписывают молекуле углерода C_2 (спектр Свана). Этот спектр состоит из отдельных групп полос, обозначенных на рис. 27 — $2C_2$, $1C_2$ и т. д. до $3C_2$. Отдельно дана группа

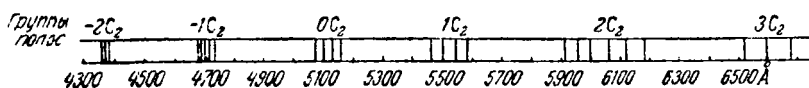


Рис. 27. Молекулярный спектр углерода C_2 (спектр Свана).

— $1C_2$, состоящая из 4 отдельных полос (см. спектрограмму углерода в голове кометы 1911 V, полученную акад. А. А. Белопольским в Пулковке, вкладной лист IV, 2). Отдельные полосы при обычной дисперсии очень схожи с линиями. В таблице 9 приведены головные излучения полос Свана ($-2C_2$, $-1C_2$, до $3C_2$), полос циана CN и полос спектра Рэфети; все они имеются в кометных спектрах.

Длины волн головных излучений в полосах спектра Свана можно представить формулой:

$$\frac{1}{\lambda} = 19360 + 1771\nu' - 20,27\nu'^2 - 1626\nu'' + 11,4\nu''^2,$$

где ν' и ν'' называются квантовыми числами; они целые и принимают все значения от 0 до 7. Если например брать всевозможные квантовые числа, но так, чтобы $\nu' - \nu'' = 0$ (например, $\nu' = 5$ и $\nu'' = 5$, $\nu' = 4$ и $\nu'' = 4$ и т. д.), то получим систему групп, обозначаемых $0C_2$; если принять, что $\nu' - \nu'' = -2$, получим систему групп $-2C_2$ и т. д.

Первую спектрограмму кометы 1881 III получил Геггинс (Англия) шелевым спектрографом. На этой спектрограмме вышла очень яркой группа полос циана OCN (3883 Å) и более слабая группа ICN (4216 Å); резко выделялась группа полос

Таблица 9. Молекулярные спектры в кометах
Спектр Свана

Группа	3C ₂	2C ₂		1C ₂		0C ₂		-1C ₂		-2C ₂		
	3	Интенсивность	2	Интенсивность	1	Интенсивность	0	Интенсивность	-1	Интенсивность	-2	Интенсивность
$\nu'' - \nu'$	3	Интенсивность	2	Интенсивность	1	Интенсивность	0	Интенсивность	-1	Интенсивность	-2	Интенсивность
	6677,3	—	6191,2	2	5635,3	2	5165,2	10	4737,1	7	4382,5	3
	6599,2	—	6122,1	4	5585,5	8	5129,3	6	4715,2	6	4371,4	4
	6533,7	—	6059,7	5	5540,7	7	5097,7	1	4697,6	5	4365,2	3
			6004,9	—	5501,9	4	5082	—	4684,8	4		
			5958,7	—	5470,3	2			4678,6	2		

Спектр CN

Группа	2CN		1CN		0CN		-1CN		
	Интенсивность	2	Интенсивность	1	Интенсивность	0	Интенсивность	-1	Интенсивность
$\nu'' - \nu'$		2		1		0		-1	
		4606,1	2,0	4216,0	—	3883,4	10	3590,4	—
		4578,0	3,1	4197,2	—	3871,4	9	3585,9	—
		4553,1	4,2	4181,0	—	3861,9	8	3583,9	—
		4531,9	5,3	4167,8	—	3854,7	—		
		4514,8	6,4	4158,1	—				
		4502,2	7,5	4152,4	—				

Спектр Рэфети

Группа	1R		0R		-1R		-2R		
	Интенсивность	1	Интенсивность	0	Интенсивность	-1	Интенсивность	-2	Интенсивность
$\nu'' - \nu'$		1		0		-1		-2	
		4102,8	9	3852,1	10	3607,3	—	3399,8	—
		4068,2	6	3825,6	5	3592,9	—	3398,1	—
		4041,9	3			3587,7	—		
		4026,9	1						

спектра Рэфети 1R (4103 Å), повидимому принадлежащая углеводородам. Хорошо была видна голубая группа полос Свана — $1C_2$ (4737 Å); красные, желтые и зеленые группы Свана не вышли из-за малой чувствительности тогдашних пластинок к этим цветностям. Все эти полосы резко выделялись на фоне хорошо заметного непрерывного спектра, где ясно вырисовывались фраунгоферовы линии — значит, этот непрерывный спектр — просто отраженные от твердых частиц комет лучи Солнца.

Глаз человека наиболее чувствителен при ярком дневном свете к желтым лучам (5600 Å); фиолетовые лучи уже находятся на пределе его цветовой восприимчивости и различаются с большим трудом. Поэтому, наблюдая спектр той же кометы визуально (глазом), наблюдатели не могли в нем заметить ни спектра Рэфети, ни, тем более, спектра циана — были видны только красные, желтые, зеленые и голубые группы спектра Свана. Пластинка, наоборот, прекрасно запечатлела все излучения, начиная от голубых полос Свана (4737 Å) в сторону ультрафиолетовых излучений. Интересно, что при слабом освещении (например, в сумерки и ночью) цветовая восприимчивость нашего глаза резко меняется и наибольшая чувствительность переходит к зелено-голубым лучам. Поэтому лунное освещение нам кажется зеленовато-голубым, хотя нет сомнения, что преобладающая цветность в лунном свете — это желтая часть спектра.

Систематическое изучение спектрограмм комет началось значительно позднее — с 1907 года.

Визуальная спектроскопия комет дала немного — было установлено, что в спектрах комет всегда имеются излучения C_2 (спектр углерода — спектр Свана). Много лет продолжалась дискуссия о причинах смещения максимума яркости в кометных полосах спектра Свана и всегда в сторону более коротких волн, по сравнению с полосами этого спектра в лабораториях.

Положения максимумов яркости в полосах спектра C_2

Лабораторный спектр по Шейнеру	Спектр в кометах	Расхождения
5640 Å	5560 Å	80 Å
5170	5130	40
4740	4700	40

В сущности, причина смещения была выяснена еще Геггинсом при наблюдении им спектра кометы 1868 I. Он закрыл

половину щели спектроסקопа призмой полного внутреннего отражения (прямоугольной), с помощью которой отразил на щель лучи от пламени газовой горелки, дающей спектр Свана. Рядом со спектром кометы он получил спектр Свана; оба

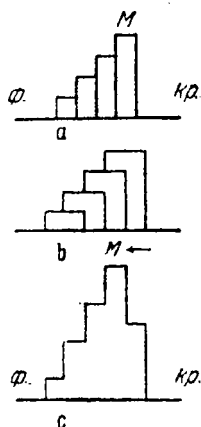


Рис. 28. Объяснение эффекта Кайзера.

эти спектра были совершенно тождественны и в распределении яркостей в полосах, и в положениях максимумов. Все дело в том, что при наблюдении комет щель приходится расширять, чтобы хоть что-нибудь рассмотреть (яркость комет обычно очень слаба); в лабораториях газовые горелки дают более сильное пламя и, естественно, нужно брать более узкие щели, чтобы увеличить точность измерений и более детально разобраться в строении полос.

Полное объяснение этой странной на первый взгляд зависимости места максимума яркости в полосе от ширины щели спектроסקопа дал Кайзер (эффект Кайзера). На верхнем рисунке (см. рис. 28,а) вычерчена полоса, состоящая из четырех смежных излучений, самое яркое из них правое (оно изображено выше других). Для простоты положим, что ширина каждого излучения равна ширине щели в фокусе спектроסקопа. Сделаем щель вдвое шире (рис. 28,б); тогда изображения наших излучений тоже расширятся вдвое и уже станут налагаться одно на другое. Рис. 28,с показывает распределение яркостей в этой полосе (наложенные яркости складываются). Мы видим что максимум яркости сместился в сторону фиолетовой части спектра: это и есть эффект Кайзера.

Слабая яркость комет делала невозможным точные измерения; приходилось по необходимости расширять щель спектроסקопа, что вело к неизбежным ошибкам. Слабые излучения вообще не были видны, поэтому визуальная спектроскопия не могла накопить достаточно надежных наблюдений.

Систематические исследования кометных спектров в сущности начались с 1907 года, когда по счастливой инициативе Ф. Бальде и де-ля-Бом-Плювинеля (Франция) для фотографирования спектров стали применять *призменные камеры*. Это очень простое приспособление для получения спектрограмм: комета фотографируется просто через стеклянную призму, поставленную перед объективом фотокамеры. В свою очередь, фотокамера прикреплена к рефрактору, медленно движущемуся за звездами сильным часовым механизмом.

Так как кометы сами движутся относительно звезд, то наблюдателю при получении спектрограммы приходится все время следить в ведущую трубу, чтобы ядро кометы аккуратно держалось на перекрестье нитей; при чуть заметном сходе он особыми корректирующими ключами сейчас же должен поправить ее положение. Если ядро точно будет во время съемки (а съемка длится приблизительно 1 час) держаться на кресте нитей, то и ее изображение на фотопластинке призмной камеры будет стоять неподвижно и мы получим точную копию спектра кометы.

Преимущества призмной камеры перед щелевым спектрографом состоит, во-первых, в большей светосиле. В щелевых спектрографах освещенность спектра кометы фотопластинки не зависит от трубы, а только от самого спектрографа. Но их не делают особо светосильными, так как это уменьшает точность определения длин волн. В призмных камерах объективы имеют несравненно большую светосилу, порядка $1/2 - 1/3,5$. Это — огромное преимущество, позволяющее уменьшить экспозицию по сравнению со щелевыми спектрографами в несколько десятков раз. Вторым преимуществом призмной камеры является то, что щели у нее нет, а щелью является сама комета, вся целиком; поэтому можно на одной и той же спектрограмме изучать и спектр хвостов, и спектр головы, и спектр ядра. Это — немаловажное преимущество: спектры хвостов в сущности только и можно было изучать именно призмными камерами.

Однако, призмная камера имеет существенные недостатки. Во-первых, так как щелью служит как бы сама комета, изображения отдельных смежных излучений краями накладываются одно на другое и точное их положение, даже отождествление, определять нельзя. Во-вторых, большие дисперсии трудно достижимы (чем больше расстояние между двумя какими-либо определенными местами спектра на спектрограмме, тем больше дисперсия; дисперсия измеряется числом ангстремов (Å) спектрограммы, приходящихся на 1 мм). Поэтому для точных измерений приходится все-таки пользоваться щелевыми спектрографами.

5. Спектры хвостов комет

В настоящее время накопился большой наблюдательный материал, в котором можно уже и разобраться и наметить основные закономерности. Первые спектрограммы, заснятые призмными камерами, показали резкое различие между спектрами хвоста кометы, ее головы и ядра. Оказалось,

что хвосты комет 1907 IV и 1908 III, спектрограммы которых были первыми из полученных при помощи призмных камер, излучали несколько обособленных радиаций; следовательно, они были газового строения. Длины волн этих радиаций, полученные впервые Деландром¹⁾, а именно: 4550, 4260 и 4020^o Å, оставались до 1910 г. неотожествленными ни с какими из земных источников. Наконец Фаулеру²⁾ удалось отождествить эти радиации с излучениями окиси углерода CO⁺, именно с его ионизованными молекулами при очень малых давлениях (порядка 0,01—0,005 мм). Свечение это сосредоточивалось около катода пустотной трубки и, как предположил Фаулер, вызывалось бомбардировкой молекул CO катодными лучами (поток электронов).

При большой дисперсии (например, фотографированием спектра кометы через две призмы, помещенные перед объективом) излучения располагались характерными дублетами (см. вкладной лист IV, 7 и таблицу 10).

Таблица 10. Спектры хвостов комет³⁾

Длины волн в Å	6245	5906	5699	5504	5430	5076	4914	4869	4714	4569	4406	4274	
	6196	5862	5658	5467	5394	5044	4883	4840	4687	4543	4381	4251	
Интенсивность	фот.	5	3	3	5	1	2	3	3	6	8	4	10
	виз.	7	4	4	6	3	10	2	1	6	7	—	—
Длины волн в Å	4154	4020	3910	3707	3707	3602	3527	3429	3367	3316	3275	3223	
	4133	4000	3891	3780	3690	3586	3512	3415	3353	3302	3262	3210	
Интенсивность	фот.	2	9	5	8	6	7	4	5	4	2	3	2
	виз.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Кроме дублетных полос ионизованной окиси углерода в хвостах комет видны излучения тоже ионизованных мо-

¹⁾ С. R. 145, 445; 1907.

²⁾ M. N., 70, 176, 484.

³⁾ Valdet, Recherches sur la constitution des comètes et sur les spectres du carbon, Orléan, 1926.

лекул азота N_2^+ . Наиболее сильная, им соответствующая полоса, 3914 Å.

На вкладном листе «Типы хвостов комет» приведен спектр кометы Галлея (1910 II): излучение циана (CN) испускала только голова кометы — в хвосте его не было. От середины циано-

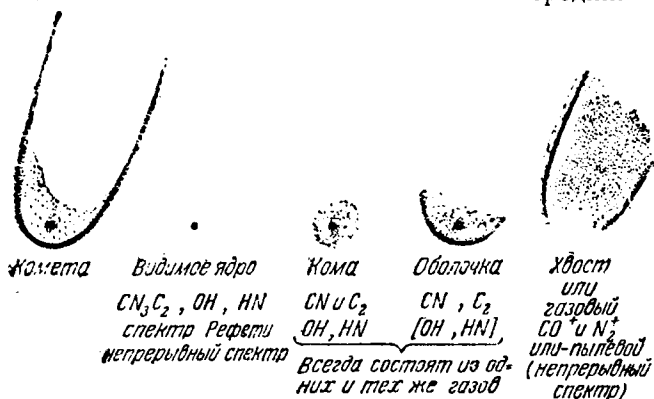


Рис. 29. Спектры отдельных частей кометы (ядра, головы и хвостов).

вого излучения, имеющего шаровую форму, проходит узкая непрерывная полоска — это непрерывный спектр видимого ядра. Излучения циана и углерода расходятся от ядра вверх и вниз, а излучения окиси углерода — только выше ядер и ниже, в голове кометы их просто нет: это — излучения только в хвосте (рис. 29).

Это поразительный факт: между хвостом и головой кометы нет ничего общего ни в излучающих молекулах (в хвостах CO^+ и N_2^+ , в головах CN и C_2), ни в величинах отталкивательных ускорений движущих их молекул (в хвостах $1 + \mu = 22,3n$, где $n = 1, 2, 3$ и т. д., в головах $1 + \mu$ порядка 1). Незнание этого факта долго задерживало развитие физической теории комет.

Интересен факт, что излияния из ядер, формирующие собой хвосты комет, всегда состоят из циана CN и углерода C_2 . По мере продвижения материи в струйке из ядра в хвост (на спектрограммах большого масштаба, заснятых призменными камерами), видно, как там, где кончается голова, излучения CN и C_2 постепенно тухнут, замещаясь излучениями CO^+ и N_2^+ .

Спектр ионизованных молекул азота N_2^+ в хвостах комет очень слаб; на спектрограммах кометы Галлея (1910 II) его излучения были видны только 8 и 9 июня 1910 года.

Кроме описанного нами газового хвоста (I типа) бывают пылевые хвосты (II типа). Их спектры всегда непрерывные; космические пылинки, образующие их, отражают от себя лучи Солнца. Посмотрите спектрограмму большой январской кометы (1910 I), полученную астрономом Бальде (Франция). Вместо отдельных полос CO^+ в спектре хвоста видно только общее неопределенное свечение — это его непрерывный спектр. Но спектр головы все тот же, что и в комете Галлея, 1908 III и др.: он состоит из излучений CN и C_2 . Опять между спектром головы и хвостов нет ничего общего — так же, как и у комет с хвостами I типа.

Весь известный до последнего времени наблюдательный материал говорит о том, что головы у всех комет состоят из одних и тех же газов — CN (циана) и C_2 (углерода), а хвосты могут быть либо газовыми (CO^+ и N_2^+), либо пылевыми. Только большая южная комета 1901 I с громадными пылевыми хвостами не имела в районе головы газовых излучений¹⁾, но у нее головы и не было: от крохотного голого, ярко светящегося ядра в виде исполинской сигары отходил хвост. Ни комы, ни оболочек видно не было. Это — лишнее подтверждение того, что все головы комет имеют газовое строение.

6. Непрерывный спектр в видимых ядрах

Головы комет (оболочки, кома), как уже было сказано, всегда светятся излучениями циана (CN) и C_2 (спектр Свана). Почти всегда в центральной области головы виден более или менее резко выделяющийся на светлом фоне световой сгусток — ядро. Напомню (см. стр. 93), что твердое ядро, даже у больших комет порядка только нескольких километров в поперечнике, и при обычных расстояниях от кометы, порядка одной астрономической единицы (150 млн. км), просто невидимо [яркость твердого кометного ядра — от $12^{\text{m}g}$ (1811 I) до $20^{\text{m}g}$ (1910 I)], во всяком случае спектр твердого ядра еще никем не наблюдался.

Центральный сгусток или видимое ядро представляет собой просто скопление газов с увеличивающейся к твердому ядру плотностью (см. стр. 95). Спектр этого сгустка почти исключительно газовый: непрерывный спектр ядра обычно очень слаб. Спектр Рэфети, видимый только в центральном сгустке, приписывают самому ядру, но вряд ли это справедливо: возможно, что излучения этого спектра более слабые. Полосы CN и C_2 присутствуют всюду в кометах, но могут быть разли-

¹⁾ М. N., 61, 509, 1901.

чимы только в более ярких ее частях, а именно, в областях, близких к ядру.

Бобровников (США) тщательно изучал на спектрограммах Иеркской и Ликской обсерваторий характерные особенности непрерывных спектров кометных ядер. По Бобровникову эти спектры можно разбить на два типа: фиолетовые спектры с максимумом в сине-фиолетовой части и солнечного типа — с максимумом яркости в желтой части спектра. Однако, сам метод, выработанный Бобровниковым для выделения на спектрограмме непрерывного спектра исключением излучений молекулярных (полосчатых) спектров, нельзя считать надежным, и только дальнейшие исследования могут помочь разобраться в этих интересных вопросах.

В сущности три причины могут производить непрерывный или видоизменять спектр в кометных ядрах. Первая из них, это молекулярное рассеяние солнечных лучей газами в области ядра, где они обладают наибольшей плотностью. Яркий синий цвет дневного неба объясняется рассеянием молекулами нашей атмосферы солнечных лучей. Такой непрерывный спектр, вызванный молекулярным рассеянием лучей Солнца, должен иметь максимум яркости около $\lambda = 4400 \text{ \AA}$ (сине-фиолетовые лучи). Вторая причина, это присутствие пыли в районе ядра; пылинки просто будут отражать лучи Солнца и дадут обычный солнечный спектр с максимумом в желтой его части. Наконец, третья причина, это — то свойство полосчатых спектров, что отдельные группы их полос со стороны, идущей к фиолетовой части спектра, всегда сопровождаются частями сплошного спектра, к ним примыкающими.

Только тщательный анализ взаимодействия всех этих трех причин может привести к надежному решению вопроса о причинах непрерывности спектра в кометных ядрах. Для меня лично нет сомнений, что, во всяком случае, это — не спектры твердых глыб, реальных кометных ядер, поперечники которых даже у больших комет порядка нескольких километров, а яркость около $12\text{--}20^{\text{мг}}$. Спектры такой ничтожной яркости наблюдать при помощи современной аппаратуры невозможно.

7. Полосчатые спектры в головах комет

Мы уже говорили о многолетней дискуссии по поводу выяснения причины смещения в группах полос Свана (C_2) положений максимумов яркостей по сравнению с лабораторными спектрами. Причина этого смещения была полностью объяс-

нена Кайзером (см. стр. 78) и оказалась зависящей исключительно от ширины щели спектрографа.

Современные щелевые спектрографы, используя длительные экспозиции, позволяют тем самым брать узкие щели, и спектры Свана, полученные ими в голове кометы и в лабораторной обстановке, совершенно идентичны и в распределении яркости и в положении ее максимумов.

Акад. А. А. Белопольский получил спектрограмму головы кометы 1911V трехпризменным спектрографом (Пулково) с экспозицией 8^h; ему пришлось фотографировать спектр три ночи подряд, чтобы получить проработанную спектрограмму, годную для измерений. Им были точно измерены положения головных излучений в группе — $1C_2$ спектра Свана (4737 Å); при этом был обнаружен сдвиг порядка 0,18 Å в сторону более длинных волн. Рассматривая это смещение $\Delta\lambda = 0,18$, как следствие относительной (радиальной) скорости кометы и Земли (доплеровское смещение, см. стр. 159), Белопольский вычислил скорость удаления кометы от Земли; она оказалась равной $v = 11,5 \pm 3$ км/сек; подсчитанная по эфемериде скорость получилась равной 11,2 км/сек. Прекрасное совпадение этих величин указывает на то, что вибрационные полосы в спектрах комет имеют сдвиги только как следствие радиальных скоростей.

Совершенно иначе обстоит дело с вибрационными полосами спектра CN (циана). Как это было установлено Бобровниковым (США) по спектрограммам кометы Галлея, полосы оказались сильно смещенными в сторону меньших длин волн. Величина сдвигов соответствовала радиальным скоростям порядка 100 км/сек, что совершенно расходится со скоростями по эфемериде. Смещения циановых полос нельзя рассматривать как доплеровское — причину смещений нужно искать в тех физических условиях, при которых происходит возбуждение и излучение молекул циана в головах комет.

8. Спектры комет и расстояния комет от Солнца

Вдали от Солнца спектры комет наблюдаются с большой неуверенностью, ввиду их слабой яркости; только спектр кометы Галлея наблюдался на расстояниях, больших 3 АЕ; на спектрограмме был виден¹⁾ непрерывный спектр, на фоне которого можно было с трудом различить полосы CN и C_2 . 7 января, когда $r = 2,00$ АЕ, полосы циана и углерода уже рез-

¹⁾ Р. Л. О., 17, 447, 1935.

ко выделялись на фоне слабого непрерывного спектра, причем IV группа полос CN (3883) была заметно ярче углеродной (4737). Когда расстояние от Солнца сделалось порядка 1,5, яркость данных полос сравнялась; на расстояниях порядка 1,2 яркость углеродной полосы (4737) стала превосходить циановую (3883). Так шло до перигелия ($r=0,67$). После перигелия все эти явления повторились, но в обратном порядке. Следовательно, яркость газовых излучений при сближении кометы с Солнцем растет (вначале полосы были еще видны на фоне слабого непрерывного спектра, а потом стали резко выделяться), причем можно думать, что яркость группы углеродных полос (4737) увеличивается энергичнее, чем циановых (3883).

Конечно, еще рано подмеченные здесь особенности распространять на спектры всех комет — спектрофотометрия комет только еще начинает применяться и материала для обобщений все еще недостаточно.

Сближение кометы с Солнцем вызывает в ее спектре не только количественные изменения, но и качественные. Всякий раз, когда сближение достигает 0,8 АЕ, в районе ядра кометы с большей или меньшей интенсивностью вспыхивает спектр натрия [двойная желтая линия: D_1 (5896 Å) и D_2 (5890 Å)].

Только один раз астрономам удалось наблюдать (визуально) спектр кометы на расстоянии ее от Солнца порядка 0,01 АЕ. Это была большая сентябрьская комета 1882 II. Тщательное измерение ее спектра было произведено Копеландом и Лозе¹⁾ (Copeland and Lohse) 17—18 сентября, почти во время прохождения кометы через перигелий ($q=0,007744$ АЕ). Яркость кометы в эту эпоху была так велика, что ее наблюдали днем, на ярком фоне неба, около самого Солнца, стоило только рукой защитить глаза от его слепящих лучей. Спектр кометы был исключительным: на фоне сильного непрерывного спектра ярко сверкали линии в красной, желтой и зеленой его частях. Восемь из этих линий располагались рядом с фраунгоферовыми темными линиями, причем все они были смещены в одну и ту же сторону (в сторону более длинных волн) и на одно и то же расстояние (на $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$ расстояния между линиями натрия). Согласно принципу Доплера (см. стр. 159) смещение спектральных линий говорит о быстром движении наблюдателя относительно источника света. В среднем смещение было равно $\Delta\lambda=1,35$ Å или, по формуле Физо, скорость кометы относительно Земли

¹⁾ Copernicus, No 24, 1882.

должна была быть равной: $v = \Delta\lambda c / \lambda$, что даёт скорость от 69 до 77 км/сек. Это определение прекрасно согласуется со скоростью, вычисленной по эфемериде кометы: $v = 74$ км/сек.

Таблица II. Спектр кометы 1882 II

№	Измеренные длины волн	Описание измеренных излучений	Длины волн излучения элементов и молекул	Интенсивн.		Примечание		
1	6028	Яркая короткая линия	6059,7	5	C ₂ ?	Самые яркие излучения I группы полос спектра Свана		
2	5963	Через всю щель; более слабая пара чем следующая	5958,7	—	C ₂ ?	I группа полос Свана		
3	5953							
4	5933	Через всю щель	5923,4	—	C ₂ ?	I группа полос Свана		
5	5922							
6	5900						Слабое свечение	5897,5
7	5893	Яркие линии через всю щель	5896,2	—	}	Na		
8	5889		5896,2	—				
9	5797		Короткая яркая линия	5791			7	Cr
10	5601	Яркие линии	5585,5	8	}	C ₂ ?		
11	5574		5540,7	7			Наиболее яркие головные излучения II группы полос	
12	5474	Яркие линии; все одинаково смещены в сторону более длинных волн относительно соответствующих им фраунгоферовых линий солнечного спектра	5477,1	5	}	Ni		
13	5428		5429,9	6				
14	5395		5397,3	7				
15	5369		5370,2	6			}	Fe
16	5328		5328,2	8				
17	5269		5269,7	8				
18	5207	Второе свечение	5208,4	10	}	Cr		
19	5203	более слабое. Между ними темная линия	5206,0	7				
			5204,5	9				
20	5176	Полосы	5165,2	10	}	C ₂		
21	5115		5129,3	6				
22	5105		5097,7	1				
								Наиболее сильные головные излучения III группы полос Свана

Не было сомнений в том, что эти 8 ярких линий в спектре кометы принадлежат элементам, молекулы которых светились в районе ядра. Этими элементами оказались: Na (нат-

рий) (5896, 5890), Ni (никель) (5477) и Fe (железо) (5430, 5397, 5370, 5328, 5270). Углеродный спектр (спектр Свана) был представлен самой яркой желтой группой полос OC_2 (5 176, 5 115, 5 105). Что это углеродная группа—сомнений нет; хотя все измеренные головные излучения имеют длины волн больше чем лабораторные на 11, 14 и 7Å — но это может быть приписано эффекту Кайзера.

Кроме Fe, Ni, C_2 и Na были зарегистрированы излучения Cr (хрома) (5797) и окиси углерода CO (5900) (слабое свечение). Привожу длины волн излучений, измеренных Копеландом и Лозе (табл. 11).

Обычные в кометных спектрах излучения циана: (3883) и (4216) и Рэфети (4103) не могли быть наблюдаемы Копеландом и Лозе в спектроскоп, так как все они лежат в фиолетовой части спектра.

9. Заключение

Головы комет (кома, оболочки и изливания) всегда газовые и светятся излучениями CN (циана) и C_2 (углерода; спектр Свана). В области ядра, где площадная яркость наибольшая, при $r < 0,9$ АЕ появляется двойная желтая линия натрия. При $r < 0,1$ вспыхивают излучения Fe, Ni и Cr (см. табл. 12).

В области видимого ядра при r порядка 2 и меньше появляются новые излучения, приписываемые углероду C_2

Таблица 12. Спектры комет и их расстояния от Солнца

Комета	r	Спектры																
		H	CN	C_2	R	CO+	Na	Fe	Ni	Cr								
1910 II	2,95	H																
1892 III	2,40	H																
1910 II	2,33	H	CN															
1910 II	2,25	H	CN	C_2														
1910 II	2,20	H	CN	C_2	R													
1908 III	1,20	H	CN	C_2	R	CO+												
1911 V	1,06	H	CN	C_2	R	CO+												
1911 V	0,86	H	CN	C_2	R	CO+	Na											
1882 II	0,80	H	1)	C_2	1)	1)	Na											
1907 IV	0,75	H	CN	C_2	R	CO+	Na											
1911 V	0,60	H	CN	C_2	R	CO+	Na											
1910 I	0,48	H	CN	C_2	R	CO+	Na											
1882 II	0,09	H	1)	C_2	1)	CO+	Na	Fe	Ni	Cr								

H — непрерывный спектр, R — спектр Рэфети.

1) Спектр изучался визуально (глазом); поэтому излучения CO+, CN и R не могли быть обнаружены (фиолетовые излучения).

(спектр Рэфети) (головные излучения группы полос: 4103, 3852 Å).

В той же области ядра всегда наблюдается большей или меньшей интенсивности непрерывный спектр; он вызывается тремя причинами, действующими совместно: молекулярным рассеянием солнечного света (рэлеевское рассеяние), отражением лучей Солнца пылью, часто имеющейся в области ядра, и «хвостами» полос в молекулярных спектрах CN и C₂.

Спектр лучей, отраженных реальным твердым ядром, наблюдать еще никому не приходилось, по причине ничтожных размеров поперечников кометных ядер (порядка нескольких километров).

Спектр хвостов либо газовый (хвост I типа), где светятся излучения CO⁺ и N₂⁺, либо непрерывный солнечный (пылевые хвосты II типа).

ГЛАВА VI

ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ КОМЕТ

1. Температура кометных ядер

По мере приближения кометы к Солнцу температура ядра непрерывно растет. Порядок температуры и изменение ее в зависимости от величины r (радиуса-вектора) можно определить. Интенсивность падающих на Землю лучей Солнца хорошо известна: каждый квадратный сантиметр поверхности, расположенной перпендикулярно к лучам Солнца и поглощающей все его излучения (абсолютно черное тело), в одну минуту получает две малые калории¹⁾. Земля находится от Солнца на расстоянии 1 АЕ. На расстоянии r от Солнца 1 см² в одну минуту получит $2/r^2$ малых калорий. Расчет будем вести для 1 сек. времени. Тогда маленький шарик, имеющий поперечное сечение πR^2 (где R — его радиус), в 1 сек. получит солнечной энергии $\frac{2\pi R^2}{60r^2}$. Эта энергия перейдет в тепловое движение его молекул (теплоту) и распространится по всему шарикю, и, как всякое нагретое тело, шарик во все стороны каждой точкой своей поверхности будет излучать

¹⁾ Малой калорией называется то количество тепла, которое необходимо затратить, чтобы нагреть 1 г воды на 1° С.

инфракрасные лучи. Положим, что шарик находится в тепловом равновесии, т. е. сколько получает энергии, столько же и излучает. Поверхность шарика $4\pi R^2$; следовательно, каждый $см^2$ его поверхности будет испускать $\frac{2\pi R^2}{60r^2 4\pi R^2}$ малых калорий, или $0,00809/r^2$. По закону Стефана, чем больше калорий излучает $см^2$ какого-либо тела, тем больше его абсолютная температура. Зависимость выражается формулой:

$$E = 1,38 \cdot 10^{-12} \cdot T^4,$$

где E — число малых калорий, испускаемых $см^2$, а T — абсолютная температура. В нашем случае имеем:

$$\frac{0,00809}{r^2} = 1,38 \cdot 10^{-12} \cdot T^4,$$

или

$$T = \sqrt[4]{\frac{0,00809}{1,38 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{1}{Vr}} = \frac{276}{Vr}.$$

Чтобы перейти от абсолютной температуры к шкале Цельсия, нужно вычесть 273° :

$$t^\circ C = \frac{276}{Vr} - 273.$$

По этой формуле можно подсчитать температуру кометного ядра на любом его расстоянии от Солнца.

В табл. 13 приведены температуры нашего шарика на разных расстояниях его от Солнца. На небольших расстояниях

Таблица 13. Температура черного шарика на разных расстояниях от Солнца

r в АЕ	r в млн. км	t в $^\circ C$	r в АЕ	r в млн. км	t в $^\circ C$
0,005	0,75	+5340	1	150	+ 4
0,010	1,5	+3186	2	300	- 83
0,050	7,5	+1145	3	450	-121
0,100	15	+ 756	4	600	-135
0,200	30	+ 392	5	750	-150
0,400	60	+ 184	10	1 500	-190
0,600	90	+ 91	100	15 000	-247
0,800	120	+ 40	1000	150 000	-270

от Солнца (до $r=0,05$ АЕ) была взята более точная формула. Солнечная постоянная равна $1,94$ кал/ $см^2$ в мин.

2. Физическая теория головы кометы

Примитивная, так называемая «фонтанная» теория головы кометы не могла объяснить наблюдавшегося уменьшения оболочек комет по мере сближения их с Солнцем (см. стр. 63). Кроме того, оставался не определенным характер изменения величин начальных скоростей газовых молекул, вылетающих из кометного ядра. В Москве, на основе физических данных, была построена новая теория. Всего естественнее предположение, что ядро кометы нагревается под лучами Солнца, и в результате этого из твердых глыб ядра начинают выделяться находящиеся в них газовые молекулы. Их скорость обусловлена температурой ядра. Огромное количество молекул будет иметь скорости, наиболее вероятные при данной температуре. Кинетическая теория газов дает следующую формулу, связывающую эти величины:

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

где $R = 8,313 \cdot 10^7$ (абсолютная газовая постоянная), T — абсолютная температура и M — молекулярный вес газа. В предыдущем параграфе нами уже была найдена зависимость между температурой ядра и расстоянием r его от Солнца: $T = 276/\sqrt{r}$ ¹⁾. Подставив в вышенаписанную формулу значение T как функции r и произведя необходимые вычисления, получим следующее выражение для наиболее вероятного значения начальной скорости:

$$v = \frac{2,09}{\sqrt{M \cdot \sqrt[4]{r}}} \text{ км/сек.}$$

Для молекулы $(\text{CN})_2$, молекулярный вес которой 52, получим следующие значения:

$r = 0,5$	1,0	2,0 АЕ
$v = 0,34$	0,29	0,24 км/сек

Резкого изменения в начальных скоростях молекул нет (скорости обратно пропорциональны корню четвертой степени из r). Но наблюдающиеся оболочки (ξ_0 порядка десятков тысяч км) требуют для своего образования скоростей, в десятки раз больших; поэтому пришлось принять, что молекула, вылетающая из твердых глыб ядра, отталкивается не только Солн-

¹⁾ Более точная формула имеет вид: $T = 5740 \cdot r^{-0,04} \sqrt{\sin \frac{\alpha_0}{2}}$, где $\sin \alpha_0 = R_{\odot}/r$, R_{\odot} — радиус Солнца, r — радиус-вектор.

цем, но и самим ядром кометы, и что это отталкивание обусловлено лучевым давлением.

Однако, нельзя предположить, что ядро кометы производит на молекулу давление только отраженными лучами Солнца: отраженные от ядра лучи Солнца всегда несут в себе меньше энергии, чем падающие на него от Солнца.

Молекула, вылетевшая из ядра прямо к Солнцу, будет всегда им отталкиваться сильнее, чем ядром, и никакого увеличения скорости произойти не может. Но молекулы поглощают только свои характеристические излучения, а поглощение и производит лучевое давление. Слои молекул, обволакивающие твердое ядро кометы, имеют у самой поверхности ядра наибольшую плотность; здесь возбуждение их происходит, главным образом, за счет энергии корпускулярных солнечных потоков; эти слои испускают кроме излучений, вызванных световыми потоками Солнца, еще значительной мощности излучения, вызванные корпускулярными потоками. Поэтому исходящие из ядра радиации могут именно в характеристических излучениях молекул углерода C_2 и циана CN заключать в себе больше энергии, чем излучения самого Солнца. В результате лучевое давление от ядра может превышать лучевое давление Солнца, — конечно, в непосредственной близости от ядра.

Подобные явления наблюдаются, например, в планетарных туманностях, где громадные газовые массы, разбросанные около звезды, светятся исключительно под влиянием ее радиаций, но общая яркость их в видимых лучах (например в туманности Думбелл) в 250 раз больше, чем яркость самой центральной звезды. Объясняется это тем, что звезда испускает много ультрафиолетовых радиаций, невидимых глазом, а в видимых лучах яркость ее невелика ($13^{m\text{в}},6$); эти ультрафиолетовые радиации поглощаются молекулами газа, которые за их счет испускают свои характеристические излучения, лежащие в видимой части спектра (флуоресценция, см. стр. 73).

Приведу явление, подтверждающее исключительное значение корпускулярных потоков Солнца в процессах свечения газовых масс ядра.

Кэмбелл и Вендель (США) в 1910 г. исследовали яркость ядра кометы Галлея. Были обнаружены по двум независимым рядам наблюдений резкие колебания яркости, доходившие до $1^{m\text{в}}$ (т. е. 2,5 раза) в ту и другую сторону.

Когда в Москве эти изменения были сопоставлены с относительными числами Солнца (относительные числа характеризуют деятельность на поверхности Солнца и пропорцио-

нальны общей площади, занимаемой пятнами), то обнаружилась удивительная зависимость: чем больше было пятен на Солнце, тем ярче вспыхивало ядро кометы, и наоборот. Явление регулярно повторялось несколько месяцев.

Хорошо известна зависимость частоты и яркости полярных сияний от относительных чисел Солнца; явление идет совершенно так же, как и в ядре кометы. Но полярные сияния вызываются заряженными (электричеством) корпускулами, летящими от Солнца. На яркость головы кометы корпускулярные потоки Солнца совершенно не влияют, и только в более плотных частях газовых масс, в самом ядре, корпускулярные потоки испытывают заметное поглощение, возбуждая этим находящиеся в нем молекулы и заставляя их светиться.

Оболочки головы кометы

В голове кометы Галлея было четыре оболочки; они окаймляли одна другую, резко выделяясь параллельными слоями на стороне головы, обращенной к Солнцу. Все они испускали излучение циана CN и углерода C₂. Аналогичные многоярусные оболочки наблюдались в головах комет 1811 I и 1908 III. Размеры их (в АЕ) даны в табл. 14 вместе с величинами $M = \frac{\mu'}{1 + \mu}$ (см. стр. 63).

Таблица 14. Размеры оболочек и отношения отталкивательных ускорений ядра и Солнца для трех комет

Оболочки	1811 I		1908 III		1910 II	
	ξ_0	M	ξ_0	M	ξ_0	M
I	0,00036	$4,2 \cdot 10^{-15}$	—	—	0,00010	$2,5 \cdot 10^{-17}$
II	0,00089	$1,6 \cdot 10^{-16}$	0,00019	$3,3 \cdot 10^{-16}$	0,00024	$8,3 \cdot 10^{-16}$
III	0,00137	$8,8 \cdot 10^{-13}$	0,00031	$2,4 \cdot 10^{-15}$	0,00039	$5,8 \cdot 10^{-15}$
IV	0,00195	$3,6 \cdot 10^{-12}$	0,00045	$1,0 \cdot 10^{-14}$	0,00056	$2,5 \cdot 10^{-14}$

Интересно, что отношения величин ξ_0 для соответствующих оболочек двух комет одни и те же:

$$\frac{\xi_0(1811 I)}{\xi_0(1910 II)} = 3,6, \quad \frac{\xi_0(1910 II)}{\xi_0(1908 III)} = 1,25.$$

При исследовании головы кометы 1918 III сначала были найдены и измерены II и IV оболочки: по ним можно было найти отношение $\frac{\xi_0(1910 II)}{\xi_0(1908 III)}$ и предсказать размеры недостающих оболочек. После, на снимках Пулковской обсерватории

(С. К. Костинский), была отыскана недостающая III оболочка тех же размеров, как это было предвычислено. Оболочки I, благодаря ее исключительной близости к ядру, найдено не было.

Новая теория дала возможность по размерам оболочек подсчитать массу ядра, его размеры и яркость ядра в отраженных лучах Солнца. Формула, дающая по новой теории размеры головы кометы (см. стр. 63) как функцию расстояния кометы от Солнца, получила полное подтверждение при изучении изменений размеров оболочек головы кометы 1910 II (Галлея).

3. Ядро кометы

Новая физическая теория головы кометы (стр. 90) дала возможность по размерам наблюдаемых оболочек подсчитать как размеры, так и массы твердых кометных ядер по формулам:

$$\text{Радиус ядра в АЕ} \dots R = 0,5\xi_1^2$$

$$\text{Масса ядра в тоннах} \dots M = 1,8 \cdot 10^{33}\xi_1^3$$

Здесь ξ_1 — расстояние в АЕ от ядра до вершины первой ближайшей к ядру оболочки. Результаты исследований приведены в табл. 15. Интересно, что чем ярче комета, чем больше ее абсолютная яркость, тем шире расходятся от ядра ее оболочки и тем больше размеры твердого ядра кометы.

Согласно новой теории ядра комет оказались ничтожными и по размерам, и по массам. Это было известно еще очень

Таблица 15. Радиусы и массы кометных ядер

Комета	H_0 в mg	Радиус ядра в км	Масса ядра в тоннах	Предпо- лагаемая яркость твердого ядра в mg	Критиче- ская ско- рость око- ло ядра в m/sec	Попереч- ник го- ловы в км
1811 I	0,6	9,6	$2,6 \cdot 10^{11}$	12	12	1 200 000
1882 II	0,8	2,4	$4,0 \cdot 10^9$	15	3	590 000
1858 VI	3,7	0,86	$1,9 \cdot 10^8$	17	1,3	350 000
1910 II	4,0	0,60	$6,4 \cdot 10^7$	17	0,8	290 000
1908 III	4,3	0,54	$3,3 \cdot 10^7$	18	0,6	260 000
1910 I	5,4	0,22	$3,1 \cdot 10^6$	19	0,3	180 000

давно. Когда периодическая комета Лекселя в 1770 году приближалась к Солнцу, она прошла через систему спутников Юпитера; если бы масса этой кометы была порядка массы Земли, то движение спутников должно было бы измениться, но ничего подобного не произошло. В июле того же года комета приблизилась к Земле: только 2,4 млн. км отделяло ее от нас. Если бы масса кометы была порядка массы

Земли, то возмущение, испытываемое Землей, удлинит бы наш год на $2^{\text{h}}47^{\text{m}}$, но не произошло изменения даже и на одну секунду. Можно было утверждать, что масса кометы должна была быть меньше массы Земли по крайней мере в 5000 раз.

По современным данным ядро кометы Галлея (1910 II) имело ничтожные размеры: его поперечник около $1\frac{1}{2}$ км, а масса, учитывая промежутки между глыбами и принимая плотность порядка 1, около 10^{-14} массы Земли, или $6,4 \cdot 10^7 \text{ т}$. Здесь под ядром нужно подразумевать не тот световой сгусток, который мы наблюдаем в центральной части головы кометы и который состоит из газовых масс, испускаемых твердыми глыбами ядра, а только его твердые глыбы, центр тяжести которых по законам Кеплера движется около Солнца. Измеряемый диаметр светового сгустка (видимого ядра) зависит от расстояния кометы до Земли и от мощности трубы, которой пользуются при измерениях.

1910 г.		Поперечник в км	1910 г.		Поперечник в км
Апрель	13	10 200	Май	20	640
»	24	3 700	»	22	480
Май	2	2 200	»	23	460
»	6	1 300	Июнь	1	1 600
»	10	1 600	»	11	3 700
»	11	750			

Привожу измерения видимых поперечников ядра кометы Галлея (1910 II), произведенных Кэртисом по прекрасным

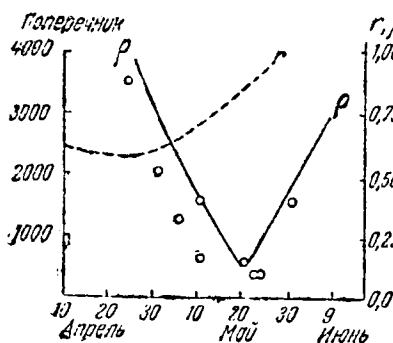


Рис. 30. Изменения поперечника ядра кометы 1910 II (Галлея) по Кэртису.

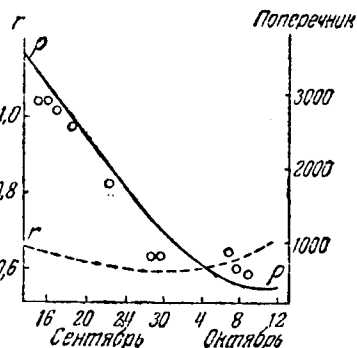


Рис. 31. Изменения поперечника ядра кометы 1858 VI по Медлеру.

большого масштаба снимкам Иеркской обсерватории (США) (см. таблицу и рис. 30), а также результаты измерений поперечников ядра кометы 1858 VI по Медлеру (рис. 31):

Комета 1910 II проходила через перигелий 19 апреля, а 28 мая ее расстояние до Земли было наименьшим. Поперечник ядра резко менялся и был наименьшим именно в эпоху наибольшей близости кометы к Земле. На рис. 30 и 31 с достаточной убедительностью показано, что размеры видимого ядра одной и той же кометы не постоянны. Они зависят только от расстояния кометы до Земли. Из спектроскопических наблюдений над ядром кометы Галлея можно было заключить, что оно давало почти исключительно газовые радиации. Представьте себе скопление газов около ядра (твердых глыб), расходящееся во все стороны, плотность которого быстро уменьшается от центра, и с размытыми поэтому очертаниями; чем ближе к такому сгустку и чем больше его видимые размеры, тем меньше должно казаться его центральное уплотнение, поэтому с уменьшением расстояния поперечник этого центрального уплотнения должен сжиматься.

Наше заключение подтверждается и другими наблюдениями. По Бальде ядро кометы Галлея, при рассматривании его в небольшую астрономическую трубу, казалось ярким и хорошо ограниченным, в то же время в большой рефрактор (диаметр объектива 83 см) Антониади (Франция) ядра совершенно не видел: при большем увеличении ядро просто исчезло. Если принять диаметр ядра кометы, именно твердых его частей, как это получилось у нас, порядка 1,5 км, то оно действительно исчезнет: такой крохотный кусочек вещества даже в гигантскую трубу, но на большом от нее расстоянии, различить нельзя. Отсюда следует, что измеренные поперечники кометных ядер в сущности ничего не дают — сами ядра, как груды каменных глыб, держащихся друг около друга силами взаимного тяготения, так малы, что не поддаются непосредственным измерениям.

О том же самом говорят и другие явления. Уже несколько раз астрономам приходилось наблюдать прохождение головы кометы по диску Солнца. Особенно много надежных наблюдений было произведено 5 мая 1910 г., когда та же комета Галлея проходила как раз между Землей и Солнцем, проецируясь на его диске. Путь комет был хорошо известен, но не помогли и громадные трубы, которыми тщательно исследовали диск Солнца в тех его точках, где должна была бы проецироваться голова кометы: ни какого-либо потемнения, ни какой-либо черной точки замечено не было — ядро кометы оказалось совершенно прозрачным. Зная мощность астрономических труб, можно подсчитать, что если бы диаметр твердого ядра был больше 30 км, то астрономы должны были бы заметить крохотную черную точку, двигав-

шуются по ослепительному диску Солнца. Раз ничего замечено не было, поперечник твердого ядра был значительно меньше.

К тем же результатам относительно размеров кометных ядер пришел Бальде (Франция). Он воспользовался исключительной близостью к Земле кометы Понс-Виннеке (1927 VII). 27 июня ее расстояние от Земли было всего 0,039 АЕ (5,8 млн. км). Только одна комета Лексея в 1770 г. подходила еще ближе к Земле (0,016 АЕ, или 2,4 млн. км). Можно было думать, что при таком сближении в большой рефрактор Медонской обсерватории (Франция), поперечник объектива которого 83 см, можно различить подлинное ядро кометы. Яркость ядра оказалась 14^{m}_{g} . Исходя из предположения, что альbedo¹⁾ ядра 0,1, Бальде мог определить размеры шара, отражавшего столько же света, сколько давало нам ядро кометы. Поперечник оказался порядка 400 м. Бальде совершенно правильно замечает, что, вернее всего, — это преувеличенное значение поперечника. Через три года комета Швасман-Вахмана (1930 VI) приблизилась к Земле на расстояние 0,056 АЕ. Бальде тем же способом нашел поперечник ее ядра, оказавшийся тоже около 400 м. Эти две кометы — одни из самых слабых по яркости.

Как автор новой физической теории, я стою за свои величины поперечников кометных ядер (см. таблицу 15). Если принять мои величины, то даже для исполинской кометы 18111, абсолютный блеск которой был $0^{\text{m}}_{\text{g},0}$, а поперечник головы — порядка поперечника Солнца, яркость ядра в отраженных лучах при угле фазы 0° получается порядка 12^{m}_{g} . Для вычисления я брал радиус ядра 9 км, альbedo 0,15, $r = \rho = 1$ ($h = -5 \lg R + 14,62 - 2,5 \lg A_1$, где h — блеск ядра в отраженных лучах, R — радиус ядра в км, A_1 — альbedo).

Изучать лучи Солнца, отраженные от реального ядра кометы, в громадном большинстве случаев просто нельзя. Если мы видим непрерывный спектр в центральном сгустке головы кометы, то он испускается скоплением космических пылинок и частиц, медленно отсеивающихся от кометных ядер, но не ими самими. Только при исключительных условиях, когда расстояние кометы от Земли уменьшится до нескольких миллионов километров, отраженные лучи, посылаемые нам ядром, могут быть объектом изучения. Ядро исполинской кометы 18111 только на расстоянии 9,5 млн. км от Земли казалось

¹⁾ Альbedo характеризует отражательную способность. Это есть отношение светового потока, отраженного телом, к падающему на него световому потоку.

бы звездой 6^{m_2} , а средняя комета, чтобы казаться 6^{m_2} , должна была бы сблизиться с Землей на 0,004 АЕ, или 0,6 млн. км.

Наблюдения Бальде над кометами Понс-Виннеке (1927 VII) и Швасман-Вахмана (1930 VI) являются двумя исключительными случаями, когда можно было как-нибудь оценить яркость реальных кометных ядер. Сляйфер попытался измерить диаметр видимого ядра кометы Понс-Виннеке; расстояние ее до Земли 27 июня в эпоху наблюдения было 0,039 АЕ (5,8 млн. км). Однако, непосредственно измерить поперечник не было возможности, и он сравнил его с поперечниками спутников Юпитера, диаметры которых известны; в результате сравнения поперечник оказался порядка 3 км — нужно думать, значительно больше реального.

4. Зависимость абсолютной яркости от массы комет

Рассматривая предыдущую таблицу мы видим, что между абсолютными яркостями голов комет и массами их ядер есть определенная зависимость. Мы уже высказали предположение, что причиной отталкивательных ускорений $1 + \mu$, приписываемых Солнцу и μ' — ядру кометы, повидимому, является лучевое давление. Величина солнечного лучевого давления должна зависеть от абсолютной яркости Солнца ($H_{\odot} = -26,^{m_2}$), кометного — от яркости ядра кометы (h_0).

Освещение от Солнца в люксах равно $A \cdot 2,5119^{-H_{\odot}}$, а от ядра кометы — $A \cdot 2,5119^{-h_0}$. Так как лучевое давление можно принять пропорциональным написанным величинам, то

$$\frac{\mu'}{1 + \mu} = 2,5119^{H_{\odot} - h_0} = M.$$

Радиус ядра, согласно новой физической теории головы кометы, выражается формулой

$$R_{\odot} = \sqrt{M},$$

а масса ядра (шар):

$$M_{\odot} = \frac{4}{3} \pi R_{\odot}^3 \delta,$$

где δ — плотность ядра, или

$$M_{\odot} = \frac{4}{3} \pi M^{3/2} \delta.$$

Из написанных нами двух уравнений можно исключить величину M ; тогда, выражая массу ядра в тоннах, получим

искомую зависимость между абсолютной яркостью h_0 ядра кометы и логарифмом его массы:

$$\lg M_{\odot} + 0,6h_0 = \text{const.}$$

К сожалению, абсолютная яркость ядра h_0 с достаточной точностью известна только для одной кометы Галлея. Однако, с некоторым приближением можно принять, что для одной и той же кометы абсолютная яркость головы пропорциональна абсолютной яркости ядра. Тогда выведенное нами теоретически уравнение можно проверить, так как массы ядер шести комет и их абсолютные яркости известны (см. стр. 93) с точностью не выше двух значащих цифр. Как видно из таб-

Комета	$\lg M_{\odot} + 0,6h_0 = \text{const.}$
1811 I	11 + 0,0 = 11
1882 II	9,6 + 0,5 = 10
1858 VI	8,3 + 2,2 = 10
1910 II	7,8 + 2,4 = 10
1908 III	7,5 + 2,6 = 10
1910 I	6,5 + 3,2 = 10

лички, согласованность получилась достаточная. Таким образом, сумму логарифма массы и $0,6 H_0$ действительно в пределах двух значащих цифр можно считать постоянной, как этого требует теория.

5. Хвосты комет и лучевое давление

Световые волны, падая на какую-нибудь поверхность, производят на нее определенное, но незначительное по величине давление. Еще Кеплер предполагал, что хвосты комет образуются давлением солнечных лучей на частицы, вылетающие из ядра кометы. П. Н. Лебедеву (Москва) удалось экспериментально подтвердить правильность теоретических расчетов Бартоли и Максвелла о лучевом давлении.

Выведем формулу, по которой можно было бы подсчитать величину давления и посмотреть, достаточно ли его для объяснения отталкивательных сил Солнца в хвостах комет. Метод вывода формулы прост; нужно только знать размерность физических величин. Все величины можно выразить через длину L (единица длины cm), массу M (единица массы g) и время T (единица времени — $сек$). Скорость есть отношение пути ко времени L/T или L^1T^{-1} ; это и есть размерность скорости (длина в первой степени, время в минус первой). Ускорение — это отношение прироста скорости к соответствующему этому приросту промежутку времени $(v_1 - v)/t$, размерность ускорения

L^1T^{-2} . Работа (или, что то же, энергия) — это произведение пути на действующую силу sf , но сила равна произведению массы на ускорение, сообщаемое телу этой силой: $f=ma$. Размерность ускорения нам уже известна, тогда размерность силы будет: $M^1L^1T^{-2}$, а энергии — $M^1L^2T^{-2}$. Приступим к выводу формулы. Из элементарной физики известно, что если сила f действует на массу m , то в течение времени t оно сообщит массе скорость v (начальная скорость $v_0=0$). Формула, связывающая эти величины, следующая:

$$ft \text{ (импульс силы)} = mv \text{ (количество движения)}.$$

Если высчитывать количество движения для 1 сек., то $f=mv$. Лучевое давление (сила) обозначается буквой $p=mv$, если полагать, что энергия лучей, падающая на поверхность, своим давлением производит определенное количество движения. Очевидно, лучевое давление будет зависеть и от величины энергии E , падающей на тело в единицу времени, и от скорости этой энергии c ; тогда $p=\Phi(E, c)$. Эта функция нам неизвестна. Предположим, что в искомой зависимости E (энергия) входит в некоторой, нам пока неизвестной степени x , а скорость c — в некоторой степени y . Приравняем размерности правой и левой частей нашего уравнения:

$$p = mv = E^x c^y, \quad M^1L^1T^{-1} = M^x L^{2x} T^{-2x} L^y T^{-y}.$$

Показатели степеней у M , L и T в правой и левой частях равенства должны быть одними и теми же: $1=x$, $1=2x+y$, $-1=-2x-y$. Отсюда $x=1$ и $y=-1$. Искомая зависимость есть $p=E/c$, где E — поток энергии, падающей на тело в 1 сек. и c — скорость переноса энергии. Полученная формула была выведена из термодинамических соображений Бартоли и на основе электромагнитной теории света Максвеллом.

Энергия солнечных лучей известна; на расстоянии Земли от Солнца ($r=1$) квадратный сантиметр поверхности, помещенный перпендикулярно к падающим на него лучам, получает 1,94 калории в 1 мин., или $3,23 \cdot 10^{-2}$ калорий в 1 сек. Для подсчета лучевого давления необходимо калории перевести в механические единицы (1 калория = $4,19 \cdot 10^7$ эргов). Скорость света $c=3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Тогда

$$p = \frac{3,23 \cdot 10^{-2} \cdot 4,19 \cdot 10^7}{3 \cdot 10^{10}} \text{ дин/см}^2.$$

Так как $981 \text{ дин} = 1 \text{ г}$, то давление в граммах, в силу закона Ньютона: $f=ma$ (сила равна произведению массы на ускорение), будет в 981 раз меньше. На 1 см^2 лучевое давление Солнца $p=4,6 \cdot 10^{-8} \text{ г/см}^2$; на 1 м^2 $p=4,6 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^2$,

или половине миллиграмма. Отсюда понятно, какие трудности должен был преодолеть П. И. Лебедев, чтобы с надежностью обнаружить и подсчитать лучевое давление в лаборатории опытным путем.

Разберем особенности лучевого давления на шарики разных размеров. Лучевое давление на шарик будет пропорционально его поперечному сечению πR^2 и обратно пропорционально квадрату его расстояния r от Солнца:

$$p = \frac{E \cdot \pi R^2}{c \cdot r^2}.$$

Если полученное выражение для силы давления разделить на массу шарика ($\frac{4}{3}\pi R^3 \delta$, где δ — плотность шарика), то получим ускорение отталкивательной силы Солнца. Если это ускорение разделить на величину ускорения тяготеющей силы Солнца a/r^2 и это ускорение и ускорение лучевого давления дано в системе CGS, то получим число, показывающее, во сколько раз ускорение лучевого давления (отталкивания) больше ускорения тяготения: это число мы обозначили (см. стр. 48) символом $1 + \mu$. Тогда

$$1 + \mu = \frac{3E\pi R^2 r^2}{c r^2 4\pi R^3 \delta a}, \text{ или } 1 + \mu = \frac{3E}{4caR\delta}.$$

Но

$$\frac{E}{c} = 4,51 \cdot 10^{-5} \text{ дн} \text{ и } a = 0,593 \text{ см/сек}^2.$$

Следовательно,

$$1 + \mu = \frac{5,71 \cdot 10^{-5}}{R\delta}.$$

Наша формула показывает, что $1 + \mu$ быстро увеличивается с уменьшением размеров шарика и для крохотных шариков может быть сколь угодно большой величиной.

Однако, все это не так просто. Формула выведена для случая, когда шарик поглощает всю падающую на него радиацию (идеально черный шарик). Если шарик зеркальный и отражает все падающие на него лучи, то произойдет двойной удар; каждый фотон, как резиновый мячик, отскакивающий от стены, сначала произведет давление, ударившись о преграду, и затем такое же давление при обратном отскоке. Нашу формулу поэтому придется для зеркального шарика помножить на 2. Но нет ни идеально черных, ни зеркальных тел, и наш множитель будет меньше 2 и больше 1. Если обозначить буквой A альбедо шарика (идеально черное тело имеет $A=0$, идеально белое $A=1$), то наш множитель примет вид $1 + A$. Но это еще не все.

Шварцшильдом в формулу лучевого давления на шарик введен еще множитель α . Дело в том, что если размеры шарика близки к длине падающей на него волны, то происходит дифракция: волны будут огибать шарик, и лучевое давление при дальнейшем уменьшении размеров шарика быстро падает до нуля¹⁾. Ниже даны величины множителя α для разных отношений между длинами волн λ и периметрами поперечного сечения шарика.

$\frac{2\pi R}{\lambda}$	α	$\frac{2\pi R}{\lambda}$	α
0,50	0,28	2,00	1,65
0,69	1,00	2,50	1,42
0,84	2,00	3,00	1,30
1,00	2,46	4,00	1,19
1,50	2,00	5,00	1,12

Много шансов за то, что вещество в кометах — того же строения, что и в метеоритах, иногда падающих с неба на поверхность Земли. Плотность каменных метеоритов, которые могут рассыпаться на крохотные пылинки, в среднем равна 3,6. Если взять эту плотность и считать среднее альbedo равным 0,1, то можно вычислить для различных шариков из метеоритной пыли соответствующие величины $1+\mu$. Но какую величину λ световой волны нужно взять, чтобы по таблице найти соответствующий множитель α ? Солнце испускает радиации всех длин волн. Для точного подсчета пришлось разбить весь спектр Солнца на небольшие участки; для каждого участка подсчитать приходящуюся на него энергию излучений, для средней волны этого участка найти множитель и вычислить соответствующую величину лучевого давления. Если просуммировать все полученные таким путем величины для всех участков спектра, то получим лучевое давление Солнца на шарик взятого нами радиуса. В табл. 16 приведены результаты вычислений.

¹⁾ Сущность дифракции можно понять из простого примера. На зеркальной поверхности пруда плавают бревно. Бросим в пруд недалеко от него камень. Круговая волна, распространяющаяся от места падения, быстро донесется до бревна, отразится и побежит назад. Все это хорошо видно на поверхности пруда. Бревно получит удар от отброшенной им волны (лучевое давление), правда, чрезвычайно слабый. Рядом с бревном плавают крохотная пробка; волна только подымает и опускает пробку, но уже не отражается от нее. Следовательно, лучевого давления волны на пробку нет; она мала по сравнению с длиной волны, а бревно во много раз больше.

Из табл. 16 видно, что наибольшее лучевое давление Солнца приходится на шарик радиуса 0,0000085 см, или 850 Å; величина лучевого давления на этот шарик в 2,8 раза больше

Таблица 16. Лучевое давление Солнца на шарики разного радиуса

R в см	$1+\mu$	R в см	$1+\mu$
$2,5 \cdot 10^{-6}$	0,06	$10 \cdot 10^{-6}$	2,7
$4 \cdot 10^{-6}$	0,5	$20 \cdot 10^{-6}$	1,5
$5 \cdot 10^{-6}$	1,7	$30 \cdot 10^{-6}$	0,8
$6 \cdot 10^{-6}$	2,2	$60 \cdot 10^{-6}$	0,5
$7 \cdot 10^{-6}$	2,6	$100 \cdot 10^{-6}$	0,2
$8 \cdot 10^{-6}$	2,8	$1000 \cdot 10^{-6}$	0,02
$9 \cdot 10^{-6}$	2,8		

силы притяжения его Солнцем. В хвостах II типа (см. стр. 54) наибольшая отталкивательная сила порядка 2,5, что очень хорошо согласуется с максимальной величиной лучевого давления, полученной нами теоретически. Так как спектры хвостов II типа непрерывные (см. стр. 82), а следовательно, они отражают лучи Солнца и состоят из твердых частиц, то предположение о пылевом строении хвостов II типа следует считать хорошо обоснованным. Находит себе объяснение и то, что величины отталкивательных сил в хвостах II типа имеют все значения от 2,5 до 0,5 — пылинки, на которые распадаются метеоритные камни в ядрах комет, могут быть разных размеров, а лучевое давление резко меняется с изменением величин радиусов шариков; поэтому понятно то разнообразие в величинах отталкивательных сил Солнца, которое имеет место в хвостах II типа. *Хвосты II типа состоят из космической пыли, отталкиваемой лучевым давлением Солнца. Радиусы пылинок от 0,000006 см до 0,000004 см и массы от $3 \cdot 10^{-12}g$ (при плотности 3,6) до $10^{-12}g$.*

Физическое строение хвостов II и III типов и природа образующих их отталкивательных сил Солнца найдены и пока не возбуждают сомнений. Иначе обстоит дело с хвостами I типа.

6. Природа отталкивательных сил в хвостах I типа

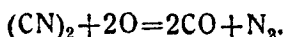
Спектры хвостов I типа состоят из отдельных ярких излучений ионизованных молекул CO^+ и не всегда наблюдаемых значительно более слабых излучений тоже ионизованных молекул азота N_2^+ . В разных частях хвоста яркости

разных излучений CO^+ различны — молекулы не находятся в одних и тех же физических условиях. Так как молекулы несутся в хвосте кометы по почти параллельным орбитам, то о столкновениях между ними говорить не приходится; поэтому не приходится говорить и о температуре. Все попытки объяснить громадные отталкивательные силы Солнца, установленные с достаточной точностью в этих хвостах ($1+\mu=22,3n$, где $n=1,2,3,\dots$), причем величины этих сил в десятки раз превышают силу тяготения Солнца и кратны числу 22,3, кончались до сего времени безуспешно. Вурм (1934 г.), рассматривая молекулу как простой резонатор, поглощающий соответствующие ему радиации Солнца, вычислил теоретическую величину отталкивательной силы Солнца для циана CN . Полученное им значение $1+\mu=130$ резко расходится с наблюдаемым. Несколько раз в голове кометы Галлея 1910 г. наблюдались циановые облачные образования, причем удавалось проследить их движение по нескольким снимкам головы кометы и с достаточной точностью вычислить величины отталкивательного ускорения Солнца. Они оказались порядка $1+\mu=2,5$, а не 130, как дают расчеты Вурма.

Для молекулы CO Вурм дает $1+\mu$ порядка 67—118; в сущности то же, что и для циана. Только порядок отталкивательных сил подходит к наблюдаемому, но объяснить кратность сил лучевым давлением не удалось. Интересно, что в хвостах I типа находятся исключительно ионизованные молекулы CO^+ и N_2^+ , отталкиваемые Солнцем с громадными силами, а в головах комет исключительно нейтральные молекулы $(\text{CN})_2$, C_2 и Na , с величинами отталкивательных сил порядка единицы. Между тем теоретические подсчеты лучевого давления на все эти молекулы дают силы одного и того же порядка. Есть еще лучевые системы (хвосты 0 типа); спектр их точно не определен; по видимому, и они состоят из CO^+ , но силы, действующие на частицы этих лучей, порядка 1000 и больше. Следует признать, что природа отталкивательных сил Солнца, образующих хвосты I типа, до сих пор не ясна.

Есть еще странные явления в хвостах I типа. Раньше (стр. 81) мы указывали на резкое различие в спектрах хвоста I типа и головы кометы. Изучая спектрограммы кометы Галлея 29 апреля 1910 г., Бобровников обратил внимание на изливание из ядра циана в виде полоски, которую можно было проследить сравнительно далеко в самом хвосте кометы. Эта циановая струйка постепенно превращалась в CO^+ . Циан, вылетающий из головы кометы, переходя в хвост, пре-

вращался в окись углерода. Одновременно то же явление наблюдал Сляйфер; он проследил циановые излучения в струйке до $\frac{2}{3}$ в хвосте кометы; дальше та же струйка, простирающаяся в хвосте до 10^3 , давала спектр CO^+ . Бобровников предполагает, что в струйке шла своеобразная химическая реакция между цианом и кислородом, в результате которой образовались молекулы окиси углерода и азота, наблюдающиеся в хвостах комет:



Правда, излучений кислорода (O) никто в спектрах комет на наблюдал, но ярких излучений O в частях спектра, доступных нашим астрографам, нет, чем и можно объяснить их невидимость.

Только дальнейшие исследования спектров будущих комет дадут возможность понять физическую природу, повидимому, сложных явлений, разыгрывающихся в хвостах I типа.

7. Продолжительность жизни комет

Для многих комет нам известна их абсолютная яркость, известно, как менялась яркость с изменением расстояний кометы от Солнца. Мы знаем, что у многих комет почти все их свечение состояло исключительно из газовых радиаций и только ничтожная часть состояла из отраженных лучей Солнца. Мы знаем, что газовые излучения состоят из отдельных квантов, количество энергии в которых хорошо известно. Тогда для каждого момента, зная общую яркость кометы, можно подсчитать число светящихся молекул в ее голове. Хорошо зная из механической теории кометных форм о характере движений частиц в голове кометы, можно подсчитать, сколько молекул в единицу времени должно вылетать из ядра, чтобы обеспечить наблюдавшуюся яркость кометы. Можно просуммировать общую потерю газов ядром кометы за весь период движения ее около Солнца. О порядке массы ядра мы тоже имеем некоторое представление (см. стр. 93); можно даже сделать попытку определить общий запас газов в ядре кометы. Химический состав метеоритов, имеющихся в коллекциях минералогических кабинетов, хорошо исследован. Для выделения газов, заключенных в них, образцы метеоритов помещали в стеклянную трубку и выкачивали оттуда воздух, после чего нагревали метеориты до красного каления. При нагревании метеориты начинали выделять заключенные в них газы; оказалось, что газов в метеоро-

ритах много; примерно, в каждом 1 см^3 метеорита $2,5 \text{ см}^3$ газов (при нормальном давлении 76 см^3 и температуре 0°C). Мы знаем, что в каждом см^3 содержится $3 \cdot 10^{19}$ молекул. Зная массу ядра кометы и предполагая, что в каждом см^3 его массы 10^{19} газовых молекул, можно составить себе представление о возможных запасах газа в кометных ядрах.

Расчет был произведен для знаменитой в истории астрономии кометы Галлея. Результаты вычислений сведены в табл. 17.

Таблица 17

Комета 1910 II (Галлея)	Масса в m	Число молекул
Газовая масса головы кометы для $r=1 \text{ АЕ}$	200	$3 \cdot 10^{30}$
Потеря кометой газа за один период	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{32}$
Общий запас газов в ядре кометы	$4 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^{34}$
Масса ядра кометы	$2 \cdot 10^9$	—

Комета Галлея через 77 лет в среднем снова возвращается к Солнцу. Наибольшее расстояние ее от Солнца 35,3 АЕ, наименьшее перигелийное расстояние 0,587 АЕ. Ядро кометы выделяет заключенные в нем газы только в областях, близких к Солнцу, где оно хоть сколько-нибудь прогревается под его лучами. Если в продолжение одного оборота комета теряет $1/200$ всего своего запаса газа и если этот процесс в среднем принять такой же интенсивности, как и в эпоху 1910 г. (на самом деле блеск кометы от одного появления к следующему убывает), то газов в комете Галлея, необходимых на развитие ее оболочек и хвостов, должно хватить на 200 периодов, т. е. на 15 000 лет.

Примерно число того же порядка — число возможных периодов обращений — получим в среднем и для других комет. Отсюда можно заключить, что все короткопериодические кометы недавнего происхождения. Даже кометы с периодами обращений порядка одного миллиона лет (см. стр. 110) должны были образоваться значительно позднее нашей солнечной системы, возраст которой оценивается исполинским числом — порядка 4000—5000 млн. лет.

Г Л А В А VII

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КОМЕТ

1. Оскулирующие и первичные орбиты

Для 467 комет мы имеем вычисленные орбиты. Из них параболических орбит 250, эллиптических 170 и гиперболических 47. В сущности, параболических кометных орбит нет совсем (см. стр. 18) и под этим названием нужно подразумевать орбиты, эксцентриситеты которых близки к единице; поэтому наблюдения достаточно хорошо представляются просто параболой, а это сильно облегчает вычисления.

По мере того, как с течением времени усовершенствовалась техника наблюдений, все меньше и меньше комет получали параболические орбиты:

Годы наблюдений	% параболических орбит
До 1755 г.	99
1756—1845 гг.	74
1846—1895 гг.	54
1896—1937 гг.	42

С другой стороны, чем больше дуга кометной орбиты, охваченная наблюдениями (или, что то же, чем больше времени наблюдалась комета), тем меньше шансов, что орбита кометы останется параболической.

Видимость кометы в сутках	% параболических орбит
От 1 до 99	68
100—239	55
240—511	13

Орбита кометы определяется по наблюдаемой части ее дуги, расположенной вблизи Земли, а следовательно, и Солнца. Планетные возмущения (в особенности возмущения от исполинских планет Юпитера и Сатурна) деформируют орбиту кометы и можно утверждать, что с исчерпывающей точностью ни одна кометная орбита не может совпадать с каким-либо одним коническим сечением. Поэтому на орбите кометы, надежных наблюдений над которой много и они охватывают значительный промежуток времени, выбирают точку (точка оскуляции) и все остальные наблюдения исправляют за возмущения планет. Таким образом, определяют орбиту некоторой фиктивной кометы, которая в точке оскуляции совпадала с реальной, но двигалась только под влиянием

тяготения одного Солнца (возмущения планет исключены). Такая орбита действительно уже должна быть коническим сечением. Наличие для какой-нибудь кометы оскулирующей орбиты позволяет вычислить ее реальные положения (координаты) для любого момента времени. Будем следить за кометой, вычисляя координаты ее положения до момента

ее открытия, изучая ту реальную орбиту, по которой она приближалась к Солнцу. Если проследить комету достаточно далеко, то возмущениями планет можно будет пренебречь, комета уйдет от системы планет и все планеты вместе с Солнцем можно рассматривать как одну точку, притягивающую комету. В этом случае мы имеем так называемую задачу двух тел (Солнце — комета) и движение строго по коническому сечению. Это коническое сечение, по которому комета приближалась к Солнцу, называется ее *первичной*

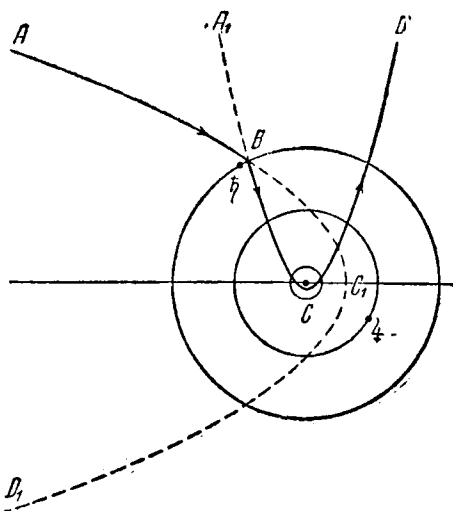


Рис. 32. Оскулирующие и первичные орбиты.

орбитой. Элементы первичной орбиты могут резко отличаться от элементов оскулирующей орбиты для одной и той же кометы. На рис. 32 приведены орбиты Сатурна (h), Юпитера (J) и Земли. Реальное движение кометы обозначено сплошной линией. Когда комета сближалась с Сатурном (точка B), то его возмущения резко изменили орбиту, и комета стала двигаться совсем по другому коническому сечению BC . Так как кометы наблюдаются только внутри орбиты Юпитера, то оскулирующей орбитой будет A_1BCD . Если мысленно двигать комету назад по времени, учитывая возмущения от планет, то первичной орбитой придется признать ABC_1D_1 . По ветви этой орбиты комета приближалась к планетной системе.

Если комета имеет гиперболическую орбиту, непосредственно определенную из наблюдений, это еще не значит, что она пришла к нам из других звездных систем. Необходимо определить ее первичную орбиту—ту орбиту, по которой она приближалась к планетной системе. Если первич-

ная орбита тоже окажется гиперболической, то только в этом случае можно говорить, что комета до своего прохождения через перигелий не принадлежала нашей солнечной системе и пришла к нам из других звездных систем. Поэтому в первую очередь интересно было определить первичные орбиты для гиперболических комет. Эти исследования были начаты Трэном в конце прошлого столетия. Он взял комету 1886 III, имевшую надежно определенную гиперболическую орбиту, и стал двигать эту комету назад по времени, тщательно учитывая возмущения Юпитера и Сатурна. Результаты вычислений приведены в табл. 18. Эксцентриситет, бывший в эпоху оскуляции явно гиперболическим ($e > 1$), быстро уменьшался. Трэн делает вывод, что если продолжать вычисления дальше, то первичную орбиту этой кометы следует рассматривать как эллиптическую: гиперболичность оскулирующей орбиты всецело объясняется возмущающим действием Юпитера и Сатурна.

Таблица 18. Изменение эксцентриситета орбиты при приближении кометы к Солнцу

Эпоха оскуляции	Расстояние кометы от Солнца r	Эксцентриситет e
1886 май 3	0,5	1,000 229
1884 август 15	7,6	1,000 117
1883 апрель 23	11,3	1,000 002
1882 октябрь 5	12,7	1,000 002

После Трэна вычислением первичных орбит занималось много ученых. Следует отметить работы Стрёмгрена (Дания) и его школы. Всего определено 15 первичных орбит; производить определение первичной орбиты имеет смысл только для тех комет, оскулирующие орбиты которых определены с достаточной точностью; таких комет немного.

На стр. 19 указано, что у гипербол большие оси ($2a$) отрицательны, у эллипсов — положительны, у парабол — бесконечно велики. Как критерий принадлежности орбиты той или другой кометы к эллипсам или гиперболам можно взять величину a (большую полуось) или ей обратную $1/a$; знак этой величины и будет характеризовать орбиту.

Привожу результаты этих исследований в виде графика (рис. 33). Данные для графика (табл. 19), дающего распределения характеристик оскулирующих и первичных орбит, составлены следующим образом.

Выпишем те величины $1/a$ наших 15 оскулирующих орбит, которые заключаются между $-0,0010$ и $-0,0008$. Таких величин оказалось две ($n=2$): $-0,000819$ (1853 III) и $-0,000872$ (1897 I). В этом интервале две величины ($n=2$); их средняя величина $-0,00085$. В следующем интервале ($-0,0008$ и $-0,0006$) оказалось тоже две величины: $-0,00069$ (1886 I) и $-0,00061$ (1898 VII); $n=2$, $1/a = -0,00065$ и т. д. Эти точки и нанесены на график.

Почти все взятые нами оскулирующие орбиты были гиперболическими (12 гиперболических и 5 эллиптических с эксцентриситетами, близкими к единице).

В настоящее время нет ни одной кометы, относительно которой можно было бы утверждать, что она, приближаясь к планетной системе, двигалась бы по гиперболической орбите. *Первичные орбиты комет — эллипсы.* Кометы не приходят к нам из межзвездного пространства, их происхождение нужно искать в нашей солнечной системе.

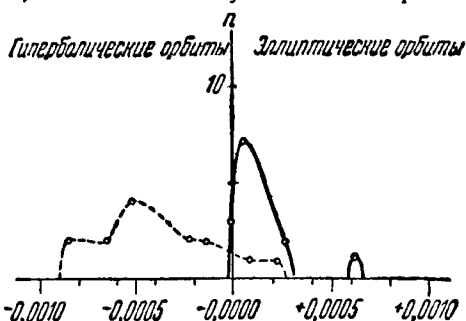


Рис. 33. Распределение оскулирующих и первичных орбит. Оскулирующие орбиты — пунктир, первичные — сплошная линия.

Таблица 19. Распределение оскулирующих и первичных орбит

Оскулирующие орбиты			Первичные орбиты тех же комет		
$\frac{1}{a}$	n	Среднее $\frac{1}{a}$	$\frac{1}{a}$	n	Среднее $\frac{1}{a}$
От $-0,0010$ до $-0,0008$	2	$-0,00085$	От $-0,0002$ до $0,0000$	3	$-0,00001$
» $-0,0008$ » $-0,0006$	2	$-0,00065$	» $0,0000$ » $+0,0002$	7	$+0,00004$
» $-0,0006$ » $-0,0004$	4	$-0,00051$	» $+0,0002$ » $+0,0004$	2	$+0,00026$
» $-0,0004$ » $-0,0002$	2	$-0,00024$	» $+0,0004$ » $+0,0006$	—	—
» $-0,0002$ » $0,0000$	2	$-0,00015$	» $+0,0006$ » $+0,0008$	1	$+0,00062$
» $0,0000$ » $+0,0002$	1	$+0,00008$			
» $+0,0002$ » $+0,0004$	1	$+0,00021$			

Кривая распределения больших полуосей у первичных орбит почти целиком лежит в области эллиптических орбит; резкий максимум, представляющий собой, повидимому, предел

наиболее удаленных кометных орбит, соответствует величине $1/a = 3 \cdot 10^{-5}$. Отсюда предельное значение $a = 30\,000$ АЕ. Этой большой полуоси, согласно третьему закону Кеплера ($a^3/T^2 = 1$, если a выразим в АЕ, а T — в годах) соответствует период обращения порядка 5 млн. лет. Только в такой исполинский промежуток времени наша комета совершит свой полный оборот около Солнца. Афелий (наиболее отдаленная от Солнца точка орбиты, где комета поворачивает свой бег обратно к Солнцу) лежит на расстоянии от Солнца 60 000 АЕ. Это и есть фактическая граница нашей солнечной системы. На самом быстроходном самолете, несущемся безостановочно со скоростью 500 км/час от Земли до Солнца пришлось бы лететь 34 года, а до наших границ — 2 млн. лет. Даже свету, пробегающему каждую секунду 300 000 км нужен целый год, чтобы достичь этих отдаленных пространств.

Если с этих пограничных межей нашей системы посмотреть на Солнце, то уже с полным правом можно назвать его звездой. Во-первых, угловой поперечник Солнца отсюда незаметен даже в сильные трубы — он будет порядка $0'',03$. Звезд с таким видимым поперечником мы знаем много, например Альдебаран, главная звезда в созвездии Тельца, имеет поперечник, равный $0'',034$. Во-вторых, яркость Солнца с его пограничных межей равна звезде — $2^{\text{мг}},8$. Правда это все еще самая яркая звезда на небе, но ведь с нашей Земли Венера, в эпохи ее наибольшего блеска, в 3 раза ярче, а Юпитер примерно такой же яркости.

Представим себе Землю на границе нашей системы; пусть она попрежнему вращается вокруг своей оси раз в сутки. Мы будем наблюдать как восходят и заходят знакомые нам созвездия, как восходит и заходит Солнце, но его освещение на таком громадном расстоянии ничтожно (три миллионов метр-свечи) — мы его просто не заметим. Поэтому можно сказать, что на границах солнечной системы уже нет смены дня и ночи — там светят только звезды.

2. Сфера действия Солнца

Где же граница тяготеющей силы Солнца? Если сферой его действия считать пространство, в любой точке которого солнечное тяготение превышает силы тяготения близлежащих звезд, то можно определить размер такой сферы.

Из ближайших к Солнцу звезд наибольшим силовым полем обладает система α Центавра (двойная звезда), масса

которой вдвое больше массы Солнца, а расстояние от Солнца 272 000 АЕ или 1,32 парсека¹).

Сфера действия Солнца — это исполинский шар, радиус которого равен 386 000 АЕ. Солнце не находится в его центре, а смещено по направлению к α Центавра на 272 000 АЕ (рис. 34). Следовательно, от ближайшей к Солнцу поверхности сферы действия 114 000 АЕ, а от противоположной, наиболее отдаленной, 658 000 АЕ. Поверхность этого исполинского шара и есть истинная граница нашей солнечной системы. Некоторые кометы отходят от Солнца на 60 000 АЕ, а это только половина расстояния до границ солнечной системы. Все планеты движутся около самого Солнца (Нептун на расстоянии 30 АЕ), и только кометы отходят от него в 2000 раз дальше (60 000 АЕ).

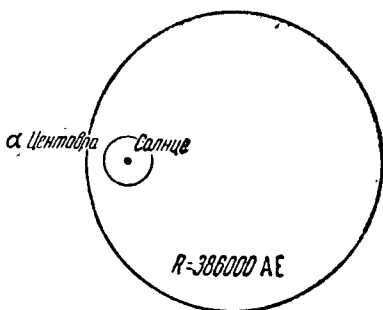


Рис. 34. Сфера действия Солнца (большой шар). Все кометы движутся внутри малого шара с центром в Солнце; радиус этого шара 60000 АЕ.

3. Происхождение комет

Орбиты всех планет расположены в плоскостях, чрезвычайно близких к плоскости эклиптики (плоскости, в которой движется Земля около Солнца); при этом все они, обращаясь вокруг Солнца, движутся в одну и ту же сторону, что указывает на общность их происхождения. Но кометы пронизывают солнечную систему по всем направлениям, образуя перепутанный клубок орбит, огибающих Солнце; плоскости их движений имеют всевозможные углы наклонов от 0° до 180°. Эта особенность кометных орбит привела Лапласа к мысли, что кометы приходят к нам отовсюду из межзвездных пространств; этим можно объяснить наблюдающееся разнообразие величин углов наклонов. Даже в настоящее время гипотезу о межзвездном происхождении комет можно считать самой распространенной, несмотря на то, что фактический материал, которым мы располагаем, говорит о совершенно противоположном. Исследования первичных орбит показывают, что сейчас ни про одну комету нельзя

¹) 1 парсек («параллакс-секунда») — расстояние от Солнца, на котором радиус земной орбиты виден под углом в 1". 1 парсек = 206 265 АЕ = 3,084 · 10¹³ км.

утверждать, что она, приближаясь к солнечной системе, пересекала сферу действия Солнца. Все первичные орбиты, по видимому, заключены в сфере около Солнца, радиус которой порядка 50 000 АЕ. Все первичные орбиты следует рассматривать как эллипсы, а происхождение комет нужно искать внутри нашей солнечной системы.

Совсем другую группу тел образуют собой метеориты и космические метеоры. Метеориты — это куски никелистого железа или куски каменных пород, иногда налетающие на Землю и падающие на ее поверхность; сотни образцов метеоритов собраны в Геологическом институте Академии наук СССР. Метеоры, или, как их неправильно называют, «падающие звезды», вспыхивающие на темном небе в виде светлой быстро тухнущей полоски, — это крохотные пылинки, налетающие на Землю и превращающиеся в раскаленный газ от сопротивления, которое они испытывают при движении в нашей атмосфере. В большинстве случаев метеориты движутся по резко гиперболическим орбитам, эксцентриситеты которых значительно больше единицы; простой подсчет показывает, что метеориты пересекают сферу действия Солнца с громадными скоростями порядка 50 км/сек. Нет никакого сомнения в том, что большинство метеоритов прилетает к нам из межзвездных пространств.

В 1801 г. Пиацци открыл маленькую планету (астероид), названную им Церерой; ее среднее расстояние от Солнца оказалось равным 2,77 АЕ. Через год Ольберс открыл второй астероид, названный Палладой, со средним расстоянием тоже 2,77 АЕ. Поперечники этих двух астероидов в десятки раз меньше поперечника Земли (Церера имеет поперечник 768 км, Паллада 380 км; это самые крупные из астероидов). Ольберс тогда же высказал предположение, что астероиды произошли от одной планеты, почему-то распавшейся на отдельные части. Ольберс считал, что все орбиты осколков (астероидов) должны пересекаться в общей точке, в месте катастрофы, и что если следить в астрономические трубы за этим районом неба, то можно открыть все астероиды один за другим. Но орбиты вновь открываемых астероидов (их известно теперь свыше 1500¹) не имели тенденции пересекаться, и мысли Ольберса были забыты.

В 1918 г. в ряде работ Хираяма, исследуя распределение орбит астероидов, снова возвратился к мыслям Ольберса. Если какой-нибудь более крупный астероид почему-либо

¹ Но общее число их с поперечником от нескольких сотен км до нескольких десятков км должно быть громадным — порядка нескольких десятков тысяч.

распался на части и начальные скорости распада были не велики, то, принимая во внимание возмущения их движений, производимые Юпитером, можно теоретическим путем показать, что центры орбит (точка пересечения главных осей) этих осколков расположатся в пространстве по окружности¹⁾. Кроме того, полюсы орбит²⁾ всех этих осколков должны лежать на малом круге, центр которого тоже определяется независимо. По этим признакам Хираяма выделил пять больших семейств астероидов, центры орбит каждого семейства очень хорошо располагались по кругам (если отбросить немногочисленные семейства, выделение которых было совершено с меньшей уверенностью). Эти семейства включили в себя 133 астероида, или 14% всего их числа. Конечно, происхождение всех имеющихся астероидов этими пятью семействами объяснить нельзя, но много шансов за то, что именно эти семейства произошли от дробления каких-то более крупных тел.

Причина распада крупных астероидов на более мелкие оставалась неизвестной.

Если в ясную безлунную ночь в течение нескольких минут всматриваться в какую-либо область небесного свода, то непременно заметишь внезапно вспыхнувшую, иногда яркую полосу. Это сгорел, влетев в нашу атмосферу, крохотный метеорит; массы подобных метеоритов ничтожны: от 0,1 до одной миллионной грамма. Можно подсчитать, сколько таких частиц падает в сутки на Землю и какова их общая масса. Оказалось, метеоров очень много; в сутки на Землю приходится 10^{12} падений подобных пылинок (1 с двенадцатью нулями; не всякий сумеет прочесть это число), а общая их масса — порядка 10 тонн.

Сравнительно редко налетает на Землю более крупный метеорит; он не успеет сгореть полностью в атмосфере и упадет на Землю. Таких метеоритов, каждый год по нескольку, наблюдают и находят в СССР.

Метеорит при своем стремительном движении в нашей атмосфере гонит перед собой попадающиеся на его пути молекулы, образуя своеобразную подушку из сильно сжатого воздуха, летящую впереди его головной части. Резкое сжатие газа всегда вызывает сильное увеличение температуры подушки, метеорит окаливается (все падение через атмосферу занимает несколько секунд), покрываясь снаружи оплавленной коркой. Если метеорит каменистого строения,

¹⁾ Центр ее должен лежать в определенной точке прямой, соединяющей Солнце с центром орбиты Юпитера.

²⁾ Полюсом называется точка пересечения с небесной сферой перпендикуляра к плоскости орбиты, восстановленного из Солнца.

то более легкоплавкие породы на его поверхности расплавятся скорее, и этот процесс пройдет глубже, образуя углубления, похожие на следы пальцев в мягкой глине (регмаглипты). Скорость метеорита быстро уменьшается: его энергия движения ($mv^2/2$) переходит в теплоту. Скорость может сделаться и меньше 330 м/сек (скорость звука в воздухе, скорость распространения в нем упругих колебаний). Подушка, до сих пор летевшая вместе с метеором, теперь начинает обгонять его, образуя упругую звуковую волну, и тот, кто случайно будет находиться недалеко от места падения, услышит несколько могучих взрывов, похожих на орудийные выстрелы. Если метеорит падает ночью, то мы увидим иногда нестерпимо яркий шар, быстро летящий по небу; за ним стелется длинный огненный след, свечение которого продолжается иногда значительное время после пролета метеорита. Скорость падения на Землю обычно ничтожна; почти всю свою энергию метеорит теряет при движении в нашей атмосфере. Поэтому громадное большинство метеоритов находят на земной поверхности: их скорость падения так мала, что они уже не могут углубиться в землю. Почти весь свет, посылаемый нам метеоритом при его полете, объясняется свечением раскаленных газов, в которые обращаются при окаливании наружные слои самого метеорита (в спектрах метеоров сверкают линии железа, кальция, магния, марганца, хрома и др.).

Раз в несколько столетий падают на Землю метеориты с громадными массами порядка 1000 т и больше. Скорости их встречи с Землей громадны и могут достигать 80 и больше км/сек. Поскольку метеорит большой, то атмосфера не успевает затормозить его чудовищной скорости. Но все ограничивается только местной катастрофой, охватывающей район нескольких десятков км, как это было, например, в Сибири в 1908 г. (см. стр. 137 и 138).

Другое дело, если большой метеорит столкнется с астероидом. Эти крохотные планетки лишены атмосфер, и скорость встречи ничем ослаблена не будет. Пусть наш астероид движется по круговой орбите на расстоянии 4 АЕ от Солнца; тогда догоняющий метеорит упадет на него со скоростью порядка 30 км/сек, а встречный — 60 км/сек. Если астероид не велик (порядка Эроса) и имеет поперечник около 10 км, а метеорит обладает размерами и массой порядка Аризонского метеорита (масса несколько сотен тысяч тонн и поперечник 50 м), то даже при догоняющем ударе мощностю взрыва можно приравнять взрыву миллиона тонн нитроглицерина. Можно думать, что астероид не уцелеет, осколки разных размеров с разными скоростями полетят во все стороны от места

катастрофы. Те из них, которые получают гиперболические скорости, умчатся от нас в межзвездные пространства и не вернутся назад; часть осколков, получившая эллиптические скорости, может приблизиться к Солнцу. Мы уже знаем, что выделение газов из кометных ядер особенно бурно происходит на небольших расстояниях от Солнца; астероид, все время двигавшийся на расстоянии 4 АЕ от Солнца, не успеет еще растерять свои газовые запасы и, получив скорость после взрыва по направлению к Солнцу, с приближением к нему от прогрева лучами Солнца сейчас же начнет выделять заключенные в нем газы, разовьет оболочку, раскинет исполинский газовый хвост, и, проносясь вблизи Земли, будет зарегистрирован как новая комета. Меньшие осколки не смогут развить газовых оболочек и хвостов достаточно ярких, чтобы быть замеченными в наши трубы и останутся скромными метеоритами. Так как жизнь комет коротка и запасы газов быстро уменьшаются при каждом прохождении кометы около Солнца, то наиболее долговечными окажутся кометы с громадными периодами обращений, движущиеся по очень растянутым эллипсам, эксцентриситеты которых близки к единице. Таких комет должно быть большинство, и на самом деле из 467 известных комет больше 300 удовлетворяют этому условию. Анализ скоростей, полученных осколками при взрыве, показывает, что среди «параболических» комет должно быть с прямыми движениями столько же, сколько и с обратными, и чем меньше периоды обращений, тем большее преобладание должны получать прямые движения и малые углы наклонов. Все это и есть на самом деле.

Если метеорит, упавший на астероид, не так велик, и осколки получат небольшие добавочные скорости, то из этих осколков может образоваться новая группа астероидов, подобная тем, которые были выделены Хирямой.

В дальнейшем само ядро кометы может снова встретиться с достаточно крупным метеоритом, следствием чего может быть деление ядра и образование из его осколков новых комет, что уже несколько раз происходило на глазах астрономов.

4. Семейства комет

Солнце со всех сторон окутано кометными орбитами. Если бы можно было врисовать в пространство эти орбиты, мы увидели бы сложную, переплетенную сетку нитей, сгущающихся к Солнцу, концы которых расходятся от него по всем возможным направлениям. Исследование расположения кометных орбит, произведенное в Москве, обнаружило ин-

тересные их особенности. Оказалось возможным выделить несколько групп комет, орбиты которых пересекаются в общей точке.

Остановлюсь на одной (первой) группе. В нее вошли 5 комет, имеющие ничтожные перигелийные расстояния: огибая Солнце, они пронеслись через его атмосферу, видимую с Земли только в моменты полных солнечных затмений (солнечная корона). Когда Луна в своем движении около Земли очутится как раз между нами и Солнцем, острие ее длинной конической тени может коснуться земной поверхности; Луна аккуратно закроет собою диск Солнца; среди белого дня вдруг потемнеет небо, зажгутся звезды и вспыхнет около Солнца его корона — своеобразная атмосфера, имеющая вид длинных серебристых лучей, расходящихся во все стороны.

Привожу в табл. 20 элементы орбит комет этой первой группы. Общая точка пересечения всех орбит находится около самого Солнца всего на расстоянии полумиллиона км от его поверхности.

Таблица 20. Кометы, принадлежащие к I группе

Комета	H_0	ω	Ω	i	q
1680 I	4,0	59°38'	275°13'	60°41'	0,0062
1843 I	6,4	82°38'	2° 8'	144°20'	0,0059
1880 I	8,7	86°14'	6°23'	144°39'	0,0055
1882 II	0,8	69°35'	346°16'	142° 0'	0,0077
1887 I	—	58°21'	324°49'	128°28'	0,0097

Как объяснить возникновение подобных групп? Повидимому, в ядре кометы произошел взрыв, в результате которого ее ядро распалось на несколько частей. Скорости, полученные каждым осколком от взрыва, разбрасывают их во все стороны; каждый осколок полетит уже по своей новой орбите, но все эти орбиты должны пересекаться в месте их породившего взрыва. В первую группу входит большая комета 1882 II. Яркость ее была так велика, что ее видели днем рядом с Солнцем, стоило только защитить чем-нибудь глаза от слепящего солнечного света. Орбита кометы была эллиптической с периодом обращения порядка 800 лет. Повидимому, при прежних своих прохождении через перигелий ядро ее дважды распалось на части, причем осколки ядра сделались самостоятельными кометами. Это тем более вероятно, что при последнем прохождении кометы через перигелий в 1882 г. ядро ее снова распалось на четыре части (a , b , c , d) (вкладной лист IV, d). Крейц (Германия) тщательно исследовал орбиты всех этих

четырёх осколков. Их новые орбиты оказались эллиптическими с временами обращений от 960 до 660 лет. Через несколько сотен лет эти осколки ядра кометы-родоначальницы могут снова приблизиться к Солнцу, но уже в разное время и как самостоятельные кометы. Крейц, анализируя их орбиты, пришел к заключению, что причиной деления кометного ядра не могло быть ни приливное действие Солнца, ни сопротивление солнечной атмосферы, через которую со скоростью 450 км/сек проносилась наша комета, а произошло «что-то в виде взрыва», как писал Крейц, разбросавшего осколки ядра во все стороны. Проще всего эти взрывы объяснять случайными столкновениями кометных ядер с носящимися в пространстве метеоритами.

Дальнейшие исследования показали, что через общую точку пересечения орбит наших пяти комет проходят по крайней мере еще четыре орбиты метеорных потоков. Взрыв, расколовший ядро кометы, как и следовало ожидать, выделил целые тучи крохотных осколков и пылинок, образовавших собою метеорные потоки. Орбиты нескольких из них случайно пересекались с орбитой Земли. Всякий раз, когда Земля проносится через эти общие точки, в ее атмосферу врезаются с громадными скоростями крохотные пылинки, быстро сгорая и чертя по ночному небу быстро тухнущие яркие полосы.

Кроме этих двух семейств можно указать еще несколько других. Орбиты комет 1457, 1873 VII и 1818 I пересекаются на расстоянии 0,7678 АЕ от Солнца. Орбиты комет 1842 II и 1850 II имеют общую точку пересечения на расстоянии от Солнца 2,104 АЕ. Три периодические кометы — Барнарда (1892 V), Файе (1903) и Вольфа (1905) — тоже имеют орбиты, пересекающиеся на расстоянии 5,529 АЕ. Если остановиться на предположении, что взрывы в кометных ядрах были причиной образования подобных семейств, то силы этих взрывов для разных семейств резко отличаются друг от друга. Например, взрыв, разделивший на глазах астрономов ядро кометы 1882 II, был слабой мощности — осколки получили скорости порядка только 1 м/сек, а взрывы в ядре той же кометы, породившие первые две группы, разбросали осколки со скоростями от 30 до 756 км/сек.

5. Деление и распад комет

С 1846 г. наблюдалось четыре случая делений кометных ядер, давших новые кометы. Орбиты этих новых комет были близки к орбитам делившихся комет; следовательно, взры-

вы, если им приписывать эти деления, были сравнительно слабы.

Короткопериодическая комета Биелы 1846 II распалась на две. Деление ядра началось около половины декабря 1845 г., задолго до прохождения его через перигелий ($T_{\pi} = 10,993$ февраля 1846). Уже 29 декабря вместо одной были видны две кометы с оболочками и хвостами. 3 марта расстояние между кометами достигло 256 000 км. В 1852 г. эти кометы снова приблизились к Солнцу; расстояние между ними возросло уже до 2 000 000 км. Несмотря на тщательные поиски во время следующих прохождений через перигелий этих комет, обнаружить их не удалось — кометы пропали. Орбита кометы проходила очень близко от орбиты Земли. Астроном Ольберс, по случаю ожидавшегося возвращения этой периодической кометы в 1832 г., сообщил, что она пройдет так близко от земной орбиты, что заденет ее своей оболочкой (по Ольберсу расстояние кометы от земной орбиты должно было быть только около 30 000 км). Появились сенсационные заметки, что неизбежно катастрофическое столкновение Земли с кометой и конец света: началась паника. Статья Литтрова (директор обсерватории в Вене) рассеяла возникшее замешательство: Литтров заявил, что комета действительно пройдет почти около самой орбиты Земли, но сама-то Земля будет в это мгновение далеко от места встречи (95 млн. км), и ни о каком столкновении не может быть и речи.

В 1937 году Босле и Рур опубликовали интересную работу о комете Биелы. Оказалось, что ее орбита близко подходит к орбите знаменитого в истории астрономии метеорного потока Леонид. Комета 6 января 1846 года в своем движении около Солнца должна была пересекать этот исполинский поток; а это как раз эпоха деления кометы, происшедшего на глазах астрономов. Столкновение кометы с отдельными метеоритами этого потока и вызвало ее деление.

Но история кометы Биелы еще не закончена. Земля проходит через точку своей орбиты, где она почти пересекается кометой Биелы, осенью в конце ноября. 27 ноября 1872 г. наблюдался удивительный звездный дождь. Яркие звезды сыпались из созвездия Андромеды в таком количестве, что невольно привлекали к себе всеобщее внимание. Если продолжать видимые пути этих ярких точек, вспыхивающих беспрестанно на ночном небе, то все они пересекались в одной области неба, в созвездии Андромеды. Представьте себе крохотную пылинку, весом в несколько сотых долей грамма, врезающуюся с громадной скоростью в нашу земную атмосферу. Как ни разрежена атмосфера высоко над поверх-

ностью Земли, но при больших скоростях она оказывает сильное сопротивление движению; энергия движения переходит в теплоту, частица раскаляется, обращается в раскаленный газ (пары железа) и тухнет, прочертив на небе яркую полоску. То, что все эти видимые пути частиц выходят как бы из одной точки неба, говорит о том, что все они движутся параллельными потоками. (Если стать на железнодорожном пути и посмотреть вдоль него, то видимые расстояния между рельсами покажутся уменьшающимися по мере того, как мы будем смотреть на более удаленные точки железнодорожного полотна; как будто бы, где-то очень далеко, рельсы пересекаются. На самом деле рельсы строго параллельны.)

Вычисленные орбиты этих падающих звезд, или, как принято называть, — метеорного потока, обнаружили, что они совпадают с уже известной орбитой исчезнувшей кометы Биелы. Начавшийся на глазах астрономов процесс деления ядра кометы продолжался; в конце концов ядро кометы распалось на мельчайшие частицы, которые продолжали двигаться по орбитам, близким к орбите кометы, их породившей. Комета исчезла, вместо нее осенью мы каждый год можем наблюдать метеорный поток Биелид, хотя не такой интенсивный, как в 1872 г. Таких потоков, связанных с уже известными кометами, имеется несколько. Все кометы медленно распадаются и образуют собой метеорные потоки.

Упомяну еще о нескольких случаях деления комет. Комета 1860 I по наблюдениям Лиэ (Бразилия) распалась на две в феврале; в эту же эпоху она проходила через перигелий ($T_{\pi} = 16,625$ февраля 1860 г.). Обе кометы имели оболочки и хвосты.

Ядро кометы 1889 V за два месяца до прохождения через перигелий распалось на четыре части. Два наиболее яркие из осколков развили оболочки и хвосты. В 1896 г. эта группа комет снова должна была проходить через перигелий, но ее спутники за это время уже исчезли. Гульд и Боне наблюдали деление ядра кометы 1881 II. Образовавшаяся вторая комета развила хвост, но была видима только несколько дней, после чего исчезла.

Следовательно, случаи деления комет не так редки; имеющиеся кометные семейства проще всего объяснить именно делением прежних комет.

На землю в сутки падает около 10^7 метеоритного вещества, 10^{12} частиц ежедневно врезаются в нашу атмосферу и сгорают в ней; только в редких случаях более крупные метеориты долетают до поверхности Земли и попадают в наши

коллекции. Если принять диаметр ядра средней кометы равным 2 км, то на расстоянии Земли от Солнца в кометное ядро за сутки будет врезываться 30 000 частиц, в среднем ничтожных по размерам; атмосфера кометного ядра слишком разрежена, сопротивление движению в ней поэтому ничтожно, и частицы будут попадать на ядро со скоростями порядка нескольких десятков км/сек. Мы уже знаем, что при таких скоростях встречи частицы должны взрываться и дробить поверхностные слои кометных ядер. От этих беспрестанных взрывов ядро постепенно уменьшается, выделяя осколки и пылинки. Процесс идет неуклонно в одну сторону, и ядра комет, медленно разрушаясь, порождают собою метеорные потоки.

ГЛАВА VIII

ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ КОМЕТЫ

1. Большая южная комета 1901 г.

Одной из самых удивительных комет была большая комета 1901г. В лучах утренней зари 12 апреля заметил ее, как яркую звезду с хвостом, любитель астрономии Вискара в Уругвае (Ю. Америка). Повидимому, многие ее видели раньше, но установить кто ее открыл первым не удалось. В таких случаях комету называют либо «январской», если она была замечена в январе, либо «сентябрьской» (1882 II), и эту комету называли «Большой южной кометой», так как в эпоху своего наибольшего блеска она проецировалась на южном небе и была хорошо видна в Австралии, Африке и Ю. Америке.

24 апреля на Капской обсерватории (Ю. Африка) астроном Иннес решил найти и наблюдать комету перед рассветом. Сначала поиски были безуспешны; в половине восьмого небо быстро стало светлеть; кометы все не было. Оглядывая небо в последний раз, Иннес неожиданно заметил два исполинские снопа светящейся материи, подымавшихся над темным профилем горного массива, — это были хвосты кометы. Через несколько минут из-за горизонта показалась голова кометы, тускло светящаяся красноватым светом. Комета вся выплыла на звездный простор, главный хвост имел в длину около 10° ; ярко сверкало ядро.

Систематические наблюдения кометы продолжались до середины июня. По формуле

$$H = 7,0 + 15 \lg r + 5 \lg \Delta$$

можно вычислить видимую яркость H головы кометы в звездных величинах, если для данного момента известны r — расстояние кометы от Солнца и Δ — расстояние от Земли (все в АЕ). Благодаря небольшому перигелийному расстоянию ее яркость в эпоху прохождения через π была большой — порядка $-2^m,5$; поэтому-то она и была замечена многими, и даже не астрономами, на фоне утренней зари, как необычная яркая хвостатая звезда.

Здесь приведен рисунок Лэнта (рис. 35) (Капская Обсерватория), как одно из лучших изображений кометы. На рисунке она проецируется в одном из самых красивейших созвездий — Орионе. Главный хвост доходит до звезды δ Leporis (Зайца); головы с комой или оболочками нет: хвост начинается прямо от ядра, ярко сверкавшего как звезда. На небо спроецированы две синдинами (стр. 53), отталкивательные ускорения которых $1+\mu=1,0$ и $0,5$. Все 4 хвоста — синхроны, начинающиеся непосредственно от ядра: первая, крайняя правая, далеко входит в область хвостов II типа (стр. 55).

Яркость кометы была так велика, что ее видели некоторое время даже после восхода Солнца (на фоне уже дневного неба). К концу апреля комета сблизилась с Солнцем и исчезла в его лучах. В начале мая комета вновь появилась уже на вечернем небе и ее до середины июня наблюдали в Южной Америке, Африке и Австралии. Только с середины мая комета сделалась видимой в северном полушарии, но низко над горизонтом, светящейся, как звездочка 8^m и без хвоста. В начале мая комета имела очень яркий хвост около 6° длиной и три более слабых. Все хвосты казались прямыми и раскидывались причудливым веером. Исследования Н. Д. Моисеева (Москва) показали, что комета имела несколько синхрон III типа (пылевые хвосты). Хвост этой кометы начинался прямо от ядра (см. «Типы хвостов комет»), никакой туманной оболочки около ядра не было — комета походила на исполинскую сигару, в острие которой сверкало яркое голое ядро диаметром порядка $2''-3''$. Гилл наблюдал¹⁾

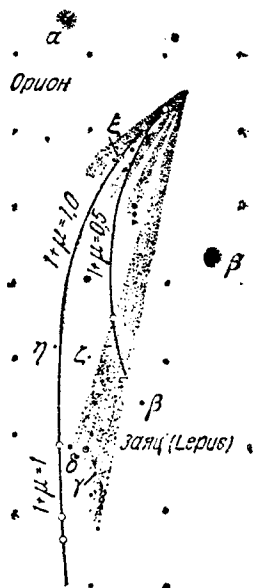


Рис. 35. Хвост кометы 1901 I.

¹⁾ М. N., 61, 508, 1901.

спектр этой кометы; несмотря на чрезвычайную близость кометы к Солнцу ($q = 0,244$), спектр ее оказался непрерывным, без всяких следов каких-либо газовых излучений.

Отсутствие головы (туманной оболочки вокруг ядра) и газовых радиаций в ее спектре составляет исключительную особенность этой удивительной кометы; это тем более удивительно, что в эпоху наблюдений она была очень близка к Солнцу.

Согласно новой теории головы кометы (см. стр. 90) оболочки должны непременно состоять из газовых молекул; раз спектр кометы был непрерывным и газовых радиаций, а, следовательно, и газовых молекул, в достаточном количестве не было, то не могла получить должного развития и сама голова кометы. Повидимому, наша комета уже много раз пролетала около Солнца и давно растратила свои запасы газа на яркие оболочки и пышные хвосты во время своих прежних прохождений через перигелий.

Орбита кометы была эллиптической с эксцентриситетом 0,99970.

2. Комета 1892 III

Комета была открыта 6 ноября в Лондоне Холмсом (Holmes) неподалеку от известной туманности Андромеды и была близка к ней по яркости (см. вкл. лист V). Хвоста не было видно: округлая туманная масса, представлявшая собою комету, имела поперечник около $5'$. С момента открытия, когда она была видна невооруженным глазом ($4-5^m$), ее яркость быстро падала, а поперечник увеличивался. 5 декабря поперечник был около $42'$, что при расстоянии кометы от Земли, равном 1,789 АЕ, соответствовало 3,3 млн. км (в 2,35 раза больше солнечного поперечника). К концу ноября яркость кометы упала до $9-10^m$ и ее можно было наблюдать только в астрономические трубы. В январе вновь произошла неожиданная вспышка яркости и комета сделалась видимой для невооруженного глаза. В момент вспышки, 16 января, поперечник был ничтожным — около $29''$, но через 4^h он уже достиг $47''$. Повторилось то же, что и в ноябре — поперечник быстро увеличивался, а яркость кометы падала.

Барнард (обсерватория Лика, С. Америка) пишет, что та область неба, где должна была двигаться комета, в течение пяти месяцев до своего открытия много раз тщательно просматривалась ловцами комет. Если она не была открыта раньше, то ее яркость должна была бы быть по крайней мере в 10 раз меньше, чем в ноябре (момент открытия). Около 6 ноября с кометой произошла какая-то

катастрофа, вследствие которой ее яркость возросла повидимому до $4^{\text{m}g}$ и она была открыта Холмсом.

Барнард¹⁾, наблюдавший комету в 12" и 36" рефракторы Ликской обсерватории записал 8 ноября следующее: «Комета совершенно не похожа на все те, которые мне приходилось наблюдать: она имеет форму правильного диска, почти как планета, с еле заметным ядром, поперечник которого около 5"».

В эпоху первой вспышки Кэмпбелл (Campbell) и Фогель²⁾ (Vogel) наблюдали спектр кометы. Спектр оказался непрерывным, без ярких полос или линий. Объект был слабый и спектр наблюдали с широкой щелью, что не позволило различить в отраженных от кометы лучах Солнца фраунгоферовых линий. Комета отстояла от Солнца в эпоху спектральных наблюдений на 2,5 АЕ. На снимке 10 ноября Барнард наметил очень слабый хвост длиной до $0^{\circ},5$. Поперечник головы был около 6'.

Орбита кометы оказалась совершенно необычной, более схожей с орбитами астероидов (малых планет), чем с кометными орбитами:

$$i \text{ (угол наклоения)} = 20^{\circ}48',$$

$$a \text{ (большая полуось)} = 3,615,$$

$$e \text{ (эксцентриситет)} = 0,4113,$$

$$q \text{ (перигелийное расстояние)} = 2,128.$$

Комета прошла через свой перигелий задолго до ее открытия (13 июня).

Странный вид кометы без заметного хвоста, ее планетообразный диск — все это заставляло думать, что это не комета в собственном смысле этого слова. Корриган и Кирквуд³⁾ высказали даже предположение, что, повидимому, произошло столкновение каких-то двух астероидов, в результате чего и образовался этот странный кометообразный объект.

Лучший ряд измерений поперечников кометы был сделан Барнардом. Эти измерения были обработаны в Москве. Когда линейные величины поперечников головы кометы были нанесены на клетчатую бумагу (по оси ординат отложена величина поперечников в тысячах км, по оси абсцисс — время, рис. 36,а), стало ясно, что 4—7 ноября (ср. гр. вр.) произошел взрыв в ядре кометы, в результате которого было выброшено два облака, расширявшиеся равномерно во все стороны, но с разными скоростями. Эти облака образовали

¹⁾ *Ap. J.*, 3, 41, 1899.

²⁾ *A. N.*, 131, 212 и 373, 1893.

³⁾ *Ap. J.*, 3, 42, 1899.

собою два галоса, концентрические с ядром. Скорости их расширения оказались 0,95 и 0,42 км/сек. По мере того, как галосы расширялись, сливаясь с фоном неба, общее количество отраженных лучей от галоса уменьшалось и яркость падала.

Совершенно то же явление произошло в январе 16, 228 (рис. 36, б); взрыв и здесь выделил два галоса, расширявшиеся со скоростями 2,06 км/сек и 0,38 км/сек. Какова причина подобных взрывов, дробящих каменистые глыбы ядра и выкидывающих тучи пыли?

Самое простое объяснение — это встреча кометного ядра с метеоритами. При скорости встречи порядка нескольких десятков км/сек в ядре должны произойти мощные взрывы (стр. 138), в результате которых исполинские тучи осколков и пыли, внезапно выброшенные из ядра, засверкали под лучами Солнца, чем и объясняется вспышка яркости. Материя расходится равномерно, во все стороны от ядра образуя исполинские галосы, которые больше чем втрое превышают

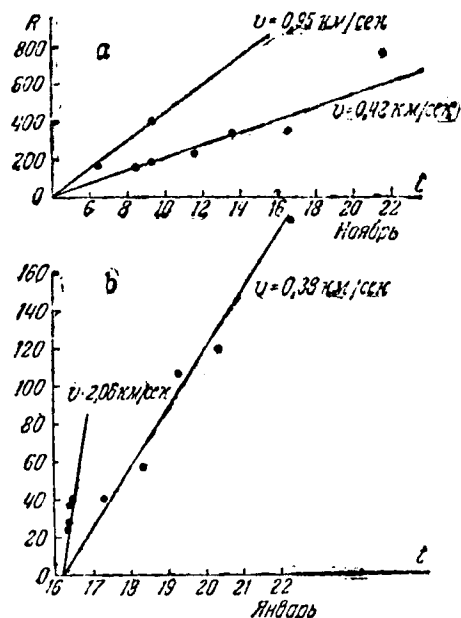


Рис. 36. Ноябрьские и январские галосы кометы 1892 III.

размеры самого Солнца (см. выше). Возможно, что комета Холмса была крохотным астероидом; налетевший метеорит взорвался, врезавшись в каменистую массу крохотной планетки; тучи пыли и осколков вырвались во все стороны, сверкая под лучами Солнца, это и дало необычную картину удивительной кометы 1892 III.

В эпоху следующей оппозиции 1899 г. комету снова нашли, но яркость ее была ничтожной: 14—15^{mg}. Она была видна около месяца (11 авг. — 9 сент.). В 1906 году ее наблюдали вновь; яркость кометы оставалась примерно такой же, 15—16^{mg}. С 1906 г. комету уже не наблюдали. Ее просто потеряли, перестав высчитывать возмущения ее движения планетами.

3. Большая сентябрьская комета 1882 II

3 сентября 1882 г. перед рассветом железнодорожные рабочие в Аргентине (Южная Америка), возвращаясь с ночной смены, обратили внимание на ярко сверкавшую хвостатую звезду. На другой день все стали говорить всюду о сверкающей звезде около Солнца. 6 сентября директор Кордобской обсерватории (Ю. Америка) получил письмо, извещавшее его о новой комете, но плохая погода долго мешала наблюдениям и только с 17 сентября началось ее регулярное исследование.

11 сентября Крульс (Cruis) в Рио-де-Жанейро (Южная Америка), ничего еще не зная об ее открытии, нашел комету самостоятельно и телеграммой сообщил об этом в Европу. Первое время ему и приписывалось ее открытие и несколько дней комета носила его имя (комета Крульса), но когда выяснилось, что многие видели ее неделей раньше, а установить, кто первым ее заметил, не было возможности, то ей присвоили название «Большой сентябрьской кометы». Под этим именем она и вошла в историю астрономии. В каталогах комета значится как 1882 II.

По произведенным наблюдениям уже к началу октября 1882 г. была вычислена орбита, оказавшаяся эллиптической, с эксцентриситетом, близким к единице, и с периодом обращения около 760 лет. Перигелийное расстояние было исключительно малым: $q = 0,00775$ АЕ.

Когда комета проносилась через перигелий, только 450 000 км отделяло ее от огненной, бушующей поверхности Солнца; комета должна была пролететь сквозь атмосферу Солнца, через его внешнюю корону, распространяющуюся иногда на миллионы км от Солнца в виде изогнутых серебристых лучей. Яркость кометы была так велика, что ее видели днем, на фоне яркого неба, рядом с Солнцем, просто невооруженным глазом — стоило только чем-нибудь защитить глаза от слепящих солнечных лучей.

17 сентября, когда комета проходила через перигелий, ее наблюдал Гульд (Gould) в Кордобе. Он видел одновременно в поле зрения трубы и комету, и край Солнца. Перед окуляром пришлось поместить темное защитное стекло, употребляющееся до сего времени для наблюдений Солнца, и через него следить и за кометой, яркость которой была исключительной. Для определения положения кометы среди звезд Гульд решил наблюдать ее при прохождении через меридиан, но, когда время прохождения подошло, комета неожиданно исчезла: в этот момент она была как раз между

Землей и Солнцем, проецируясь на его диск. Гульд даже думал, что комета зашла за Солнце, но на самом деле этого не было. Тщательные поиски кометы на самом диске Солнца не привели ни к чему — комета оказалась совершенно прозрачной и на Солнце нельзя было заметить даже крохотной черной движущейся точки. Теперь нам это уже не кажется странным: твердое ядро кометы имело поперечник не свыше 5 км (см. стр. 93); в это время расстояние от нее до Земли равнялось 1 АЕ — отсюда для углового поперечника твердого ядра получаем $0'',007$. Такой крохотный угол нельзя различить даже в современные гигантские трубы: чтобы быть видимым, угол должен был бы быть раз в 15 больше. Поэтому-то Гульд и не видел тени ядра на Солнце; все же остальное: газы, формирующие голову кометы, ее пылевые хвосты — все это действительно прозрачно — до того там мало вещества. Французский астроном Бабине называл кометы «видимым ничто» — это меткое о них представление. То же явление (исчезновение кометы на диске Солнца) повторилось 5 мая 1910 года при прохождении знаменитой кометы Галлея.

На глазах у Гульда комета за час с четвертью прошла через диск и ее голова вновь вспыхнула яркой звездой рядом с Солнцем уже слева от него.

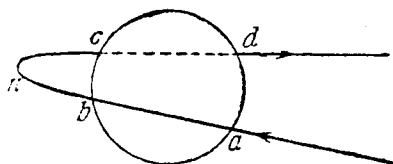


Рис. 37. В $5\frac{1}{2}$ часов комета облетела вокруг Солнца, двигаясь в 500 раз скорее боевой винтовочной пули.

Скорость, с какой она облетала Солнце, была громадной — порядка 480 км/сек, т. е. в 500 раз быстрее винтовочной боевой пули. За $5\frac{1}{2}$ часов комета обогнула кругом Солнце (см. рис. 37), пройдя за это время свыше 6 млн км. и стала быстро

удаляться от Земли и от Солнца.

Яркость кометы. Мы уже говорили о поразительной яркости кометы. По нескольким оценкам, полученным в октябре и январе (1883), можно было определить ее абсолютную яркость H , равную $0^{\text{m}}8,8$, и выяснить, что ее видимая яркость была обратно пропорциональна 3,4 степени радиуса-вектора (r — расстояние кометы от Солнца). Привожу формулу, вычисленную мною:

$$H = 0,82 + 8,39 \lg r + 5 \lg \rho,$$

где ρ — расстояние кометы от Земли в АЕ. В момент прохождения через перигелий $\lg r = 7,889$ или $\lg r = -2,111$, а $\lg \rho = 0,002$; отсюда $H = -16^{\text{m}}9$. Яркость, никогда еще

не виданная астрономами ни у комет, ни у планет, ни у звезд! Напомню, что Луна в полнолуние имеет яркость — $12^{m,55}$; но и она на 4,45 звездной величины слабее кометы, т. е. дает в 60 раз меньше света. Если бы комета одна светила на ночном небе, то при ее освещении можно было бы свободно работать, читать мелкую печать и т. д. Освещение было бы равным 12 метр-свечам (лампа в 12 св. на расстоянии 1 метра).

От звездных величин H можно перейти к освещенности E в метр-свечах по формуле:

$$E \text{ (осв. в м-св)} = 2,13 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5119^{-H}.$$

На рис. 38 вычерчена кривая изменения видимой яркости кометы за сентябрь и октябрь 1880 г. Здесь же приведены яркости Солнца, Луны, Венеры и кометы в эпоху их наиболь-

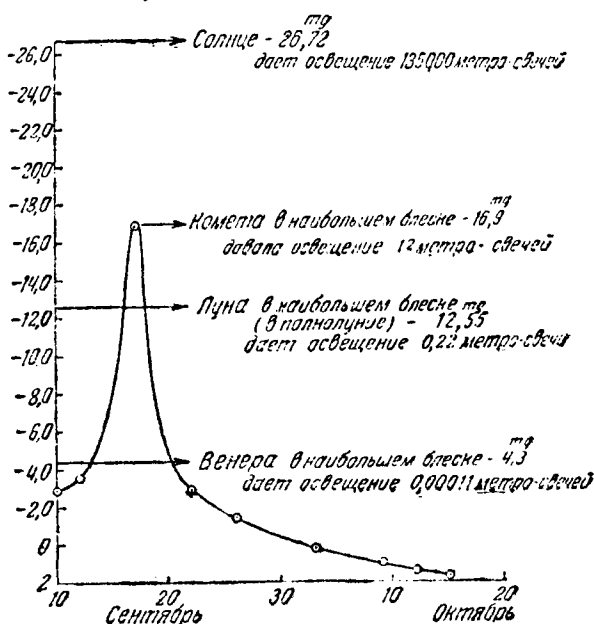


Рис. 38. Кривая видимой яркости кометы 1882 II.

шего блеска. Яркость ее занимает промежуточное место между Солнцем и Луной в полнолуние.

Как только была вычислена орбита Большой сентябрьской кометы, многим бросилось в глаза сходство ее элементов с элементами орбит некоторых других короткопериодических комет. Вот их элементы:

Комета	ω	δ_L	i	$lg q$	u
1843 I	82°38',1	2° 7',6	144°20',5	7,7425	512 лет
1830 I	86°14',6	6°22',6	144°39',3	7,7399	—
1882 II	69°35',3	346°15',6	141°59',8	7,8893	761 год

Тщательное исследование этих орбит было проведено Крейцем (Kreutz). Ему удалось выяснить, что эти кометы никоим образом нельзя рассматривать как последовательные возвращения одной и той же кометы. Далее Крейц¹⁾ показал что орбиты комет 1843 I и 1882 II чрезвычайно близко подходят друг к другу вблизи их перигелия, и можно предположить что когда-то ядро кометы-родоначальницы (Hauptkomet) в перигелии разбилось почему-то на две части, из которых и образовались эти кометы. То же самое он получил для комет 1680 и 1882 II, а также для комет 1680 и 1843 I.

Зависимость между орбитами упомянутых 4 комет, выяснившаяся из работ Крейца, позволила сделать попытку объединить все короткоперигелийные кометы в одну или две группы. После вывода необходимых формул в Москве приступили к вычислениям, и сейчас же было обнаружено, что орбиты комет 1668, 1843 I, 1880 I и 1882 II чрезвычайно близко подходят одна к другой около самого их перигелия. Район сближения — порядка ошибки определения положения кометы относительно Солнца, а радиус этого района не превышает 0,001 АЕ. Совершенно то же можно сказать про орбиты 1680, 1882 II и 1887 I. Так как в обеих этих группах участвует Большая сентябрьская комета 1882 II, превышающая по крайней мере в 60 раз по массе все остальные кометы, даже вместе взятые, то можно высказать предположение, что именно она и есть комета-родоначальница и что она дважды делилась около перигелия и образовала мощную группу короткоперигелийных комет в нашей солнечной системе.

Чрезвычайно интересно, что и при своем последнем прохождении около Солнца (1882) ядро нашей кометы вновь распалось на несколько частей. Какова же причина этих взрывов, вызывающих деление кометных ядер?

Напомню об интересной комете — комете Биелы. В 1846 г. она на глазах астрономов разделилась на две самостоятельные кометы. Конечно, момент деления наблюдать было нельзя — ядро кометы стало казаться двойным уже когда компоненты разошлись на сравнительно большое расстояние, но, зная из наблюдений как двигались обе части ядра, можно было утверждать, что деление произошло между концом

¹⁾ *Erg. A.N.*, I, 58, 1900.

декабря и 13 января. Босле и Рур¹⁾ (Bosler et Roure) недавно установили, что 6 января 1846 г. комета Биелы влетела в одно из скоплений метеорного потока Леонид (ноябрьский поток). Они высказали гипотезу, что деление кометы произошло от столкновения ее ядра с отдельными крупными метеоритами этого потока. Это — наиболее вероятная причина ее деления.

Все это заставляет, вообще, признать причиной деления комет взрывы в ядрах, происходящие от столкновения их с метеоритами. Опыты с сверхскоростными пулями дали полное основание считать, что при скорости порядка 4 км/сек свинцовая или вообще металлическая пуля при попадании в какое-либо препятствие полностью и мгновенно обращается в раскаленные пары, что производит мощный взрыв — как будто-бы взорвавшаяся пуля была сплошь из нитроглицерина той же массы. Энергия взрыва растет прямо пропорционально квадрату скорости встречи. Скорость встречи кометы-родоначальницы, породившей нашу группу комет, около самой поверхности Солнца могла быть порядка нескольких сотен км/сек. Энергия взрыва здесь, в полном смысле этого слова, чудовищная, а ядру кометы нужно немного энергии, чтобы началось его деление. Напомню, что критическая скорость в нашем ядре только порядка 2 м/сек²⁾.

Хвосты кометы. Сентябрьская комета имела хвосты всех типов. Когда к концу сентября она, быстро двигаясь среди звезд, перешла в южную полусферу неба и стала видимой не днем, а ночью, на темном небе — то уже можно было зарисовать очертания ее хвостов с достаточными для обработки деталями.

Одна из лучших зарисовок хвостов кометы была сделана Гартвигом³⁾ (Hartwig). Здесь приводится рисунок, сделанный им октября 12, 838 (ср. гр. вр.) в Южной Америке (Аргентина) (рис. 39). Узкий прямой хвост, сравнительно яркий на правой стороне кометы — несомненно хвост I типа по Бредихину. Около самого конца хвоста было видно довольно яркое облачное образование; за движением его среди звезд особенно тщательно следил и зарисовал его положения среди звезд проф. Шмидт в Афинах. Эти рисунки дали возможность определить ускорение отталкивательной силы Солнца, действующей на это облако. Ускорение оказалось в 20 раз

¹⁾ *J. Ob.*, 20, 105, 1937.

²⁾ Иными словами, стоит какой-либо части ядра придать скорость порядка 2 м/сек, то она уйдет от него прочь; ядро уже не сможет своим приближением удержать эту часть у себя (напоминаю, что скорость камня, брошенного сильной рукой, около 18 м/сек).

³⁾ *A. N.*, 106, 225, 1883.

больше солнечного ньютоновского ускорения, что характерно именно для хвостов I типа. Земля была близко к плоскости кометной орбиты, а так как хвосты, как мы знаем, раскидываются именно в этой плоскости, то они проецировались на небе, отчасти налагаясь друг на друга.

Чтобы иметь возможность разобраться в типах хвостов

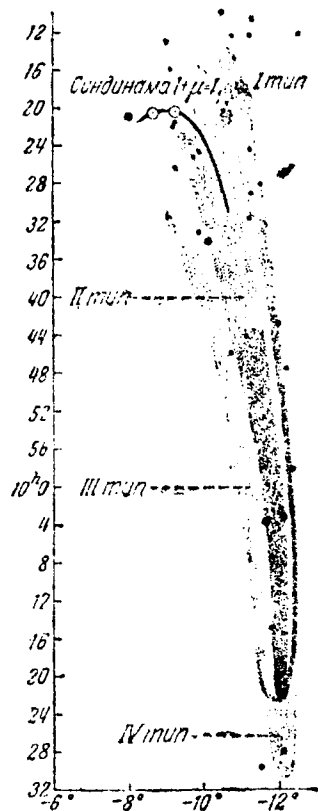


Рис. 39. Хвост кометы 1882 II.

кометы, я вычислил для рисунка Гартвига синдинаму $1+\mu = 1$ (среднюю линию хвоста II типа). На рис. 40 вычерчена теоретическая синдинама: она вышла в виде исполинской дуги, радиуса около 3,3 АЕ. Плоскость чертежа и есть плоскость кометной орбиты; кроме хвоста II типа, показано направление хвоста I типа. S — положение Солнца, T — Земля и K — ядро кометы.

Если мы представим себе, что Земля находится под плоскостью чертежа на расстоянии от нее около

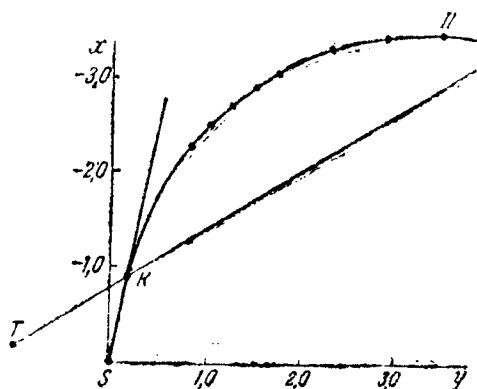


Рис. 40. Относительное расположение Земли, Солнца и кометы 1882 II.

0,8 с.м (0,3 АЕ) и попробуем мысленно посмотреть с Земли на комету и на вычерченные нами синдинамы хвостов I и II типов, то мы увидим то, что изображено на рис. 39. Синдинамы и хвост кометы теперь проецируются среди звезд на небесном своде. Главный хвост кометы по Гартвику оканчивается как раз там, где синдинама хвоста II типа резко загибается и уходит вниз. Конечно это не простое совпадение и главный хвост следует считать хвостом именно II типа.

Наше заключение подтверждается прекрасным рисунком Уилиса¹⁾ (Willis) (вкладной лист IV, 5). Он рисовал комету 9 октября в море, с палубы корабля, в 100 км к востоку от Гибралтара; воздух был исключительно прозрачным и спокойным. Уилис, повидимому, и не подозревал, что им зарисован исполинский загиб хвоста, и что голова кометы проецируется на его отдаленнейших частях.

Странные образования, которые зарисовывали наблюдатели кометы справа и слева от головы вне ее и вне хвоста, представляют собой, повидимому, не что иное, как отдаленнейшие части хвоста кометы.

Так называемый объект Шмидта в виде туманной неправильной формы массы, двигавшейся рядом с кометой, направо от ее головы, и наблюдавшийся в течение трех дней²⁾ — 9, 10 и 11 октября — не был, однако, какой-либо частью ее хвоста — эти массы были выброшены из ядра кометы в результате взрыва при прохождении кометы через перигелий; этот же взрыв расколол ее ядро на части, о чем мы уже говорили. Можно предполагать, что тот же взрыв сопровождался выделением целых облаков мелких частиц и пыли, которые могли двигаться по разным орбитам и, в частности, могли в своем движении пересекать орбиту Земли. В этих случаях частицы, врезаясь с большими скоростями в земную атмосферу, будут вспыхивать и сгорать, обращаясь в раскаленные пары и образуя собою вспыхивающие полосы на ночном небе, называемые падающими звездами или, вернее, *метеорами*. Понски метеорных потоков, связанных со взрывом ядра кометы 1882 II, оказались успешными — найдено всего шесть потоков (см. А. Ж., 12, 6, 1940).

Главный хвост II типа особенно замечателен. Его длина (видимой части) оказалась исполинской и достигала по крайней мере 6 АЕ. Чтобы пролететь по такому хвосту из конца в конец на современном самолете, летящем безостановочно день и ночь со скоростью 600 км/час, нужно затратить 150 лет. Винтовочная боевая пуля, летящая со скоростью 1 км/сек, пронесется вдоль хвоста только в 25 лет. Хвостов такой длины не развивала, на памяти астрономов, еще ни одна комета.

На рисунке Гартвига виден другой широкий и слабо светящийся хвост, кайма которого выступает на левой части кометы: это — полная синхрона хвоста II₀ типа.

На том же рисунке прекрасно виден выступ из головы кометы по направлению к Солнцу — аномальный хвост, как

¹⁾ Chambers, The Story of Comets, Oxford, 1910, p. 168.

²⁾ A. N., 103, 307, 1882.

называл их Бредихин. Этот хвост направлен не от Солнца, как нормальные хвосты кометы, а прямо к Солнцу, и его средняя линия лежит внутри кометной орбиты. Проще всего возникновение их объяснить тоже взрывами в ядре, которые выбросили к Солнцу облако мелких частиц. Наиболее крохотные из них, подхваченные лучевым давлением Солнца, формируют собою хвосты II и III типов; более крупные пылинки, достаточно большие, чтобы на них уже не действовало лучевое давление, с разными скоростями будут отходить от ядра к Солнцу, образуя собой слабо светящиеся придатки к голове кометы. Из этих придатков и образуются, главным образом, будущие метеорные потоки.

Наконец, Шмидт (Афины) в начале октября наблюдал могучие, всегда концентрические с ядром кометы, равномерно расширяющиеся яркие кольца — галосы; из ядра временами выбрасывались целые тучи пылинок и газов, исполинскими непрерывно растущими сферами, отходящие от ядра. Отталкивательные ускорения Солнца не действуют на частицы, их образующие, и поэтому мы с Земли наблюдаем более или менее яркие круги (галосы) с центром в ядре, равномерно расширяющиеся и постепенно сливающиеся с фоном ночного неба.

I_0 тип или лучевые системы, испускающие синие, фиолетовые и ультрафиолетовые радиации, не могли быть обнаружены визуальными наблюдениями.

Можно сказать, что комета обладала хвостами всех типов (доступными визуальным наблюдениям).

Ядро кометы. Яркое ядро кометы, которое по законам Кеплера несло около Солнца и за положением среди звезд которого тщательно следили астрономы, чтобы точнее определить кометную орбиту, к концу сентября стало заметно деформироваться. 27 сентября Барнард обратил внимание на систематическое удлинение ядра по направлению к Солнцу. В октябре ядро казалось резко веретенообразным и в нем можно было заметить несколько отдельных светящихся сгустков вещества — ядро несомненно делилось. На глазах астрономов его части медленно отходили одна от другой все дальше и дальше (см. стр. 128).

Особенно тщательно исследовал их движение Крейц¹⁾ (Kreutz). Результаты, им полученные, чрезвычайно интересны. Его целью было вычислить орбиты всех частей ядра и, анализируя их движение, разгадать причину деления кометы. Орбиты оказались эллиптическими с периодами обраще-

¹⁾ *Astr. Abh.* (A. N.), Bd. 1, 1888.

ний от 600 до 900 лет. Все орбиты пересекались около самого перигелия кометы, в области солнечной атмосферы, ее внешней короны. Поэтому Крейц предположил, что деление ядра могло произойти от сопротивления солнечной атмосферы движению кометы; напомним, что скорость ядра была громадной (480 км/сек), а следовательно велико могло быть и сопротивление. Здесь возмущающие движение ядра ускорения должны были расположиться по касательной к орбите, но наблюдаемое движение осколков явно этому противоречило. Тогда Крейц предположил, что деление произошло от приливного действия Солнца; в этом случае возмущающие движение ядра ускорения должны были быть направлены по радиусу-вектору (прямо к Солнцу и прямо от Солнца). Но и это не получило подтверждения из наблюдений.

В конце концов Крейц остановился на следующей гипотезе, единственной не противоречащей наблюдениям. По Крейцу, в ядре кометы произошло *что-то вроде взрыва*, как он пишет, разбросавшего его осколки во все стороны со скоростями порядка 1 м/сек. Последнее предположение Крейца имеет большое значение во всех вопросах эволюции и происхождения комет.

Крейц для каждого из осколков вычислил орбиту: все они оказались периодическими, с обращениями около Солнца от 600 до 900 лет. Пройдут столетия и осколки ядра сентябрьской кометы один за другим будут снова подходить к Солнцу, а следовательно и к Земле. При приближении какого-нибудь из них к Солнцу, от прогревания его лучами, начнется выделение газов и осколок обзаведется яркой головой с оболочками и хвостом; его зарегистрируют как новую комету, с орбитой чрезвычайно близкой к комете 1882 II. Все осколки один за другим пронесутся в конце концов около Солнца и будут зарегистрированы астрономами, как новая группа короткоперигелийных комет, орбиты которых пересекаются вблизи их перигелиев.

Но что же было причиной деления ядра кометы? Предположим, что ядро состояло из многих каменных (метеоритных) глыб, держащихся друг около друга силами взаимного тяготения. Глыбы описывают некоторые сложные траектории около общего центра тяжести. Критические скорости для нашего ядра очень малы — порядка 1 м/сек (стр. 93). Глыбы, движущихся с критической или большей скоростью, уже не могут удержать силы взаимного тяготения ядра — они вырвутся из него и унесутся в пространство. Немного, следовательно, нужно добавить к кинетической энергии какой-либо из глыб, чтобы уже началось *деление* ядра. Эту добавочную

энергию может дать метеорит, встретившийся с ядром. Врезавшись в одну из глыб, с громадной скоростью, порядка десятков км/сек, метеорит взорвется (при скоростях встречи, больших 4 км/сек, метеорит взрывается, выделяя энергии, словно был взорван нитроглицерин, но массе равный метеориту); толчок взрыва может сообщить глыбам скорости выше критических и деление ядра тем самым осуществилось.

Босле и Рур¹⁾ исследовали знаменитое деление кометы Биела, которое, как известно, произошло между концом декабря 1845 и 13 января 1846 г.; точно момент деления подсчитать было нельзя. Босле и Рур нашли, что 6 января в 2^h 27^m ср. парижского времени комета Биелы налетела на одно из скоплений знаменитого метеорного потока Леонид. Столкновение ядра с отдельными метеоритами потока и было причиной деления ядра кометы.

О спектре кометы мы уже говорили на стр. 85.

Оболочка кометы и размеры ее ядра. Недавно в Москве удалось установить, что головы всех комет однородны по строению, какого-бы типа хвостом комета ни обладала. Все головы формируются исключительно из газов (главным образом углерода и циана); если газов в ядре кометы нет, то нет и головы, т. е. нет оболочек, окаймляющих комету со стороны Солнца, или туманных масс, отовсюду окружающих ядро (комы). Комета 1901 I не имела в своем спектре газовых радиаций — ее спектр был сплошной, несмотря на близость к Солнцу ($q = 0,25$). Раз не было газов — не должно было быть оболочек или туманности, обволакивающих ядро. Действительно, по Иннесу²⁾ исполинские пылевые синхроны этой кометы непосредственно тянулись от яркого ядра, совершенно голого, без всяких оболочек или туманности.

Было установлено также, что в развитых головах комет всегда появляются несколько оболочек (четыре), облегающих одна другую (многоярусные оболочки). Размеры соответствующих оболочек для двух каких-либо комет, всегда пропорциональны друг другу (например, у одной все в два раза больше, чем у другой и т. д.). Измерив размеры только двух оболочек в голове какой-нибудь кометы, можно вычислить величины остальных.

Чем больше масса кометы (а массы комет почти полностью сосредоточены в их ядрах), тем больше оболочки; следовательно, можно по величинам оболочек определить как раз-

¹⁾ Journ. Obs., 20, 105, 1937. Гипотеза о взрывах при встрече ядра с метеоритом, как причине деления ядра после работ Босле и Рура делается еще более вероятной.

²⁾ M. N., 61, 511, 1901.

меры, так и массу ядра той или другой кометы. Так, имеющиеся измерения оболочек кометы 1882 II дали возможность определить поперечник ее твердого ядра, оказавшийся порядка 5 км, и его массу — порядка 10^{-12} массы Земли или $4 \cdot 10^9$ тонн. Масса с нашей земной точки зрения огромная: земляные массы, вынутые при рытье Панамского канала, занимали объем около $1,7 \cdot 10^8$ м³: объем ядра нашей кометы в 350 раз больше. Однако, если сравнить размеры ядра кометы с планетами, то придется признать их чрезвычайно малыми: один из самых крохотных астероидов, Эрос, имеет поперечник около 25 км и, следовательно, его объем в 125 раз больше объема ядра нашей кометы. А среди комет ведь это одна из исполинских по размеру. Невольно вспоминаются слова Бабине, что кометы — видимое ничто (с астрономической, конечно, точки зрения).

Комета 1882 II была самой яркой из всех наблюдавшихся ($-16^{\text{mg}}, 9$). Она имела исполинский хвост — наибольший из когда-либо виденных астрономами, длиной порядка биллиона километров (6 АЕ).

Комета, при ее прохождении около Солнца в 1882 г. замечательна еще тем, что на глазах астрономов ее ядро распалось на пять частей, образовав новую группу короткоперигелийных комет, с периодами обращений от 600 до 900 лет. Нужно думать, что во время ее прошлых прохождений около Солнца (комета периодическая) она тем же путем породила уже две группы короткоперигелийных комет: 1) 1668, 1843 I, 1880 I и 2) 1680, 1887 I. Комета развила могучий аномальный хвост, появившийся, повидимому, как результат взрыва, расколовшего на части ядро кометы. Шесть метеорных потоков уже связано с этой кометой.

В спектре кометы в эпоху ее близости к Солнцу ярко сверкали линии раскаленных газов Na, Fe и Ni, а также были видны мощные полосы спектра углерода (три первые полосы).

ГЛАВА IX

ЖИЗНЬ КОМЕТЫ

1. Столкновение кометы с Землей

Кометы пронизывают солнечную систему по всем направлениям. А что, если одна из них налетит на Землю и уничтожит все на ней живущее? Подобные мысли много раз сеяли панику среди обывателей крупных центров Европы. Вот несколько примеров.

В 1783 г. известный астроном Лаланд (Париж) предполагал прочитать в Академии сообщение о кометах, которые могут приблизиться к Земле. По Парижу пошли слухи, что лекция запрещена полицией, так как Лаланд должен был в ней объявить о столкновении кометы с Землей. Катастрофа произойдет 12 мая, и все живущее на Земле должно погибнуть. Лекция, однако, состоялась и даже была напечатана; ни о каком столкновении кометы с Землей в ней не было ни слова, но зловещие слухи росли. Обыватели с ужасом ждали страшного дня; были даже случаи нервных заболеваний и смерти от страха. Некоторые представители духовенства воспользовались паникой и прекрасно обделывали свои дела, предлагая за хорошее вознаграждение полное отпущение грехов (Вольф, История астрономии).

Более интересен второй случай. В 1556 г. во Франции после захода Солнца видна была громадная комета. Ее влиянию приписывали смерть папы Урбана IV. Карл V Испанский был убежден, что комета грозит и ему смертью. Желая уничтожить комету, он даже стрелял в нее из пистолета, но комета продолжала сиять на небе. Значительно позднее по произведенным наблюдениям была вычислена орбита кометы. Приближенные расчеты дали период ее обращения порядка 302—308 лет; после оказалось, что он значительно больше. Но зловещая комета снова выплыла на мировую сцену: о ней вспомнили. В 1856 г. в одном из календарей было напечатано, что в следующем году комета Карла V (как ее называли) 13 июня должна столкнуться с Землей, и кончина мира неизбежна. Конечно, календарик с таким сенсационным сообщением был сейчас же раскуплен и ловкие издатели нажились. Слухи о комете поползли по Европе. Астроном Бабине (Париж) пишет о паническом ужасе, распространившемся повсеместно. Многие предпринимали длительные путешествия, чтобы только к 13 июня в день кончины мира быть на родине и погибнуть вместе со своими близкими. Бабине получал сотни писем с запросами о комете, множество лиц и делегаций приезжали к нему узнать правду о комете. Только после целого ряда статей в популярных журналах удалось прекратить возбужденную кометой панику.

Ну, а все-таки, если какая-нибудь комета лобовым ударом стукнется о Землю, что будет?

Приведу слова одного из крупнейших авторитетов в астрономии — Лапласа:

«Чувство ужаса, которое вселяло некогда появление кометы, уступило место страху, что среди большого числа

комет, проноссящихся сквозь солнечную систему по всем направлениям, может оказаться такая, которая столкнется с Землей; и в самом деле действие подобного столкновения нетрудно себе представить. Положение (земной) оси и характер вращения Земли должны измениться; море покинуло бы свое теперешнее ложе и устремилось бы к новому экватору; люди и животные погибли бы в этом всемирном потопе, если бы только они могли уцелеть от страшного толчка, полученного земным шаром; все народы были бы уничтожены, все памятники человеческого ума разрушены, *если бы масса кометы, вызвавшей толчок, оказалась сравнимой с массой Земли*.

Все дело в предпосылке Лапласа: масса кометы должна быть того же порядка, как масса Земли — только в этом случае картина столкновения, нарисованная Лапласом, была бы правильной. Но, по современным данным, массы комет ничтожны. Даже исполинская комета 1811 имела массу в 10 тысяч миллионов раз меньшую земной, а масса средней кометы еще в тысячи раз меньше. Поэтому картина, нарисованная Лапласом, осуществиться не может. О гибели мира при столкновении с кометой говорить нечего. Вообще лобовое столкновение с какой-нибудь кометой так мало вероятно, что опасаться его просто нет смысла, да и Земля велика: больше всего шансов, что ядро рухнет в океан или во все еще почти пустые пространства наших материков. Если такая встреча даже и состоится, все кончится местной катастрофой, район действия которой будет ограничен несколькими десятками км. Но подобных катастроф на Земле было и будет немало. Можно как пример привести извержение вулкана Пеле на острове Мартинике (у северных берегов Южной Америки). 8 мая 1902 г. цветущий городок Сен-Пьер был в несколько минут сожжен и разрушен тучами горячего пепла и градом камней, выброшенных вулканом; погибло 30 000 жителей. Но климат на Мартинике так мягок, а вулканическая почва так плодородна, что уже давно исчезли все следы разрушения, и снова тысячи людей живут около подножия потухшего на время вулкана.

Старые шрамы на лицах бойцов говорят о давнишних боях, о жестоких, полученных ими когда-то ранах; такие же постепенно зарастающие шрамы поверхности Земли говорят нам о минувших столкновениях ее с метеоритами и кометами. Опишу вкратце падение подобного метеорита, случившееся 30 VI 1908 г. у нас в Сибири в бассейне реки Подкаменной Тунгуски. Место падения лежит на 900 км к северу от г. Иркутска.

Было около 8 часов утра. В фактории Вановара, расположенной от места падения в 65 км, на крыльце за работой сидел крестьянин С. Б. Семенов. Вдруг над лесом вспыхнуло исполинское пламя, сопровождавшееся сильным жаром: «чуть-чуть не загорелась рубашка», как рассказывал после Семенов. Пламя быстро исчезло. Затем последовал сильный толчок, которым Семенов был отброшен от крыльца на сажень, и он потерял сознание. Очнувшись среди гула, он видел, как тряслись избышки, ломались стекла и рамы; посреди площадки между изб был вырван клочок земли. Затем все стихло. Благодаря малочисленности населения и отдаленности места катастрофы от крупных центров, только через несколько лет стали доходить слухи от тунгусов-оленьеводов этого района, что «шайтан (чорт) летел, лес ломал, олешек (олений) бил». Первая экспедиция для обследования падения метеорита была послана Академией наук СССР, под начальством Л. К. Кулика, только в марте 1927 года (через 19 лет после падения). Место падения представляет собой гористую территорию, всю покрытую таежным лесом с топкими болотами и порожистыми речками. На 30 км от места падения деревья были повалены вершинами от центра, причем на 20 км от центра все стволы и уцелевшие ветви были обожжены с поверхности. В центре бурелома почва состоит из бугристых торфяников и сильно заболочена; поверхностные слои обожжены и имеют несомненные следы сдвигов, смещений и перемешиваний наружных и более глубоких слоев. По многочисленным, собранным у окрестного населения, данным метеорит летел в общем с юга на север с громадной скоростью. Благодаря своей исключительной массе он не потерял всей своей скорости и при ударе о Землю его скорость была, повидимому, порядка нескольких км/сек. Как известно из опытных данных, при скоростях падения порядка 4 км/сек всякое тело (железо, свинец, камень) мгновенно обращается в раскаленный пар, что производит взрыв, но силе равный взрыву нитроглицерина той же массы. Бурное выделение раскаленных паров вызвало поражающей силы ураган, направленный от центра падения, который повалил и обуглил деревья на несколько десятков километров. Исполинская звуковая волна, порожденная взрывом, дважды обогнула Землю и была зарегистрирована барографами на 10 наших геофизических станциях, затем в Берлине (5050 км от места падения), Батавии (7470 км), Вашингтоне, США (8910 км). Гул взрыва был слышен на расстоянии свыше 700 км. Много сейсмических станций зарегистрировало колебания почвы от взрыва¹⁾. Падение пришлось на слабо насе-

ленные части Земли в глухой тайге, и человеческих жертв не было.

Таких встреч с метеоритами Земля имела немало, и на ее поверхности осталось много шрамов от прежних столкновений.

В Аризоне (США) есть кольцевая горка, очень схожая с теми ямами, которые вырывают при своем падении тяжелые артиллерийские снаряды. Поперечник этой горки 1200 м; высота вала над уровнем почвы — около 40—50 м, глубина дна — около 125 м. Около этого образования найдено много отдельных кусков метеоритного железа (1200 кг). Нет сомнения, что эта кольцевая гора образовалась от падения огромного метеорита, масса которого оценивается в сотни тысяч тонн. Я назвал бы этот метеорит ядром небольшой кометы.

Недавно в Центральной Африке обнаружена подобная же кольцевая горка Нгоро-Нгоро, но громадных размеров с поперечником в 18 км. Метеорит, рухнувший там когда-то, должен был иметь поперечник порядка 2 км, а по размерам — это уже ядро средней кометы (см. стр. 93). Можно думать, что много тысячелетий тому назад (у окрестных племен никаких преданий об образовании Нгоро-Нгоро не сохранилось) одна из комет лобовым ударом столкнулась с Землей. Кругом на десятки км все подверглось разрушению и ожогу, катастрофа была еще более мощной, чем при падении тунгусского метеорита, но она захватила только ближайšie к месту падения районы. В других частях африканского материка, а тем более в Европе, никто и не подозревал о случившемся. Чудное зрелище, повидимому, представила собой испанская комета перед своим падением, когда она находилась в непосредственной близости к Земле!

Осталось сказать несколько слов о прохождении Земли через хвост кометы. Наибольшую плотность газовые массы кометы имеют около самой поверхности ядра; там в 1 см^3 около 10^9 молекул. В 1 см^3 воздуха у поверхности Земли содержится $2,7 \cdot 10^{19}$ молекул; следовательно, давление кометных газов в месте наибольшей их плотности соответствует 0,000000028 мм ртутного столба. Современные вакуумные насосы не могут дать такого разрежения, и достигаемая ими «пустота» во много тысяч раз «плотнее» кометной.

1) Никаких осколков или кусков метеорита на месте катастрофы обнаружено не было. Есть основание предполагать, что метеорит, рухнувший со скоростью нескольких км/сек, взорвался и перешел в парообразное состояние.

2) Профессор физики Столетов говорил, что в 1 см^3 воздуха молекул столько, сколько ведер воды в Каспийском море.

Разве что-нибудь может грозить Земле при столкновении ее с такой почти совершенной «пустотой»? И действительно, уже несколько раз на памяти астрономов Земля проносила через кометные хвосты, и в этих случаях не было замечено каких-либо явлений, которые можно было бы приписать действию частиц хвоста хотя бы на нашу атмосферу.

Так как хвосты комет направлены в сторону, противоположную Солнцу, и телесный угол, занимаемый хвостом, вообще говоря, велик, то много шансов за то, что в случаях прохождения кометы между Землей с Солнцем она махнет по Земле своим хвостом. Комета 1819 г. 26 июня утром проходила как раз между Землей и Солнцем; надежных наблюдений нет.

Комета 1826 V 18 ноября проецировалась на диск Солнца. Гамбар тщательно исследовал диск Солнца во время прохождения, но ничего не заметил — комета оказалась совершенно прозрачной; ядро должно было бы проецироваться на Солнце в виде черного пятнышка, но так как размеры ядер ничтожны (порядка нескольких км), то заметить подобную черную точку с угловым поперечником порядка тысячных долей секунды даже в современные трубы совершенно невозможно.

Комета 1882 II 17 сентября тоже проходила как раз между Землей и Солнцем. Благодаря большей яркости кометы ее голова была видна в телескоп все время до самого диска Солнца, где она исчезла, так как, двигаясь по диску, сделалась совершенно невидимой. Комета проходила по диску Солнца около часа и, как только сошла с него, снова сделалась видимой; наблюдателю казалось, что комета прошла за Солнцем.

Последней, на нашей уже памяти, проходила по диску Солнца 6 мая 1910 г. знаменитая комета Галлея. Несмотря на тщательные наблюдения ничего обнаружено не было. Наблюдения над земной атмосферой тоже не показали каких-либо необычных явлений, которые можно было бы приписать комете.

Когда-то кометы внушали ужас человечеству, как все необычные явления, причина которых неизвестна. Наука постепенно рассеивает суеверия именно тем, что дает необычным явлениям простое и понятное объяснение.

Истинная наука учит человечество не бояться природы, а изучать ее, любоваться ею, бороться и побеждать ее, расширяя этим возможность для всех полноценной, сознательной и радостной жизни.

2. Жизнь кометы

Скиапарелли, излагая свои мысли об открытых им каналах на поверхности Марса, перед текстом поместил следующий эпитафия (на латинском языке): «*Semel in anno licet insanire*» [«раз в году можно помечтать» (выражаясь мягко)]. Фраза эта здесь написана и мною: еще так много неясного в отдельных этапах жизни кометы, что поневоле приходится дополнять уже известное догадками и фантазией. Сознаюсь, что первого — известного — значительно меньше, чем второго — фантазии.

Начну с самого рождения кометы. Между Марсом и Юпитером в нашей солнечной системе движется несколько десятков тысяч крохотных планеток-астероидов. Поперечники их — от нескольких км до нескольких сотен км. В этом роде планеток и зарождаются новые кометы. По всем направлениям в межзвездном пространстве несутся с громадными скоростями метеориты. Притягиваемые Солнцем они по гиперболическим орбитам со все увеличивающейся скоростью огибают его огненную бушующую поверхность, и получив разгон, уносятся прочь из нашей системы в межзвездное пространство. Размеры метеоритов ничтожны: от едва различимых глазом пылинок до глыб в сотни метров поперечником.

Что будет, если один из более крупных метеоритов при своем стремительном движении налетит на астероид в несколько км поперечником? Правда, вероятность подобной встречи ничтожна, но отрицать ее возможности нельзя. У астероидов нет атмосферы, и скорость встречи ничем не будет замедлена, а она порядка многих десятков км/сек. При ударе метеорит взорвется, превратившись в раскаленный газ. Силу подобного взрыва можно сравнить с силой взрыва нитроглицерина по массе, в 200 раз большей массы упавшего метеорита (масса метеорита с поперечником в 100 м порядка миллиона тонн).

Произойдет исполинская вспышка, астероид разлетится на части, и его осколки с различными скоростями по различным орбитам понесутся во все стороны от места катастрофы. Если случайно один из осколков получит от взрыва скорость по направлению к Солнцу и его перигелийное расстояние окажется меньше 2 АЕ, то много шансов за то, что он обратится в новую комету.

Опишем жизнь подобной кометы. Масса ее что-то около 100 млн. т. Продвижение к Солнцу идет безостановочно, но очень медленно. Температура близка к -100°C . Солнце больше светит, чем греет. У будущей кометы еще нет ни хвоста, ни

даже туманной оболочки; голые глыбы тускло светятся под слабыми лучами далекого Солнца.

По пути встречаются крохотные метеориты (космическая пыль), отдельные молекулы газа. Со скоростями порядка 60—50 км/сек со всех сторон налетают они на ядро (около 1000 падений в сутки) и, взрываясь, дробят поверхностные слои ядерных глыб, образуя пыль и осколки, часть которых остается на глыбах, а часть уносится в пространство.

Время идет, Солнце все ближе и ближе; его лучи начинают все больше и больше прогревать холодные глыбы. Температура их неуклонно растет; газовые молекулы в глыбах начинают оживать, двигаясь все быстрее и быстрее. Одна за другой они начинают вылетать из прогретых поверхностных слоев каменных глыб, жадно ловя световую энергию Солнца и вновь ее испуская во все стороны, давая свои характерные излучения. Вокруг ядра образуется своеобразная светящаяся газовая оболочка (кома). До Солнца уже не больше 350 млн. км. Излучения Солнца потоками льются на глыбы; все больше и больше газовых молекул вылетает из них наружу в сторону, откуда несется тепло и свет. Волны света своими ударами бьют и гонят назад молекулы, откидывают их прочь от Солнца. Молекулы, выскочившие из ядра по направлению к Солнцу, погибают свой путь, уходя в хвост; но молекул много, по всем направлениям вылетают они к Солнцу; появляется оболочка кометы, и начинает формироваться газовый хвост (хвост I типа). Температура глыб теперь уже доходит до 200° К, что вызывает бурное выделение молекул из поверхности слоев ядерных глыб. Именно здесь голова кометы, окаймляясь со стороны Солнца четырьмя яркими, входящими друг в друга, оболочками, получает полное свое развитие, достигая наибольших размеров. При дальнейшем сближении с Солнцем голова уменьшается, зато яркость ее растет неудержимо и быстро. Глыбы нагрелись, невидимые глазом инфракрасные лучи излучаются ими во все стороны в пространство; потоки этих лучей, испускаемые одной глыбой, падают на другие; внутри ядра, кроме сил взаимного тяготения, появляются силы лучевого отталкивания, устойчивость системы глыб нарушается — начинается эпоха столкновений. Вот две глыбы столкнулись, но энергия столкновения ничтожна, скорость удара не превышает 1 м/сек. Не слышно ни гула от удара, ни малейшего шума; в среде сильно разреженного газа, окружающего ядро, нет и не может быть звуков. Видно только, как туча пылинок, когда-то осевших на поверхности столкнувшихся глыб, отделилась

от них, сверкая под лучами Солнца. Космические пылинки так малы, что лучи Солнца уже заметно гонят их назад и вся туча пылинок начинает медленно отодвигаться от ядра; пылинки меньших размеров отталкиваются сильнее и уходят вперед, более крупные и массивные отстают; все облако вытягивается в длинную светящуюся под лучами Солнца полосу, называемую *концевой синхрой*. Начинает формироваться хвост II типа. Снова столкнулись две другие глыбы — вторая туча пылинок вылетела из ядра, формируется вторая синхрона. Но все время в ядро кометы врезаются и взрываются крохотные метеориты, налетающие на глыбы, поверхностные слои их медленно разрушаются; осколки и пылинки все время отсеиваются из ядра кометы. Но вот на одну из глыб упал метеорит покрупнее; взрыв выкинул целое облако мелких осколков и пыли. Осколки с поперечниками свыше 0,0001 см уже заметно не отталкиваются Солнцем и, если скорости их не велики, они еще долго будут держаться около ядра, но более мелкие пылинки под влиянием лучевого давления должны медленно отходить от ядра; туча этих пылинок постепенно вытягивается в полосу, начинающуюся непосредственно от ядра. Это — полная синхрона хвоста II₀ типа. Более крупные частицы с поперечниками в 10 м (0,001 см) и больше, получившие эллиптические орбиты, будут сгужаться около головы кометы на солнечной ее стороне, образуя собой еще видный придаток, направленный от кометы к Солнцу: это аномальный хвост. Частицы аномального хвоста, двигаясь по эллиптическим орбитам, хотя и близким по элементам к орбите кометы, постепенно отходят от нее все дальше и дальше, своими орбитами окутывая орбиту породившей их кометы, и при встрече с Землей, пронизывая нашу атмосферу, сгорают в ней, как «падающие звезды». Так возникают периодические метеорные потоки, связанные с кометами.

Солнце все ближе; до него около 80 млн. км; глыбы ядра нагрелись до $+100^{\circ}$ С; с поверхности глыб начинает испаряться металлический натрий (Na); яркий желтый свет его молекул вдруг вспыхивает в голове и хвосте кометы (знаменитая в истории спектроскопии двойная желтая линия натрия).

Уже близок перигелий; со скоростью 420 км/сек, пронизывая корональные лучи, пронесится комета около самого Солнца; внизу под ней вздымаются огненные протуберанцы, сверкающие разноцветными огнями; высоко раскидываясь над ними, расходятся далеко от Солнца исполинские лучи внешней короны. От нестерпимого жара плавятся и кипят

поверхностные слои ядерных глыб — в комете вспыхивают яркие излучения раскаленных паров железа и никеля. Комета, получив мощный разбег, снова уносится от Солнца.

Чем дальше от Солнца, тем больше остывают глыбы ядра, меньше выделяется из них молекул, укорачивается хвост, гухнет газовая оболочка, и комета, потеряв свой недолгий блеск, с голым ядром, еле святающимся под лучами Солнца, уходит все дальше и дальше, чтобы через сотни тысяч лет со сверкающими пышными хвостами снова пронестись по нашему ночному небу.

Во всяком твердом теле «растворено» много газовых молекул, движущихся внутри него по бесчисленным коридорам межмолекулярных пустот; твердые глыбы ядра держат в запасе бесчисленное количество газовых молекул, но при каждом прохождении около Солнца их запас истощается. пополнений мало, и после нескольких сотен прохождений около Солнца газы истощаются: хвостов I типа не будет — это признак старости кометы¹⁾). Кроме того, непрерывно идет распад самого ядра. Метеориты все время (но чаще и сильнее вблизи от Солнца) врезаются в ядро кометы, вспыхивают взрывы, поверхностные слои ядер постепенно крошатся, осколки и пыль уносятся прочь — масса ядра уменьшается. Этот процесс идет медленно, но неуклонно в одну сторону. Возможны катастрофические ускорения распада. Опишем такой случай. Вот налетел на ядро крупный метеорит, около 1000 *t* массой; ужасающий взрыв разбросал уцелевшие глыбы ядра во все стороны. Ядро распалось; отдельные части ядра по разным орбитам отходят во все стороны от места катастрофы. Произошло рождение новых, но более мелких комет. Если орбиты нескольких из них случайно расположатся так, что новые кометы смогут близко подлететь к Солнцу, то они сейчас же разовьют свои светящиеся газовые оболочки, обзаведутся одним или несколькими хвостами, и в нашей системе появятся новые самостоятельные кометы. Таких кометных семейств, орбиты которых пересекаются в одной точке, в месте катастрофы, уже обнаружено несколько десятков.

Нам осталось прочитать последнюю страницу из жизни нашей кометы. Прошли миллионы лет со времени рождения кометы; она уже много раз проносилась через свой перигелий, огибая Солнце. Газов, когда-то запасенных в глыбах ядра, уже нет. Выделенные ею новые кометы во много раз

¹⁾ Примером старой кометы может служить комета 1901 I.

уменьшили общую массу. Бесчисленные встречи с крохотными метеоритами раскрошили и обкусили поверхностные слои глыб. Масса ядра уменьшилась до 1000 т. Уже комета не в силах, пролетая около Солнца, распушить светящиеся газовые исполинские хвосты; газ растерян, встречи с метеоритами все реже и реже. Комета уже прекратила свое существование, обратившись в простой метеорит; небольшие размеры делают его невидимым, даже если он близко пролетает от Земли.

Может случиться, что подобный метеорит налетит на Землю, — случай чрезвычайно редкий, но возможный. С поразительной скоростью в несколько десятков км/сек влетит он в нашу атмосферу. Удары встречных молекул воздуха начнут дробить и крошить его поверхность. Метеорит гонит перед собой встречные молекулы, быстро накапливающиеся перед его головной частью. Эта воздушная подушка, летящая перед метеором, сильно нагревается от сжатия, обращая в раскаленные, ярко светящиеся газы его поверхностные слои.

Если это будет ночью, то случайные зрители этого явления не забудут его никогда. Нестерпимо яркий огненный шар (огненный змей, как думали наши предки), оставляя за собой сверкающий след, пронесется по небу. Воздушная подушка, сжатая его стремительным полетом и летящая перед ним, достигнув низких слоев нашей атмосферы, где уже возможны звуки, даст мощную акустическую волну, и гул пушечных залпов пронесется близ места падения. Сохранив часть своей космической скорости (несколько км/сек), метеорит грохнется о землю. Этот удар вызовет взрыв; вся оставшаяся масса метеорита мгновенно обратится в раскаленные газы. Вспыхнет исполинский язык пламени, во все стороны от места взрыва метнется ураган раскаленного газа, валя и обугливая деревья; взрыв нарост громадные ямы, задрожит земля, — но это все-таки только местная катастрофа, район которой не простирается далеко от места падения. Вдали от катастрофы, за сотни и тысячи километров, только горизонтальные маятники в глубоких подвалах сейсмических станций запишут извилистыми горбами тонким пучком света на бромистой бумаге конец жизни нашей кометы, да барографы на геофизических станциях отметят пронносящуюся в атмосфере акустическую волну взрыва.

Всю оставшуюся массу нашей кометы, всю сохраненную ею энергию захватит наша Земля, чтобы влить их в свои высшие процессы сложной органической жизни. Жизнь нашей кометы кончилась!

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ КЛАССИФИКАЦИИ КОМЕТНЫХ ХВОСТОВ

В 1877 г. Ф. А. Бредихин, изучая величины отталкивательных ускорений в хвостах комет, высказал¹⁾ предположение, что существует только несколько типов хвостов, характеризующихся величинами отталкивательных ускорений Солнца. В 1878 году ему уже удалось установить основы твердой классификации кометных хвостов, верно им угаданной и сохранившейся до настоящего времени.

По Бредихину существует три типа хвостов, отличающихся друг от друга величинами $1+\mu$ отталкивательных ускорений Солнца. По мере накопления нового материала Ф. А. Бредихин уточнял как величину $1+\mu$, так и величины g — начальных скоростей, с которыми частицы и молекулы, формирующие тот или другой хвост (см. табл. 21), вылетают из сферы действия ядра.

Таблица 21. Классификация кометных хвостов по Бредихину

Год	Типы хвостов	$1+\mu$ ²⁾	$\frac{AE}{1/k}$ ³⁾	g км/сек
1878	I	11	—	—
	II	0,7	—	—
	III	(0,1)	—	—
1879	I	11	0,15	4,5
	II	1,4	0,03	0,9
	III	0,2	0,01	0,0
1880	I	12	0,15	4,5
	II	2,4—0,8	0,03	0,9
	III	0,3	0,01	0,3
1884	I	18	0,34—0,1	10—3
	II	2,2—0,5	0,07—0,03	2—0,9
	III	0,3—0,0	0,02—0,01	0,6—0,3
1903	I	18, 36, 72	0,34—0,1	10—3
	II	2,2—0,5	0,07—0,03	2—0,9
	III	0,3—0,0	0,02—0,01	0,6—0,3

¹⁾ Бредихин, О хвостах комет, М.—Л., 1934.

²⁾ За единицу ускорения принято ньютоновское ускорение Солнца.

³⁾ За единицу времени принято $1/k=58,134$ ср. солн. суток. За единицу длины — среднее расстояние Земли от Солнца (АЕ).

Бредихин, так же как и Ольберс, Бессель и Цельнер, предполагал, что отталкивательная сила Солнца электрического происхождения. Солнце и молекулы, из которых формируются хвосты комет, заряжены одноименным электричеством, что и вызывает взаимное отталкивание. В то время молекулы рассматривали, как шарики, близких друг к другу размеров; Бредихин сделал также второе предположение, что если молекулы, вылетающие из сферы действия ядра кометы, несут на себе заряды электричества всегда одной и той же плотности, т. е. что электрические заряды различных молекул одинаковы, то отталкивательное ускорение должно быть обратно пропорциональным молекулярному весу M молекулы, или

$$(1 + \mu) M = \text{const.}$$

В хвостах I типа, по Бредихину, должны находиться легчайшие молекулы водорода $(H)_2$ с молекулярным весом 2. Тогда, так как $1 + \mu = 18$, то

$$\text{const.} = 36.$$

Определив величину постоянной, можно найти, какие же газы образуют хвосты II типа; предельные величины при $2,2 > 1 + \mu > 0,5$ будут

$$2,2 M_1 = 36, \quad 0,5 M_2 = 36,$$

т. е.

$$M_1 = 16,4, \quad M_2 = 72.$$

Этим величинам M соответствуют все углеводороды: CH_4 ($M = 16$), C_2H_2 ($M = 26$), C_2H_6 ($M = 30$), CO ($M = 28$), CO_2 ($M = 44$) и все легкие металлы, например, Na ($M = 23$) и т. д. В хвостах III типа, где $1 + \mu < 0,3$ и $M \geq 120$, можно предполагать присутствие молекул тяжелых металлов, например Fe (железа), наиболее распространенного в природе, и т. д.

Сам Ф. А. Бредихин не придавал особенного значения своей физической теории кометных хвостов, считая, что это — область скорее физики, чем астрономии, и не эта теория дала ему мировую известность. С именем Бредихина навсегда связана механическая теория кометных форм, им завершенная и подтверждаемая каждой кометой, хвосты которой подвергались должному изучению.

Вскоре после опубликования в *Анналах Московской Обсерватории* (1879 г., том VI, 1, 60) физической теории хвостов, согласно которой Бредихин предсказал возможность присутствия натрия в хвостах II типа и железа в III типе, появилась комета Вельса (1882 1), в спектре которой самим

Бредихиным была обнаружена двойная линия натрия; комета имела хвост II типа. В спектре следующей за ней Большой сентябрьской кометы (1882 II), кроме углеводородов и натрия, было измерено много линий железа; комета имела хвосты всех трех типов.

Казалось бы, что эти вновь найденные в хвостах комет элементы можно было рассматривать как решающее подтверждение правильности физической теории хвостов, данной Бредихиным. Однако, дальнейшие исследования дали совершенно другую картину. В сущности изучение спектров хвостов началось с начала текущего столетия, совсем недавно. Хвосты I типа оказались и на самом деле газовыми, но вместо водорода в них найдены молекулы CO^+ — окиси углерода и N_2^+ — азота (те и другие ионизованные). Спектры хвостов II и III типов оказались непрерывными, без всяких следов каких-либо ярких полос или линий. Эти хвосты бесспорно состоят из отдельных твердых пылинок и частиц всевозможных размеров, отражающих солнечные радиации.

Таким образом, наблюдения показали, что физическое строение кометных хвостов оказалось иным, чем это думал Бредихин.

После Бредихина дальнейшее развитие теорий головы кометы тормозилось тем, что из наблюдений нельзя было получить величин g — тех скоростей, с которыми молекулы и пылинки вырывались из сферы действия кометных ядер. Причина этого заключалась в незнании поразительного факта, ставшего известным только теперь, а именно, что между головой и хвостом кометы, вообще говоря, нет ничего общего, ни в химическом составе излучающих молекул, ни в величинах отталкивательных ускорений Солнца. Головы у всех комет, какими бы хвостами они не обладали, всегда состоят из CN (циана), C_2 (углерода), CH (углеводородов) и OH (гидроксила), а хвосты — либо газовые, но всегда из CO^+ и N_2^+ (ионизованные молекулы окиси углерода и азота), либо пылевые. Поэтому величины отталкивательных ускорений Солнца, вообще говоря, определяемые либо по смещению облачных образований в хвостах комет, либо по кривизне самих хвостов, никоим образом нельзя переносить в районы головы кометы — там совершенно другие отталкивательные ускорения.

Только громадный наблюдательный материал, полученный при изучении негативов и спектрограмм головы и хвостов кометы Галлея 1910 II, позволил исследовать движение крохотных облачных образований из молекул циана и углерода в области головы около самого ядра и получить надеж-

ные величины отталкивательных ускорений Солнца, формирующих голову кометы. Эти ускорения оказались по величине порядка единицы ($1 + \mu = 1$).




В хвостах I типа (газовых) еще самим Бредихиным была заподозрена кратность отталкивательных ускорений Солнца: $1 + \mu = 18, 36, 72$. Исследования новейшего времени, произведенные более точными методами с большей точностью (негативы, а не рисунки) вполне подтвердили наличие кратности ускорений в этих хвостах:

$$1 + \mu = 22,25n \quad (n = 1, 2, 3, \dots, 9).$$

Значение работ Ф. А. Бредихина в истории изучения комет признано всюду и всеми. Нет ни одной, даже популярной книжки по общей астрономии, на каком бы языке она ни была написана, где не упоминалось бы имени Бредихина. Можно было бы подумать, что мы, русские, несколько преувеличиваем значение Бредихина, как ученого, придавая его работам большее значение, чем это следовало бы. Поэтому уместно привести оценку Бредихина, данную современным нам маститым ученым.

В 1928 году вышла интересная книга *A Source-Book in Astronomy* («Источники астрономии»), изданная и написанная при непосредственном участии известного астронома Шэпли, директора Гарвардской обсерватории (США). В ней помещены выдержки из классических трудов по астрономии, имеющих мировое значение. Шестьдесят четыре астронома вписаны в этот почетный список. Среди них — Бредихин.

Классификация

Идеальная комета		1. Классификация	
		Типы	Описание хвостов
	I	I ₀	Хвосты состоят из концов оболочек головы, симметричных относительно радиуса-вектора; они быстро спадают к ядру, запахиаясь к продолженному радиусу-вектору, сейчас же заменяясь другими
		I	Прямые хвосты, часто с неправильными очертаниями; стелятся близко к продолженному радиусу-вектору, еле заметно кривясь в сторону, обратную движению кометы. Состоят из облачных образований и струек
	II	II	Хвосты, сильно изогнутые в сторону, обратную движению кометы; состоят из отдельных поперечных полосок — синхрон, направленных к ядру; каждая полоска-синхрона образована внезапным выделением из ядра тучи пылинок
		II ₀	Прямые хвосты; всегда отклонены на заметный угол от продолженного радиуса-вектора в сторону, обратную движению кометы. Угол между осью хвоста и радиусом-вектором непрерывно растет. Образуются от взрывов в ядре, выбрасывающих из него тучи пылинок и осколков

ЖЕНИЯ

кометных форм

Приложение I

кометных хвостов

Физические характеристики		Механические характеристики	
Газовые хвосты	Спектр газовый; CO ⁺	Синдинамные образования	Отталкивательное ускорение Солнца $1 + \mu$ порядка 1000
	Спектр газовый; CO ⁺ , N ₂ ⁺		$1 + \mu = 22,25 n$ ($n = 1, 2, 3, \dots, 9$)
Пылевые хвосты	Состоят из пылинок, поперечники которых d , причем $7 \cdot 10^{-5} \text{ см} > d > 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ Спектр непрерывный. Отталкивательные ускорения объясняются лучевым давлением	Синхронные образования	Концевые синхроны $2,2 > 1 + \mu > 0,6$
	Состоят из пылинок и осколков $d > 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$. Спектр непрерывный. Силы отталкивания — лучевое давление		Полные синхроны $2,2 > 1 + \mu > 0$

2. Классификация кометных голов

Головы комет, как уже говорилось раньше, не имеют ничего общего с хвостами комет ни по химическому составу светящихся в них голов, ни по величинам отталкивательных ускорений Солнца. Я предлагаю их классифицировать следующим образом:

Тип	Описание	1 + μ	Физические характеристики
N (nucleus)	Яркое звездообразное ядро: от него в сторону, обратную Солнцу, отходит один (или несколько) прямой сигарообразный хвост; в острие сигары голое ядро: нет ни колец, ни оболочек (см. вкладной лист «Типы кометных голов»)	—	Спектр яркого ядра непрерывный, без каких-либо газовых излучений
C (coma)	Ядро окружено туманной оболочкой — комой. Голова кометы похожа на луковицу с ростками (хвост уже головы). Параболических оболочек нет (см. вкладной лист «Типы кометных голов»)	Порядка единицы	Спектр газовый: CN, C ₂ , CH, OH и NH. Слабый непрерывный спектр видимого ядра
E (envelopes)	Ядро окружено комой, которая на солнечной стороне окаймлена одной или несколькими параболическими оболочками (многоярусные оболочки). Хвост расширяется от головы (см. вкладной лист)	Порядка единицы	Спектр газовый: C ₂ , CN, OH, CH и NH. Слабый непрерывный спектр видимого ядра

У каждого из этих трех типов голов могут быть образования, говорящие об энергичном распаде их ядер:

а — слабо светящийся выступ из головы кометы в сторону Солнца неопределенных очертаний. Ф. А. Бредихин называл их *аномальными* хвостами (см. вкладной лист). Спектр благодаря слабой светимости не исследован; нет сомнений, что он должен быть непрерывным. По Бредихину, из аномальных хвостов формируются метеорные потоки.

h — яркие, равномерно расширяющиеся кольца (галосы), всегда концентрические с ядром кометы. Результат взрывов в ядрах, выбрасывающих во все стороны либо газы (C₂ и CN), либо тучи пылинок и мелких частиц (см. вкладной лист).

ТИПЫ ХВОСТОВ КОМЕТ



I₀ тип. Комета 1908 III (Морхауза) 5/X.
Гриничская обсерватория.



II₀ тип. Комета 1901 I (Большая южная) 11/V, сним. Барнарда.
От голого ядра исходит прямой хвост (полная синхрона).
Спектр кометы — непрерывный. Ни оболочек, ни комы нет.



I тип. Комета 1908 III (Морхауза) 6/X.
Иеркская обсерватория.



Спектрограмма хвоста
I типа. Комета [1910 II
(Галлея) 5/V]. Излуче-
ния ионизованных мо-
лекул окиси углерода
(CO⁺).



Спектрограмма хвоста II типа ко-
меты 1910 I (Январская) 29/I
(сним. Бальде). Спектр непре-
рывный.



II тип. Комета 1910 I (Январская)
27/I. Лоуэлльская обсерватория.
Голова кометы закрыта облаками.



N

Одно ядро без комы и оболочек. От ядра исходит яркий пылевой хвост (полная синхрона). Спектр непрерывный (1901 I).



C

Ядро окружено туманной оболочкой — комой. Хвост газовый (CO^+).

Спектр этих голов газовый: CN, C_2 , NH и OH.



E

Голова с солнечной стороны окаймлена несколькими параболическими оболочками (с фокусами в ядре).



h

Галосы концентрические с ядром, быстро и равномерно распространяющиеся: либо газовые (1910 II), либо пылевые (1892 III). Если газовые, то содержат C_2 и CN; пылевые имеют непрерывный спектр.



a

Слабо светящийся выступ из головы в сторону к Солнцу. Бредихин называл такие выступы аномальными хвостами. Эти выступы формируют собою метеорные потоки и состоят из мелких частиц и пылинок.

Место комет среди небесных светил.

Кометы одни из самых гигантских по своим размерам в нашей солнечной системы. Поперечник головы сравнительно небольшой кометы 1908 III достигал (при $r=1$) 10 000 км; а поперечники больших комет (например 1811 I) порядка миллиона км: по своим размерам кометы соперничают с самим Солнцем (поперечник Солнца 1 390 000 км). Частности у комет, те части их, которые мы видим глазом, бывают поистине чудовищных размеров, например хвост кометы 1882 II в октябре был не меньше 6 АЕ (900 000 000 км). Нужно 1000 лет, чтобы проехать из конца в конец по такому хвосту, непрерывно несясь день и ночь со скоростью 100 м/час. Тем не менее массы комет, почти полностью сосредоточенные в их ядрах, ничтожны и, даже у больших комет, по крайней мере в миллиард (10^9) раз меньше массы нашей Земли.

По своим массам кометы занимают место как раз между малыми планетами (астероидами) и метеоритами. На рис. 41 нанесены логарифмы поперечников и масс всех небесных тел (для комет взяты поперечники ядер и их массы). Интересна следующая таблица (табл. 22), в которой приведены средние углы наклонов i , средние эксцентриситеты e и средние массы m различных тел нашей солнечной системы.

Таблица 22. Сравнение орбит планет и комет

	Средние i	Средние e	Средние m
Большие планеты	$1^\circ,6$	0,04	111
Планеты типа Земли	$4^\circ,1$	0,10	0,6
Малые планеты	$9^\circ,5$	0,15	$3 \cdot 10^{-7}$
Кометы	$90^\circ,0$	1,00	10^{-13}

Чем меньше средние массы данных тел, тем больше их углы наклонов и эксцентриситеты. Получается впечатление, что какие-то причины все время стремятся расстроить движение в солнечной системе, вывести движение из когда-то общей для всех тел плоскости. Чем меньше масса данных тел, тем сильнее и резче чувствуется эффект этих возмущающих влияний.

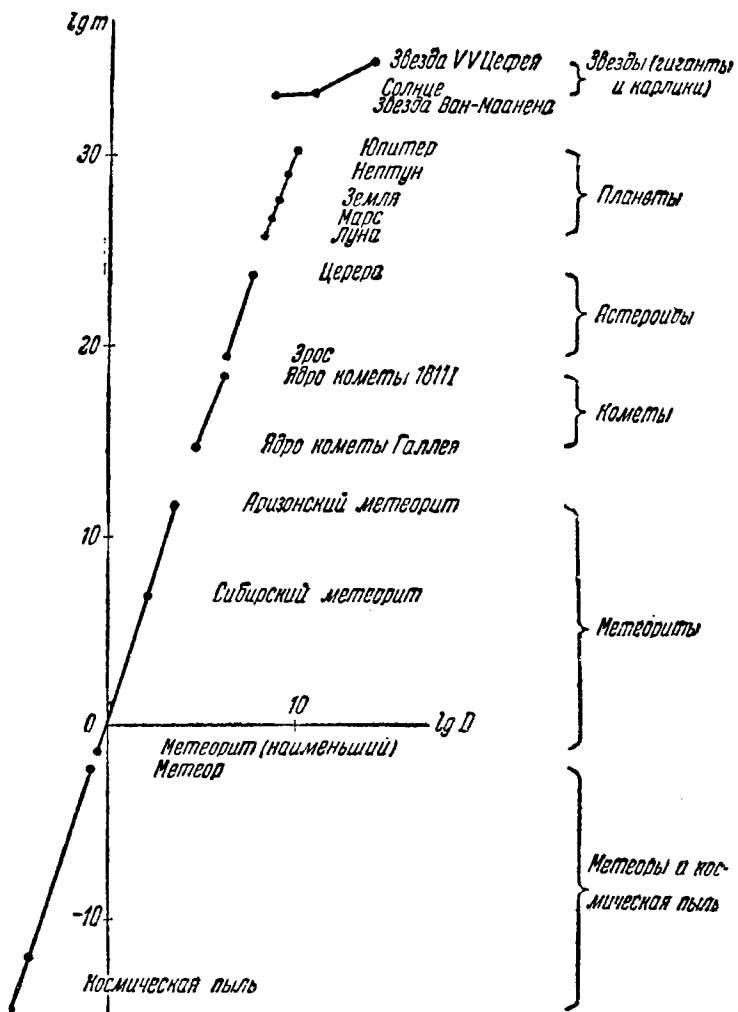


Рис. 41. Место комет среди небесных светил (массы m в граммах и поперечники D — в сантиметрах).

Приложение III

Спектры и строение атома по Бору

Чтобы иметь представление об излучении атомов и молекул, познакомимся вкратце с характерными особенностями этих процессов. По Резерфорду атом имеет ядро, в котором сосредоточена почти вся его масса; ядро несет на себе некото-

рый положительный заряд электричества (+e). Величина этого заряда (вернее, количество элементарных положительных зарядов) определяет место атома (порядковое число) в периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Около ядра по круговым орбитам движутся электроны — отрицательные электрические заряды (-e), образуя собой своеобразную систему, подобную солнечной, где вместо сил тяготения действуют аналогичные силы электрического притяжения. В нормальном атоме элементарных положительных зарядов в ядре столько же, сколько электронов. Разберем простейшую модель атома, состоящую из ядра с одним позитроном и одной планетки-электрона. Это — модель водородного атома по Бору.

Посмотрим, что дают непосредственные наблюдения. Спектр водорода состоит из ряда линий в видимой части спектра, названных бальмеровской серией, по имени ученого Бальмера, открывшего закономерность, связывающую одной формулой все эти излучения. Каждая линия имеет свое обозначение: красная H_α (ха альфа), голубая H_β (ха бета), синяя H_γ (ха гамма), фиолетовая H_δ (ха дельта) и т. д. Мы уже знаем, что между длиной волны (λ), скоростью света (c) и числом колебаний в 1 сек. (ν) имеется простое соотношение: $c = \nu\lambda$; следовательно, зная λ и c , можно вычислить ν (см. табл. 23).

Таблица 23. Волновые числа линий водорода (серия Бальмера)

λ в Å	$\frac{1}{\lambda}$ (набл.)	$\frac{1}{\lambda}$ (вычисл.)
6562,8	15 233	15 233 (красная линия)
4861,3	20 565	20 565 (синяя линия)
4340,5	23 032	23 032 (фиолетовая линия)
4101,7	24 373	24 373 (фиолетовая линия)

В таблице даны так называемые волновые числа, равные числу волн в 1 см, т. е. величины $1/\lambda$. Бальмер, отыскивая закономерности в линиях водорода, взял вместо длин волн их волновые числа; эта удачная мысль позволила свести все линии водорода к простой формуле, на основе которой была уже значительно позднее построена Бором модель водородного атома. Вот формула Бальмера:

$$\frac{1}{\lambda} = 109\,678 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Если вместо m последовательно подставить целые числа 3, 4, 5 и т. д., то мы получим с поражающей точностью все линии водорода.

Еще в 1900 г. Планк пришел к заключению, что свет излучается и поглощается не непрерывно, а конечными по величине порциями энергии, названными им квантами. Квант, вылетевший из светящегося тела, несется в пространство со скоростью света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Кванты различаются друг от друга количеством заключенной в них энергии; есть кванты, дающие впечатление желтого и т. д. цветов. Планк дал простое соотношение между числом колебаний излучения в 1 сек. ν и энергией $\Delta\epsilon$ соответствующего кванта: $\Delta\epsilon = h\nu$ эрг, h — планковская постоянная ($h = 6,54 \cdot 10^{-27}$). Следовательно, чем больше ν (число колебаний), тем больше $\Delta\epsilon$ — энергия соответствующего кванта. Фиолетовый квант несет в себе больше энергии, чем, например, красный. Поэтому понятно, почему на фотографическую пластинку красные лучи с более слабыми квантами не производят никакого действия, а синие и фиолетовые вызывают выделение серебра.

Нильс Бор (Дания) высказал смелое предположение, что в атомах, где мы имеем дело с мельчайшими частицами вещества и электронами, могут быть свои особые закономерности. Этим было положено начало *атомной физики*. Приняв за основу модель атома Резерфорда, Бор выдвинул следующее положение: электрон в атоме может двигаться только по некоторым (но не по любым) устойчивым орбитам; электрон, двигаясь по орбите вокруг ядра, не излучает (при подобном движении больших количеств электронов в наших лабораториях мы всегда имеем излучения радиоволн, но в атоме по Бору свои закономерности). Электрон излучает только тогда, когда перескакивает с какой-либо дальней орбиты на более близкую и поглощает приходящую к нему энергию, перескакивая с ближней орбиты на одну из более отдаленных (все это по отношению к атомному ядру).

Выведем основные боровские формулы для атома водорода (один электрон движется по круговой орбите около ядра с элементарным зарядом). Определим сначала, каким запасом энергии обладает электрон на 1-й орбите? Как известно из элементарной физики, энергия всякого тела складывается из потенциальной ее части и кинетической. Кинетическая энергия движущегося по орбите электрона, как известно, равна $m_0 v^2 / 2$ (m_0 — масса электрона в r). Но ускорение a центростремительной силы в круговом движении равно $a = v^2 / r$; точно так же мы знаем зависимость между силой, ускорением и массой (закон Ньютона): $f = m_0 a$. В нашем случае

действует сила электрического притяжения ядра с зарядом $+e$ и электрона с зарядом $-e$; эта сила по закону Кулона выражается формулой $f = e^2/r^2$, или, соединяя две последние формулы,

$$\frac{e^2}{r^2} = m_0 a, \quad \text{или} \quad a = \frac{e^2}{m_0 r^2}.$$

Подставим это значение для a в формулу центростремительного ускорения: $v^2 = e^2/m_0 r$. Следовательно, кинетическая энергия нашего электрона ($m_0 v^2/2$) выразится формулой $e^2/2r_1$ на 1-й орбите и $e^2/2r_2$ на 2-й (первая величина больше второй).

Нам осталось определить количество потенциальной энергии электрона. Если электрон отодвигать дальше от ядра, то нужно затратить работу (электрон притягивается к ядру); чем дальше электрон от ядра, тем больше на его продвижение затрачено работы, тем больше, следовательно, его потенциальная энергия. Наоборот, если электрон перескочит со второй орбиты на первую, то часть его потенциальной энергии освободится; по Бору эта часть освободившейся энергии вышвырнется атомом в пространство, как излучение, как квант энергии.

Насколько изменится потенциальная энергия электрона при перескоке его со 2-й орбиты на 1-ю?

Потенциалом какой-либо точки в поле электростатического заряда называется то количество работы, которое нужно затратить, чтобы единицу электричества из данной точки передвинуть в бесконечность.

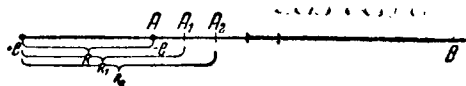


Рис. 42. К выводу формулы потенциала.

Пусть имеем тело с зарядом $+e$, образующим около себя электростатическое поле. Нужно заряд $-e$, находящийся на расстоянии R от заряда $+e$, передвинуть в бесконечность. Проведем прямую AB (рис. 42) и подсчитаем количество затраченной работы при передвижении заряда $-e$ от заряда $+e$. Разделим прямую AB на ряд малых, но произвольных по величине отрезков AA_1, A_1A_2 и т.д. Отрезок $AA_1 = R_1 - R$. Работа — это произведение длины пути на действующую силу. Сила $f = e^2/R^2$ в начале отрезка и $f = e^2/R_1^2$ в конце отрезка. Если отрезок пути, как это и принято нами, мал, то в среднем мы вправе взять $f = e^2/RR_1$. Тогда работа выразится в виде $(R_1 - R) e^2/RR_1$, а потенциал

$$P = (R_1 - R) \frac{e^2}{RR_1} + (R_2 - R_1) \frac{e^2}{R_1 R_2} + (R_3 - R_2) \frac{e^2}{R_2 R_3} + \dots;$$

раскрыв скобки, получаем:

$$P = \frac{e^2}{R} - \frac{e^2}{R_1} + \frac{e^2}{R_1} - \frac{e^2}{R_2} + \frac{e^2}{R_2} - \dots$$

Так как последний член нашего бесконечного ряда равен нулю ($R_n = \infty$), то, сокращая равные члены с разными знаками, получаем формулу потенциала в электростатическом поле

$$P = \frac{e^2}{R}.$$

Следовательно, потенциал электрона на первой орбите равен e^2/r_1 и на 2-й e^2/r_2 . Поэтому потенциальная энергия изменится при перескоке на $\frac{e^2}{r_1} - \frac{e^2}{r_2}$.

Изменение кинетической энергии равно $\frac{e^2}{2r_1} - \frac{e^2}{2r_2}$. Так как кинетическая энергия на 1-й орбите больше, чем на 2-й, то, чтобы дать электрону возможность двигаться по 1-й орбите после перескока со 2-й, необходимо из освободившейся потенциальной энергии вычесть разность кинетических энергий. Тогда чистый остаток энергии, освобожденной при перескоке, будет

$$\Delta\varepsilon = \frac{e^2}{r_1} - \frac{e^2}{r_2} - \frac{e^2}{2r_1} + \frac{e^2}{2r_2}, \quad \Delta\varepsilon = \frac{e^2}{2r_1} - \frac{e^2}{2r_2}.$$

По Планку частота (число колебаний в 1 сек.) в этой освободившейся порции энергии будет $\Delta\varepsilon = h\nu$, или, переходя к волновым числам (по аналогии с формулой Бальмера), $\Delta\varepsilon = hc/\lambda$. Перепишем последнее уравнение и формулу Бальмера:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{e^2}{2hc} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \quad \frac{1}{\lambda} = 109\,678 \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Удивительное сходство! Для полной тождественности этих формул Бору пришлось только принять, что радиусы орбит электронов в атоме водорода r_1 и r_2 и т. д. могут быть только квадратами целых чисел: 1, 4, 9, 16, 25 и т. д. Отсюда и вытекает его первое положение (устойчивые орбиты). Вынесем в первой формуле r_1 за скобку и примем что радиусы орбит могут быть только квадратами целых чисел; тогда формула Бора примет вид:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{e^2}{2hcr_1} \left(\frac{1}{l^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Полученная формула говорит об излучениях водородного атома в случае перескока электрона на 1-ю орбиту, но электроны могут перескакивать и на 2-ю орбиту с 3-й, 4-й и т. д.

или на 3-ю с 4-й, 5-й и т. д. Следовательно, возможно несколько формул:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{e^2}{2hcr_1} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 2, 3, 4 \text{ — серия Лаймана,}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{e^2}{2hcr_1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 3, 4, 5 \text{ — серия Бальмера,}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{e^2}{2hcr_1} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 4, 5, 6 \text{ — серия Пашена.}$$

Оказалось, что все эти серии действительно существуют: первая серия (перескоки на 1-ю орбиту) носит название серии Лаймана, ее линии лежат в ультрафиолетовой части спектра; вторая — уже известная нам — Бальмера — лежит в оптической (видимой глазом) части спектра, третья — Пашена — в инфракрасной части; есть еще 4-я серия Брэггетта и 5-я — Пфунда. Смелая мысль Бора привела к удивительному обобщению всех серий водородных линий одной формулой, положила начало атомной физике и дала возможность предсказывать новые явления, ныне уже экспериментально проверенные.

Приложение IV

Принцип Допплера

Пусть мы имеем монохроматический источник света A (испускающий колебания только какой-нибудь одной длины волны, например, желтые лучи). Световые волны распространяются от него во все стороны, подобно волнам от брошенного на поверхность спокойной воды камня. Расстояние между двумя смежными горбами называется *длиной волны* λ . Если скорость света обозначим буквой c , то время T между последовательными испусканиями двух смежных волн выразится, очевидно, формулой $T = \lambda/c$. Представим себе, что источник света движется от наблюдателя (рис. 43) со скоростью v ; тогда после испускания волны в промежуток времени T он сам пройдет расстояние $AA_1 = vT$ и следующую волну пошлет не в точке A , а в точке A_1 . Этим самым длина волны в сторону движения источника света укоротится и выразится формулой $\lambda_2 = \lambda - vT$, а в сторону, обратную движению (в сторону к наблюдателю на рис. 43), удлинится: $\lambda_1 = \lambda + vT$. Но $T = \lambda/c$ и поэтому

$$\lambda_1 = \lambda + \frac{v\lambda}{c} \quad \text{и} \quad \lambda_2 = \lambda - \frac{v\lambda}{c},$$

или

$$\lambda_1 = \lambda \left(1 + \frac{v}{c} \right) \quad \text{и} \quad \lambda_2 = \lambda \left(1 - \frac{v}{c} \right).$$

В случае, когда источник света испускает непрерывный спектр, все его радиации сместятся в сторону фиолетовой

части спектра, если движение источника направлено к наблюдателю; вместе с ними сместятся и темные фраунгоферовы

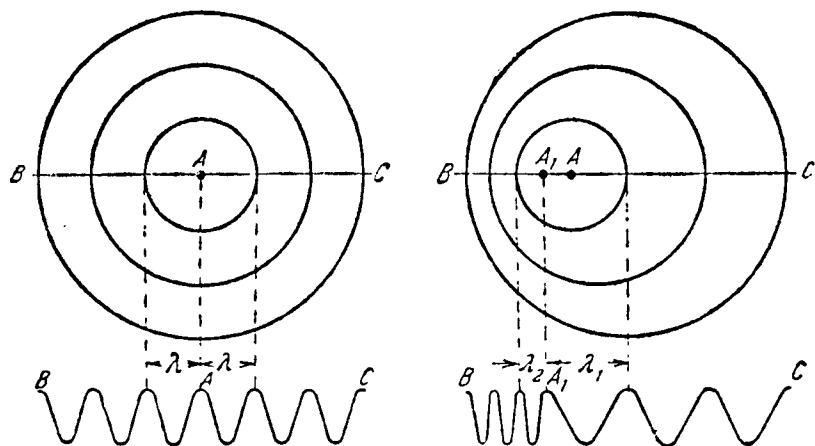


Рис. 43. Принцип Доплера-Физо.

линии. По смещению линий можно вычислить скорость v источника света. Обозначим смещение $\lambda_2 - \lambda = \Delta\lambda$; тогда

$$\Delta\lambda = \pm \frac{v}{c} \lambda, \text{ или } v = \pm \frac{c\Delta\lambda}{\lambda}.$$

Верхний знак берут, когда линии смещаются к красной части спектра, и нижний — когда к фиолетовой части.

Приведем пример. Комета 1882 II имела в своем спектре яркую двойную линию натрия D_1 и D_2 (нормальные их длины волн 5896 Å и 5890 Å). При сравнении положений этих линий с линиями лабораторного спектра натрия было обнаружено заметное смещение в сторону фиолетовой части спектра (комета, следовательно, приближалась к Земле), равное $\frac{1}{4}$ промежутка между самими линиями. Промежуток между линиями равен 6 Å; его четверть есть $\frac{3}{2}$ Å. Тогда, по выведенной нами формуле,

$$v = - \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c = - \frac{300\,000 \cdot \frac{3}{2}}{5896} = - 76,3 \text{ км/сек.}$$

Эта скорость по лучу зрения в астрономии называется *радиальной* (скорость приближения или удаления источника света от наблюдателя). Знак минус показывает, что комета приближалась к Земле.

Такое же смещение линий будет и в том случае, когда движется наблюдатель, а источник света неподвижен. Принцип Доплера дает только относительную скорость.

Вывод формулы центростремительного ускорения для движения по окружности

Пусть тело движется по окружности и находится в точке A (рис. 44). Если бы на него не действовала никакая сила, то тело двигалось бы прямолинейно и равномерно по касательной и за промежуток времени t прошло бы путь $AB = vt$ (v — скорость движения тела по окружности). Но тело притягивается к центру C и, как это показал еще Галилей, должно двигаться к нему с ускорением a (центростремительное ускорение) и в промежуток времени t пройти к центру путь $AD = at^2/2$. Очевидно, что эти два продвижения AB и AD нужно сложить по правилу параллелограмма, чтобы получить положение тела в конце промежутка времени t (точка E).

Проведем диаметр через точку A (AF) и соединим точки E и A и E и F прямыми. $\triangle AEF$ прямоугольный, так как угол E — вписанный и опирается на диаметр. Известно, что перпендикуляр, опущенный из вершины прямого угла на гипотенузу, есть средняя пропорциональная между отрезками гипотенузы:

$$\frac{AD}{ED} = \frac{ED}{DF} \quad \text{или} \quad ED^2 = AD(2R - AD)$$

(R — радиус окружности). Но

$$ED = AB = vt, \quad AD = \frac{at^2}{2},$$

и тогда

$$v^2 t^2 = \frac{at^2}{2} \left(2R - \frac{at^2}{2} \right) \quad \text{или} \quad v^2 = \frac{a}{2} \left(2R - \frac{at^2}{2} \right).$$

Но наш вывод верен только приближенно — ведь тело при сложении двух его прямолинейных движений AB и AD будет двигаться по диагонали AE , а не по дуге AE , как это происходит в действительности. Однако, уменьшая промежуток времени t , мы уменьшаем и дугу, и хорду, а главное, разница между ними становится все меньше и меньше и в пределе, когда t станет бесконечно малой величиной, хорда и дуга совпадут. Только тогда мы воспроизведем действительное движение тела, но это значит, что в нашей формуле член $at^2/2$ будет меньше всякой, наперед заданной величины и им мы можем с уверенностью пренебречь. Тогда

$$a \text{ (центростремительное ускорение)} = \frac{v^2}{R}.$$

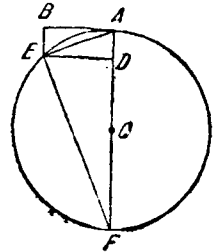


Рис. 44. К выводу формулы центростремительного ускорения.

Физические характеристики комет

1	2	Типы		Голова			Ядро			Орбита кометы		Литература и фамилии исследователей	14
		3	4	Абсолютные яркости	r=1	Абсолютные величины	Поперечник в км	Масса в тоннах	q	e			
											H ₀		
5	6	7	8	9	10	11	12	13					
1	1680	II	E			1 200 000			10,0	4·10 ¹⁸	0,0062	0,99999	Бредихин Ф. А., Untersuchungen etc., стр. 390
2	1811 I	I	E								1,0354	0,99512	Бредихин Ф. А., I. c., стр. 391
3	1843 I	II	E	3,7	4,2	350 000			08,4	2·10 ⁹	0,0055	0,99991	Добролюбова С. С., Бредихин Ф. А., I. c., стр. 391
4	1858 VI	II, I	E, h								0,5785	0,99629	
5	1861 II	I, II,	E								0,8224	0,98508	Филиппов Ю. В., А. Ж., 4, 202, 1927 Орлов С. В., А. Ж., 14, 353, 1937
6	1862 III	I	E								0,9626	0,96035	
7	1880 I	I	E								0,0055	1	Добролюбова С. С., рукопись
8	1881 III	II	E								0,7692	0,99574	
9	1882 II	II, I, II,	E h a	0,8	3,4	590 000			2,5	6·10 ¹⁰	0,0078	0,99991	Бредихин Ф. А., I. c., стр. 406, 467
10	1884 I	II, I	E, h								0,7757	0,95500	
11	1886 I	I, II, II	E								0,6633	1,00038	Бредихин Ф. А., I. c., стр. 370; Воронцов-Вельяминов Б. А., А. Ж., 4, 36, 1927
12	1892 I	I	E, C								1,0268	0,99878	
13	1892 III		N, h								2,1416	0,40917	Орлов С. В., А. Ж., 17, 8, 1940 Бредихин Ф. А., I. c., стр. 382
14	1893 II	I	C								0,0079	1	
15	1893 IV	I	E								0,9891	0,71951	Воронцов-Вельяминов Б. А., А. Ж., 7, 99, 1930 Бредихин Ф. А., I. c., стр. 378; Орлов С. В., А. Ж., 10, 391, 1933
16	1899 I	I	C								0,3266	1,00034	
17	1900 II	I	E								1,0148	1,00033	Водопьянова Т. В., А. Ж., 8, 255, 1933 Моисеев Н. Д., А. Ж., 2, 73, 1925
18	1901 I	II,	N								0,2448	0,99970	
19	1903 IV	I, II,	C								0,3297	1	Егерман Р., Ap. J., 21, 322; Korf A., A. N., 176, 149; Орлов С. В., А. Ж., 8, 2, 1931 Водопьянова Т. В., А. Ж., 9, 177, 1932
20	1905 IV	II									3,3394	1,00105	
21	1907 IV	I, I,	E	3,7	2,7	260 000			0,5	15·10 ⁸	0,5122	0,99879	Орлов С. В., рукопись Орлов С. В., А. Ж., 9, 163, 1932; А. Ж., 5, 193, 1928; А. Ж., 1, 73, 1924.
22	1908 III	I, I,	E	4,3	3,5								
23	1910 I	II, II,	E, a	5,4	4,6	180 000			0,2	4·10 ⁷	0,1290	0,99999	Покровский К. Д., Строение хвоста кометы, 1910 I. Юрьев, 1915 Орлов С. В., А. Ж., 5, 38, 170, 1928
24	1910 II	I, II	E, h	4,0	5,4	290 000	7,1	2	0,6	9·10 ⁸	0,5872	0,9673	
25	1911 V	I	E	5,1	3,2						0,4894	0,9970	Орлов С. В., рукопись Орлов С. В., А. Ж., 1, 69, 1924
26	1914 V	II, I	E								1,1045	1,00016	
27	1924 II	I, II,	C								0,4060	1	Филиппов Ю. В., А. Ж., 2, 66, 1925 Воронцов-Вельяминов Б. А., А. Ж., 6, 65, 1929
28	1925 II	I, II,										1,1094	
29	1925 III	II,									5,5142	0,14224	То же
30	1925 IV	I									1,6332	0,99545	
31	1925 VIII	II,									1,5662	1,00043	То же
32	1925 XII	I									0,7635	1	
33	1932 V	I	C								1,0372	0,97698	Куликовский П. Г., А. Ж., 14, 499, 1932 Ворошилов К. А., А. Ж., 16, 49, 1939
34	1937 V	I	C								0,8628	0,99971	
35	1939	I									0,5283	0,99862	Ворошилов К. А., А. Ж., 20, 60, 1940

Примечание: Более сильный хвост поставлен первым.

ПРЕДМЕТНЫЙ И ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсолютная яркость (блеск) кометы**, 25, 30, 31, 97, 98.
Аномальные кометные хвосты 54, 135, 143, 152.
Астероиды 47, 112 и д.
Астрономическая единица 6
- Белопольский А. А.** 75, 84
Бессель 42, 48
Блеск кометы 22 и д., 26 и д., 29
Бредихин Ф. А. 42, 51, 53 и д., 146 и д.
- Возмущения** 106 и д.
Вольф М. 42, 59
Всехвятский С. К. 26, 29, 30.
- Галилей** 7, 47
Галлей Э. 15, 31 и д.
Галосы 56, 132, 152
Гевелиус 19
Гершель Вильям 41
Головы комет 49, 50, 61 и д., 64 и д., 82 и д., 86, 90 и д., 148, 152.
- Деление комет** 117 и д., 129
Донати 9, 75.
Допплера принцип 160, 161
- Единица астрономическая** 6
- Закон всемирного тяготения** 16 и д., 33
- Кайзера эффект** 78
Кеплер И. 47
Кеплера третий закон 18 и д., 33, 35
Кирхгофа закон 70
Классификация кометных хвостов 51, 53 и д., 146 и д., 150, 151
Клеро 39
Кометоскатели 6, 10
- Лаланд** 39
Лебедев П. Н. 98 и д.
Лучевое давление 98 и д.
- Массы кометных ядер** 93, 97, 98
Метеориты 104, 112 и д., 137, 138 и д.
Метеорные потоки 119, 143
- Нεύимин Г. Н.** 14, 15
Ньютон И. 19, 32 и д., 34 и д., 51
- Облачные образования** 55, 57 и д., 66 и д., 148
Обозначения комет 15
- Оболочки комет** 7, 62, 92, 133
Орбиты астероидов 47
— комет 16 и д., 36, 46, 106 и д., 154
Отгалькивательные ускорения 48, 49 и д., 57 и д., 92, 100, 102 и д., 146 и д., 148
- Периодические кометы** 15, 18, 30, 46
Полосчатые спектры 74, 75 и д., 83 и д.
Поперечники ядер комет 63, 64, 93 и д.
Продолжительность жизни комет 104 и д.
Происхождение комет 7, 30, 106 и д., 111
- Распад комет** 51, 117 и д., 132, 133
- Свана спектр** 61 и д., 74, 75 и д.
Семейства комет 116 и д.
Синдинами 53, 130, 150, 151
Синхроны 55 и д., 150, 151
— концевые 143, 151
— полные 143, 151
Спектр полосчатый 74, 75 и д., 83 и д.
— Рэфети 75 и д., 82
— Свана 61 и д., 74, 75 и д.
— углерода 61 и д., 74 и д.
— циана 75 и д.
Струве В. Я. 41
- Телескопические кометы** 24, 27
Температура ядра кометы 90
Теория головы кометы 90 и д.
— — —, фонтанная 50
— кометных форм механическая 47 и д.
Тихо-Браге 7
- Углерода спектр** 61 и д., 74 и д.
- Физические характеристики комет (таблица)** 162
Фонтанная теория головы кометы 50
Фотометрические параметры кометы 26
Фотометрия комет 22 и д.
- Хвосты комет** 6, 48 и д., 98 и д., 129 и д.
— — —, аномальные 54, 135, 143, 152
— — — I типа 53, 57 и д., 80 и д., 102 и д., 148, 149, 150
— — — II типа 54, 55 и д., 82, 102, 148, 150
— — — III типа 54, 56, 143, 149
- Эксцентриситет кометной орбиты** 17, 20, 35, 108
Эфемерида кометы 6, 21, 22
Ядра комет 6, 63, 82, 93, 132.



1. Комета 1910 I. Фотография Ташкентской обсерватории.



2. Фотография слабой кометы.



26 июля



28 июля



6 августа



20 августа



12 сентября

3. Рисунок головы кометы 1862 III.



1. Комета Галлея 17 мая 1910 г. Рисунок Барнарда (Америка).



2. Фотография кометы Галлея 13 мая 1910 г. Длина хвоста 52° (экспозиция 35 мин.). Справа внизу — планета Венера и полосы от фонарей.



3. Комета Галлея 26 мая 1910 г. Рисунок С. Н. Гросицкого (Армавир).



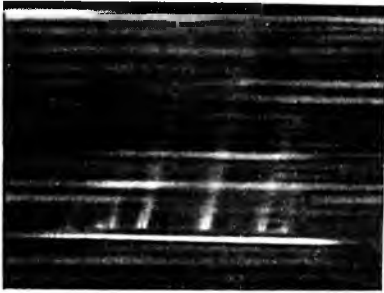
1. Типы кометных хвостов
(по Бредихину).



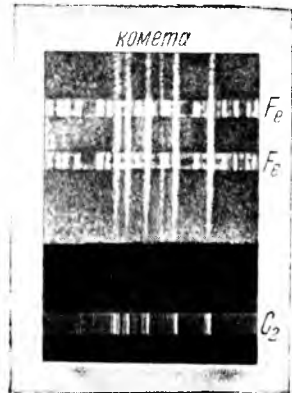
2. Галосы в голове кометы;
Донати (1858 VI).



3. Движение облака в хвосте кометы Галлея (1910 II).



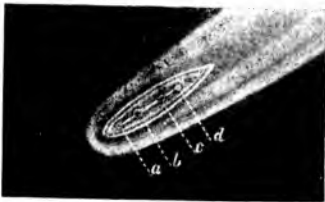
1. Спектр кометы Морхауза (1908 III).



2. Спектрограмма кометы 1911 V, полученная академиком А. А. Белопольским



3. Рисунок головы кометы 1874; видны оболочки, охватывающие ядро.



4. Сложное ядро кометы 1882 II, распавшееся на несколько частей после прохождения кометы через перигелий.



5. Большая комета 1882 II (окт. 19) (рисунок Уиллуса).



Фотография кометы Холмса 10 ноября 1892 г.

Цена 5 руб.

167