

*"Две вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением
и благоговением, чем чаще и продолжительней мы размышляем о них,
- это звездное небо надо мной и моральный закон во мне"*

И.Кант



СОДЕРЖАНИЕ

Обращения к читателю

Николай Николаевич САМУСЬ.....[ОТ РЕДАКТОРА](#)

Астрономия из первых рук

Дмитрий Зигфридович ВИБЕ.....[РОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД](#)

Артур Давидович ЧЕРНИН.....[ЛОКАЛЬНАЯ КОСМОЛОГИЯ](#)

Ольга Касьяновна СИЛЬЧЕНКО.....[О ПРОИСХОЖДЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ](#)

Сергей Валентинович ЖУЙКО, Андрей Карлович ДАМБИС.....[СВЕРХСКОРОСТНЫЕ ЗВЕЗДЫ](#)

Галина Валентиновна ЯКУНИНА.....[ХРОМОСФЕРА СОЛНЦА](#)

Как добываются астрономические знания

Михаил Юрьевич ШЕВЧЕНКО.....[ВУЛКАН: ПЛАНЕТА, КОТОРОЙ НЕ БЫЛО](#)

Астрономия и общество

Андрей Васильевич ФЕСЕНКО.....[«О, КАК Я СЛУШАТЬ ИХ БЫЛ РАД...»](#)

Для начинающих

В.Л. ШТАЕРМАН.....[АСТРОНОМИЯ НА ДЕТСКОЙ ПЛОЩАДКЕ](#)

Фантастика

КАW КАW.....[ЭЛИМИНАТОР ВРЕМЕНИ](#)

Поэзия.....[Алина Иосифовна ЕРЕМЕЕВА](#)



Обращение к читателю

ОТ РЕДАКТОРА

Николай САМУСЬ

Этот выпуск был вчерне готов еще в середине лета, однако по ряду причин он выходит в свет лишь в самом конце 2019 года. Большую помощь в подготовке номера, как всегда, оказала Вера Львовна Штаерман. Благодарю Алексея Пахомова за предоставление превосходных фотографий, три из них вошли в этот выпуск.

Н. Самусь



Венера на Чистых Прудах в Москве. Фото Алексея Пахомова



Астрономия из первых рук

РОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД ¹

Дмитрий Зигфридович ВИБЕ

доктор физико-математических наук, профессор РАН, зав. отделом Института
астрономии РАН

Вопрос когда-то казался нам
Важнейшим на целом свете:
«Послушай, пап, (или, скажем, мам),
Как появляются дети?»

У взрослых другой вопрос чередой
Пылающих букв на стенке.
Вопрос безнадежный, вопрос больной:
Куда деваются деньги?

Забудем про деньги (на краткий миг),
Забудем тоску и прозу
И спросим у космоса напрямик:
Откуда берутся звезды?

В современных городах мы практически лишены зрелища ночного неба. Но если человеку удаётся вырваться подальше от городской засветки, ему открывается зрелище невероятной красоты, которое издавна завораживало людей и пробуждало в них вдохновение. С давних пор люди задавались вопросом не только о том, как расположены светящиеся точки на небе, но и откуда они появились. Переход от мифов к более или менее научной картине произошёл более 400 лет назад благодаря великому физiku и астроному Галилео Галилею, хотя он сыграл в развитии представлений о звёздообразовании скорее отрицательную роль.

Светлая полоса на ночном небе, которая называется Млечным Путём, издавна казалась людям туманной диффузной материей. Но Галилей, направив телескоп на эту полосу, обнаружил, что на самом деле она состоит из огромного количества звёзд, слишком тусклых и близко расположенных друг к другу, так что при наблюдении невооружённым глазом они сливаются в туманную полосу. Тем самым Галилей, казалось бы, доказал, что во Вселенной нет ничего, кроме звёзд, и потому звёздообразование в современную эпоху невозможно – звёздам не из чего образовываться.

Следующий важный шаг в развитии представлений о рождении звёзд сделал другой великий физик, Исаак Ньютон. Конечно, он более известен как создатель закона всемирного тяготения. Но величие Ньютона не только в этом – он объяснил движение планет вокруг Солнца, движение Луны вокруг Земли, природу приливов и отливов. Помимо прочего, он также задался вопросом: откуда могли появиться звёзды? Он понимал, что если мы возьмём Вселенную, равномерно заполненную веществом, и если это вещество будет управляться единственной силой, гравитацией, то такая Вселенная в стабильном устойчивом состоянии существовать не сможет: как только где-то возникнет уплотнение, оно своим тяготением начнёт притягивать окружающее вещество, и всё вещество во Вселенной разобьётся на огромное количество фрагментов. Так могли образоваться неподвижные звёзды и планеты: звёзды из светящегося вещества, планеты – из тёмного. Причины, по которым светится только часть вещества, Ньютон не рассматривал. Понятно, что процесс, описанный Ньютоном, в истории Вселенной мог произойти только однажды. И эта картина совершенно согласовывалась с тем открытием, которое сделал Галилей: во Вселенной не осталось несконденсированного вещества, а есть только звёзды и планеты.

Такое представление продержалось в астрономии примерно до последней четверти XVIII века и постепенно ушло благодаря очередному великому человеку, Вильяму Гершелю, величайшему наблюдателю в истории астрономии, который сам изготавливал телескопы, сам планировал наблюдения, сам эти наблюдения проводил и с великой тщательностью записывал их результаты. Во многом благодаря наблюдениям Гершеля и других его современников, в частности, Шарля Мессье, стало ясно, что помимо звёзд на небе наблюдаются многочисленные туманные пятна, различающиеся по форме и густоте. Изначально Гершель и другие наблюдатели считали, что туманный облик этих пятен — следствие того, что составляющие их звёзды очень далеки от нас. Однако со временем Гершель начал уходить от этого представления, и всё чаще ему казалось, что он наблюдает не далёкие звёздные группировки, а что-то иное, что звёздами не является. И в 1791 году он опубликовал статью, в которой высказал предположение, что белёсое вещество, которое мы наблюдаем в качестве туманностей, есть вещество, из которого некоторые звёзды образуются.

Со временем Гершель попытался даже составить некую эволюционную последовательность этапов образования звезды из различных видов туманностей, которые им наблюдались. Начинается всё с округлой светящейся конденсации, которая потом начинает сжиматься, теряет округлую форму, возникают потоки вещества, которые стекаются в центр на будущую звезду. Если эта туманность

вращается, то потоки закручиваются в спирали вокруг будущей звезды. В конечном итоге мы получаем звезду, вокруг которой по-прежнему осталось немного вещества, не успевшего долететь до звезды. Теперь мы знаем, что связи с реальностью эта последовательность не имеет. Тем не менее, она осталась в истории как первое предположение о том, что звёзды могут рождаться у нас на глазах.

При помощи этих рассуждений была дана первая попытка ответа на ключевой вопрос о том, из какого вещества могут образовываться звёзды. Еще один ключевой аспект этой проблемы был затронут в середине XIX века, когда был сформулирован закон сохранения энергии. И практически сразу же одним из применений данного закона оказалась теория звёздной эволюции. Поскольку звёзды светятся, они теряют энергию и должны неминуемо погаснуть. Поскольку мы их до сих пор видим, запас звёзд как-то пополняется.

Вообще, энергия никуда не девается, она только переходит из одного вида в другой. Применительно к звезде закон сохранения энергии означает, что необходимо найти какую-то другую энергию, которая в результате некоего процесса превращается в тепловую энергию и энергию излучения. Самый простой вид энергии, который можно превратить в тепловую – энергия движения. Физики Кельвин и Гельмгольц предположили, что причиной разогрева звёзд является падение вещества. Если взять в качестве примера Солнце, то на него постоянно падают кометы, метеориты, энергия их движения превращается в тепловую, разогревая Солнце, и мы это свечение видим. То есть, предполагалось, что процесс образования звезды и процесс её свечения неразрывно связаны между собой и происходят одновременно у нас на глазах. Однако эта мысль продержалась недолго, потому что простые оценки показали: если мы собираемся объяснять свечение Солнца падением метеоритов, этих метеоритов должно падать на него столько, что мы видели бы, как они летят туда. Мы этого не видим, соответственно, падающие сейчас метеориты источником энергии Солнца быть не могут. Тогда возникло другое предположение: метеориты падали на Солнце и на все прочие звёзды раньше. Все звёзды переживают этап первичного накопления массы – на них падает вещество, разогревая их до высокой температуры, потом падение вещества заканчивается, и дальше звезда только остывает и светится за счёт того, что отдаёт обратно энергию, накопленную в результате падения первичного вещества.

Теорию этого процесса разработал ещё один знаменитый физик Джеймс Джинс, который, по сути, облёк в численную форму идеи Ньютона. Джинс тоже рассмотрел ситуацию, когда пространство заполнено веществом, и определил, какой массой должны обладать случайно возникающие уплотнения вещества, чтобы их гравитация сжимала их в компактные сгустки. Была определена так называемая критическая масса, которая зависит от температуры вещества и от его плотности. Если масса случайно возникшего уплотнения превышает критическую массу, которая теперь называется массой Джинса, мы получаем сжимающийся сгусток, который в конечном итоге разогреется и превратится в звезду. Кельвин и Гельмгольц рассчитали, как долго может светиться наше Солнце, возникшее в результате такого процесса, разделив гравитационную энергию Солнца на его светимость, то есть на количество энергии, которое Солнце отдаёт ежесекундно. Время получилось достаточно большим, порядка 30 миллионов лет. Это число согласовывалось с тогдашними оценками возраста Земли.

Дополнительную поддержку эта модель получила в начале XX века, когда благодаря работам Эйнара Герцшпрунга и Генри Рассела была построена самая великая диаграмма во всей истории астрофизики – диаграмма Герцшпрунга–Рассела. Герцшпрунг и Рассел обнаружили, что если по оси Y отложить светимость звезды, то есть количество энергии, которое звезда высвечивает в секунду, а по оси X отложить температуру звезды, от самых холодных звёзд с температурой порядка двух тысяч градусов до самых горячих звёзд с температурами в десятки тысяч градусов, то звёзды на этой диаграмме расположатся вдоль диагонали, от ярких горячих к тусклым холодным звёздам. Эту диагональ называют главной последовательностью. И ещё одна последовательность, не столь плотно заселённая, – последовательность красных гигантов. Модель Кельвина и Гельмгольца, модель сжимающихся звёзд, очень хорошо легла на диаграмму Герцшпрунга–Рассела. Звезда, пока на неё продолжает падать вещество, постепенно разогревается. Рождаясь на последовательности красных гигантов, она в процессе разогрева сдвигается по диаграмме Герцшпрунга–Рассела в область более горячих звёзд в верхнем левом углу. В этот момент падение вещества заканчивается, и дальше звезда ведёт пассивную жизнь, постепенно остывая и на диаграмме Герцшпрунга–Рассела спускаясь в правый нижний угол.

Было понятно, что звёзды образуются непрерывно, потому что у них нет бесконечного запаса энергии. Источник энергии тоже был понятен – это гравитационное сжатие. Угадывалась связь исходного материала звезд с материалом туманностей, открытых Гершелем. Казалось, что все вопросы закрыты, осталось только выяснять частности. Однако в 20-е годы XX века целостная картина рухнула, потому что к этому времени появились современные оценки возраста Земли. Геологи при помощи радиоактивной датировки, а также представлений о движениях материков получили удивительный результат: возраст нашей планеты измеряется не десятками, а сотнями миллионов и даже миллиардами лет!

Сложно было предположить, что Земля существует несколько миллиардов лет, а Солнце – несколько десятков миллионов. Возникла необходимость найти для Солнца и других звёзд какой-то иной источник энергии, способный обеспечить светимость Солнца на протяжении миллиардов лет. Для этого предполагаемое топливо должно было обладать огромной теплотворной способностью. Это не могли быть химические реакции. Гравитация тоже «не дотягивала» до нужного уровня. Ответ был найден благодаря работам английского астрофизика Артура Эддингтона – он в конце 1920-х годов сформулировал идею о том, что источником энергии для Солнца и звёзд являются термоядерные реакции, происходящие при слиянии четырех протонов в одно ядро гелия.

Значительный вклад в разработку этой теории, которая сейчас является общепринятой, внесли Роберт Аткинсон и Фриц Хоутерманс: они провели точные расчеты этих реакций. Свой вклад внес и наш бывший соотечественник Георгий Гамов. И в 1930-е годы стала практически общепринятой идея, что Солнце и звёзды черпают свою энергию в превращении водорода в гелий. Из этого вытекало, что звёзды состоят, главным образом, из водорода. Соответственно, если мы утверждаем, что звёзды образуются и сейчас, то у нас помимо звёзд во Вселенной должно быть не просто какое-то вещество, а конкретно водород. Наблюдения того времени рисовали другую картину.

Важнейшую роль в этих работах, как и вообще в астрономии, сыграл спектральный анализ, который был открыт в середине XIX века, когда физик Густав Кирхгоф и химик Роберт Бунзен обнаружили, что при помещении различных веществ в пламя горелки генерируется излучение строго определённых цветов, то есть определённых длин волн – спектральные линии. Причем у каждого химического элемента этот набор линий строго индивидуален. А в начале XIX века было обнаружено, что в спектре Солнца тоже присутствуют спектральные линии. Но это не светлые линии на тёмном фоне, а наоборот, тёмные линии на фоне общего солнечного спектра. И после работ Кирхгофа и Бунзена выяснилось, что они совпадают с линиями, которые наблюдаются в спектрах химических элементов. Стало ясно, что спектральный анализ позволяет, оставаясь на Земле, определять химический состав Солнца и звезд.

В 1904 году было сделано открытие, показавшее, что таким образом можно определять не только химический состав звёзд, но и химический состав межзвёздной среды. Когда мы наблюдаем спектр звезды, только часть этого спектра рождается непосредственно на звезде. Другая часть спектра рождается в межзвёздной среде. Какие-то линии в спектре – это линии звезды, а какие-то линии принадлежат веществу, находящемуся между звездой и наблюдателем. Сделал это открытие Йоханесс Хартман, применивший весьма остроумный способ: он наблюдал двойную звезду Дельта Ориона, компоненты которой в процессе орбитального движения то приближаются к наблюдателю, то удаляются от наблюдателя, и из-за эффекта Доплера спектральные линии перемещаются по спектру, отражая орбитальное движение звёзд. Оказалось, что так себя ведут не все линии. Хартман обнаружил, что некоторые линии в спектре звезды в этой пляске не участвуют, и сделал справедливый вывод, что часть линий рождается в облаке кальциевого пара (Хартман наблюдал линии кальция), которое находится не на звезде Дельта Ориона, а где-то между этой звездой и Землей.

Так был открыт способ анализа межзвёздного вещества. Стало ясно, что в межзвёздной среде содержится кальций. Со временем были открыты линии других металлов, в том числе, натрия, магния. Но не было в числе этих линий линии водорода. Тогда же был окончательно идентифицирован ещё один компонент межзвёздной среды: благодаря американскому астроному Роберту Трюмплеру сформировалось представление, что помимо газа в межзвёздной среде присутствуют также пылинки, состоящие, видимо, из какого-то твёрдого вещества, но не из водорода. И та целостная картина звездообразования, которая выстроилась в начале XX века, к 1930–40-м годам рухнула: звёзды состоят из водорода, а межзвёздная среда – из пыли и металлов, то есть имеет

место кардинальное различие химического состава. Кроме того, по наблюдательным оценкам было понятно, что межзвёздного вещества очень мало. На звёзды его никак не хватало.

Свою роль сыграло и развитие космологии. В то время Эдвин Хаббл провёл наблюдения, которые привели к открытию разбегания галактик, определил возраст Вселенной в несколько миллиардов лет. Земля и Солнце также имели возраст в несколько миллиардов лет, и казалось логичным предположить, что всё мироздание образовалось несколько миллиардов лет назад. Прошел некий катастрофический процесс, который, в любом случае, повторяться уже никогда не будет, и звёзды, единожды родившись несколько миллиардов лет назад, тоже никогда более родиться не будут.

Но в конце 1930-х годов начали появляться указания на то, что водород в межзвёздной среде всё-таки есть, но наблюдать его нужно не в поглощении, а в собственном излучении. Правда, это излучение не очень интенсивно, и потому наблюдать его достаточно сложно. Тем не менее, в 1938 году это удалось сделать, а в 1939 году благодаря Бенгту Стрёмгрену появилось понимание того, что излучение водорода в межзвёздной среде возникает там, где он преимущественно ионизован, то есть в окрестностях горячих звёзд.

Конец представлений о том, что звёзды родились однажды и более не образовывались, наступил в конце 1940-х годов. В это время был сделан ряд важных открытий, связанных со звёздной эволюцией. Прежде всего, астрофизик Виктор Амбарцумян открыл новый вид звёздных скоплений – ассоциации. Они, в отличие от «обычных» звёздных скоплений, гравитационно не связаны, то есть находятся в состоянии распада. И тот факт, что мы всё ещё видим их как скопления, означает, что составляющие их звёзды сформировались совсем недавно. В это же время совершенствовались модели звёздной эволюции. В результате моделирования выяснилось, что звёзды, по массе значительно превышающие Солнце, живут существенно меньше, чем Солнце. То есть, если Солнце живёт порядка 10 миллиардов лет, то более массивные звёзды могут жить только десятки миллионов лет или даже просто миллионы лет. И если мы сейчас наблюдаем массивные звёзды, они родились не более нескольких миллионов лет назад. Стало понятно, что звёзды рождаются и в настоящую эпоху. Хотя остался открытым вопрос, из чего они рождаются.

В конце 1940-х годов было опубликовано несколько работ о том, что звёзды могут образовываться из пыли. К тому времени обнаружили достаточно много мелких пылевых облачков, которые называли глобулами. Появилось предположение, что давление излучения окрестных звёзд сдавливает эти пылевые облака, делая их гравитационно неустойчивыми, и они, в конце концов, под воздействием собственного тяготения падают сами на себя, превращаясь в звёзды. Но были две проблемы, связанные с этой гипотезой. Во-первых, пыль всё-таки не водород. То есть, оставалась проблема химического состава. Во-вторых, для этого механизма требовалось изначально присутствие каких-то других звёзд, которые своим излучением сжимают глобулы. Как появились эти звёзды?

Эта гипотеза продержалась недолго. Буквально через несколько лет, в 1951 году было сделано открытие, которое перевернуло наше представление о составе межзвёздной среды. Оно произошло благодаря бурному послевоенному развитию радиоастрономии. Формально радиоастрономия появилась в 1933 году стараниями американского инженера Карла Янского. Но Янский провёл за всё время одно единственное наблюдение. Исследуя источник помех для трансатлантической связи, он обнаружил, что некоторые из этих помех приходят из космоса. Теперь мы знаем, что это было излучение центра Галактики, а Янский, помимо самого факта обнаружения этого источника, никуда не продвинулся. И очень долгое время, до окончания Второй мировой войны, радиоастрономия никакого развития не имела. Но после окончания войны освободилось достаточно много радаров, которые во время войны использовались для слежения за авиацией противника. И значительная часть этих радаров была перекалибрована в радиотелескопы. Еще один важный шаг в развитии радиоастрономии был сделан в 40-е годы голландцем Хендриком ван де Хюлстом и нашим соотечественником Иосифом Самуиловичем Шкловским, которые высказали предположение, что водород, невидимый в оптическом диапазоне, может быть хорошо виден при наблюдениях в радиодиапазоне. Они рассчитали, что межзвёздный водород должен являться источником излучения на длине волны 21 см. И в 1951 году это излучение было обнаружено Харольдом Юэном и Эдвином Парселом. Они установили, что невидимый в оптике, но видимый в радиодиапазоне водород – это не просто существенный элемент межзвёздной среды. Это её главный элемент. Итак, в 1939 году было высказано предположение о том, что существует ионизованный водород. В 1951-ом появилось доказательство того, что в межзвёздной среде существует атомарный водород. А в 1955-ом

прозвучала мысль о том, что в наиболее плотных и холодных областях межзвездной среды существует молекулярный водород. Помимо газа, в состав межзвездной среды входит пыль.

Это четыре основных ингредиента, из которых, по современным представлениям, состоит межзвездная среда и из которых, в конечном итоге, рождаются в настоящую эпоху звёзды. Кроме того, по современным представлениям, межзвездная среда нашей Галактики состоит из трёх фаз: горячая фаза с очень малой плотностью, тёплая фаза с плотностью порядка нескольких десятых частицы на кубический сантиметр и температурой около 10 тысяч Кельвинов и холодная фаза, отчасти атомарный водород, отчасти молекулярный водород. Эта фаза обладает существенно более низкими температурами, десятки Кельвинов и ниже, и плотностями, которые варьируются от десятков частиц в кубическом сантиметре и до существенно больших значений. На долю холодной фазы приходится примерно половина всей массы межзвездного вещества в Галактике, но при этом оно занимает очень небольшую долю объёма галактического диска. И распределено молекулярное плотное вещество по Галактике очень неравномерно.

Итак, появилось понимание, что звёзды должны образовываться сейчас и что звёздам есть из чего образовываться. Осталось выяснить, как это происходит? Важную роль в понимании этого сыграл Ричард Ларсон, который одним из первых провёл численное моделирование рождающейся звезды. В общих чертах картина получилась примерно такая: сначала в молекулярном облаке возникает плотный сгусток, который под действием собственной гравитации начинает медленно стягиваться «в точку». До определённого момента никакой звезды внутри этого сгустка нет, но сжатие вызывает его разогрев, внутри нарастает температура, и, в конечном итоге, в центре сгустка появляется протозвезда. Этот объект начинает светиться в инфракрасном диапазоне, и мы должны искать его как яркий компактный инфракрасный источник. В поисках таких источников огромную роль сыграл инфракрасный космический телескоп IRAS, который несколько месяцев проработал в космосе в 1983 году. По результатам его работы был составлен гигантский каталог точечных источников, включающий в себя несколько сотен тысяч объектов. И очень большое количество точечных источников, которые были обнаружены спутником IRAS, представляют собой протозвёзды – будущие звёзды, которые, действительно, рождаются в молекулярных облаках.

Первой загадкой рождения звёзд стало то, что массы молекулярных облаков существенно превышают массу Джинса, и потому реальная скорость звездообразования должна быть существенно выше наблюдавшейся. Чтобы молекулярные облака не сжимались, должен существовать какой-то дополнительный противодействующий фактор, на роль которого было предложено магнитное поле. Сочетание гравитации и магнитного поля, которые считались управляющими силами звездообразования, привело к созданию «стандартной» модели звездообразования. В рамках этой модели главную роль в образовании звёзд играет не гравитация, а магнитное поле. Молекулярные облака замагничены, магнитное поле не даёт им сжиматься, заставляет их жить долго, и даже в тех случаях, когда в них проявляются случайные сгустки, процесс сжатия под воздействием тяготения проходит очень медленно. То есть, сгусток живёт долго, сжимается с очень небольшой скоростью, и только значительное время спустя после его образования в нём загорается инфракрасный источник – протозвезда. Эти сгустки в изобилии наблюдались и в молекулярном излучении, и в тепловом излучении пыли. Их называют ядрами молекулярных облаков. Те из них, в которых нет инфракрасных источников, называются дозвёздными ядрами. Те, в которых есть инфракрасные источники, называются протозвёздными ядрами.

В описании индивидуальных ядер стандартная модель вполне преуспела. Наблюдения молекулярных линий позволяют определить скорости сжатия этих облаков. Скорости оказываются очень маленькими, порядка десятков, максимум, сотен метров в секунду. То есть всё, действительно, происходит очень медленно. Исследования молекулярного состава этих ядер позволяют определить их химический возраст, то есть время, которое нужно для формирования данного молекулярного состава. Это время тоже оказывается достаточно продолжительным, порядка миллионов лет.

У «стандартной» модели возникают проблемы, когда ученые пытаются от описания отдельных ядер перейти к описанию их ансамбля. Потому что, если предположить, что ядро живёт очень долго, до того момента, когда в нём загорается инфракрасный источник, то ядер без инфракрасных источников должно быть гораздо больше, чем ядер с инфракрасными источниками. Наблюдения дают другую картину: дозвёздных и протозвёздных ядер в разных областях звездообразования примерно поровну. Это означает, что до загорания инфракрасного источника будущая звезда живёт примерно столько же времени, сколько после этого загорания. Ещё одна проблема – статистические

исследования областей звездообразования показывают, что звёзды должны образовываться очень быстро. При медленном звездообразовании мы должны видеть много молекулярных облаков, в которых звездообразования нет, и мало – в которых оно уже происходит. На самом деле, в окрестностях Солнечной системы почти нет ни одного молекулярного облака, в котором бы не было звездообразования.

Складывается впечатление, что звездообразование начинается сразу же после того, как образовалось молекулярное облако. С другой стороны, мы не видим областей звездообразования, в которых были бы звёзды с возрастами больше нескольких миллионов лет. То есть, во всех существующих молекулярных облаках звездообразование началось не позднее нескольких миллионов лет назад. Это означает, что молекулярные облака живут очень недолго, то есть звездообразование, по статистической информации, должно быть очень быстрым процессом. Поэтому сейчас вместо «стандартной» модели широко распространена гравитурбулентная модель, согласно которой звездообразованием управляет не магнитное поле, а турбулентность в молекулярных облаках, то есть происходящие в них хаотические движения. В результате потоки вещества сталкиваются, уплотняются, быстро формируется звёздное ядро, которое сжимается, загорается звезда и своим излучением раздувает остатки вещества. Всё заканчивается за несколько миллионов лет, а не за десятки миллионов лет, как в «стандартной» модели. В гравитурбулентной модели роль магнитного поля либо вообще отсутствует, либо незначительна. Но у гравитурбулентной модели есть свои трудности. В наблюдаемых дозвёздных ядрах никаких быстрых движений не наблюдается. С другой стороны, трудно представить, что, если два сверхзвуковых потока вещества столкнулись между собой и образовали ядро, в этом ядре нет никаких хаотических движений. Это противоречие в рамках гравитурбулентной модели пока объяснения не находит.

Решение этой проблемы ищется сейчас путем объединения двух моделей. Природа не обещала нам, что рождение звёзд будет управляться каким-то одним механизмом: либо магнитное поле, либо турбулентность. Вполне может действовать и то, и другое. Поэтому сейчас модели звездообразования комбинированные, в которых учитывается и магнитное поле, и турбулентность. При этом магнитное поле хорошо в тех случаях, когда нужно описать свойства индивидуальных дозвёздных ядер. Турбулентность хороша в тех случаях, когда нужно описать свойства ансамбля будущих звёзд. Удобство «стандартной» модели состояло в том, чтобы каждое дозвёздное ядро можно было моделировать индивидуально, не рассматривая его окружение. Учет турбулентности приводит к необходимости моделировать эволюцию всего молекулярного облака. А эволюция молекулярного облака не происходит в отрыве от эволюции всей галактики. Чтобы описать рождение отдельной звезды, надо описать рождение звёздного скопления. А для получения толкового представления об этом процессе нужно рассматривать галактику целиком. Подобные расчеты весьма непросты, однако очевидно, что дальнейшее развитие теории звездообразования будет происходить именно в этом направлении.

¹ Статья опубликована в журнале «Знание–Сила» № 2 за 2019г., публикуется с разрешения редакции. Эпиграф – стихотворение автора, в журнале «Знание–Сила» не публиковавшееся.



ЛОКАЛЬНАЯ КОСМОЛОГИЯ

Артур Давидович ЧЕРНИН

доктор физико-математических наук, профессор, ГАИШ МГУ

От редакции. В 2018 г. вышла в свет книга Я.Эйнасто и А.Д.Чернина «Темная материя и темная энергия».

Книга состоит как бы из двух частей. Первая часть, написанная советским и эстонским астрономом, академиком Эстонской академии наук Яном Эйнасто, посвящена поискам закономерностей распределения галактик во Вселенной и так называемой темной материи. Темная материя (или скрытая масса) не участвует ни в каких взаимодействиях, кроме гравитационного, не рассеивает и не поглощает свет и обнаруживает себя только по многочисленным косвенным признакам и создаваемым ей гравитационным эффектам.

В 1922 году астрономы Д. Джинс и Я. Каптейн, исследуя движение звезд в Галактике, пришли к выводу, что большая часть вещества в галактике невидима; в этих работах, вероятно, впервые появился термин «тёмная материя» (*dark matter*). Широкое распространение термин получил после работ Фрица Цвикки 1933 г. Он измерил лучевые скорости восьми галактик в скоплении Кома и обнаружил, что для устойчивости скопления приходится предположить, что его полная масса в десятки раз больше, чем масса входящих в него звёзд. Вскоре другие астрономы пришли к таким же выводам для многих других галактик. Начиная с 1960-х годов, количество аргументов в пользу существования тёмной материи быстро росло. При этом оценки её параметров, полученные из разных источников и разными методами, в целом согласуются между собой. Однако природа темной материи по-прежнему остается неизвестной.

Вторая часть книги, написанная д.ф.-м.н., профессором А.Д. Черниным, посвящена всемирному антитяготению, создаваемому так называемой темной энергией.

На основе изложенного в этой части книги материала и написана предлагаемая читателю статья.

ЛОКАЛЬНАЯ КОСМОЛОГИЯ

Сила, что движет мирами – так говорили о тяготении со времен ньютоновских «Начал», и ничто, казалось, не могло поколебать этого общего убеждения. Но в 1998–1999 гг. выяснилось, что динамикой Вселенной управляет не тяготение, а совсем иная сила – космическое отталкивание, или антитяготение. Антитяготение действует на разбегающиеся галактики и стремится еще более отдалить их друг от друга. Из-за этого расширение Вселенной происходит с ускорением. Ускоренное космологическое расширение было обнаружено в прямых астрономических наблюдениях на расстояниях в несколько миллиардов световых лет, почти у края видимой Вселенной.

Ускорение указывает на силу, которая определяет движение тел. Этой силой не может быть притяжение космических тел друг к другу: взаимное тяготение галактик способно лишь тормозить их разбегание. А ускорять это движение может сила противоположного знака – она и называется всемирным антитяготением. Физический источник антитяготения – темная энергия, которая проявляет себя в мире только благодаря своему свойству создавать антитяготение. В остальном она невидима и неуловима: она не излучает, не поглощает, не рассеивает свет. По макроскопическим свойствам темная энергия подобна особому рода сплошной среде с положительной плотностью и отрицательным давлением. Что касается физической природы и микроскопической структуры темной энергии, то они остаются полностью неизвестными.

Гипотеза об универсальном космологическом отталкивании была выдвинута Эйнштейном в 1917 г., когда он впервые применил только что созданную им общую теорию относительности к задаче о мире как целом. В простейшей (и, как кажется, самой правдоподобной) ее интерпретации темная энергия связывается с космологической постоянной Эйнштейна. Эйнштейновское антитяготение представлено и описано в общей теории относительности всего одной величиной – космологической постоянной Λ , которая всюду и везде одинакова.

В 1965 г. Эраст Борисович Глинер, выпускник Ленинградского университета, незадолго до того принятый в Теоретический отдел Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе АН СССР

(Физтех), опубликовал в одном из лучших физических журналов страны, «Журнале экспериментальной и теоретической физики» (ЖЭТФ), статью под названием «Алгебраические свойства тензора энергии-импульса и вакуумоподобное состояние вещества». В этой статье была дана физическая интерпретация космологической постоянной Эйнштейна и выдвинута гипотеза о физической природе Большого Взрыва. По Глинеру, вначале во Вселенной был вакуум, описываемый космологической постоянной. Из первичного вакуума рождалось вещество, и оно расширялось под действием антигравитации вакуума. Так возникло наблюдаемое космологическое расширение.

Вакуум Эйнштейна – Глинера

Э.Б. Глинеру принадлежат по меньшей мере два научных результата, вошедшие в золотой фонд современной космологии. Во-первых, это физическая интерпретация космологической постоянной и гипотеза о природе космологического расширения. Скажем об этом немного подробнее.

Космологическая постоянная – изобретение Эйнштейна. В 1917 г. он включил ее в математическую структуру своей общей теории относительности, причем сделал это в исключительно простой и элегантной форме. Но что она означает по существу? Какая физика стоит за ней? На этот счет не было дано никаких разъяснений или толкований.

Понимание физической сути космологической постоянной складывалось постепенно, десятилетие за десятилетием, начиная с работ В. де Ситтера, Ж. Леметра, Р. Толмена. Решающее слово было сказано Глинером в 1965 г. В его интерпретации эта величина описывает универсальный космический вакуум, создающий всемирное антитяготение. Сейчас это представление является общепринятым.

Различных вакуумов в физике немало; это и «технический» вакуум, и истинный, и ложный, и квантовый вакуум, и т.д. Будем для определенности называть космическую среду, о которой идет речь, вакуумом Эйнштейна–Глинера, или ЭГ-вакуумом. ЭГ-вакуум – особая, не известная до того в физике сплошная среда. Она невидима, не излучает и не поглощает света, не рассеивает его.

Но это не пустота, ЭГ-вакуум обладает отличной от нуля энергией. Его энергия однородно, идеально равномерно заполняет все пространство Вселенной. Плотность энергии вакуума (то есть его энергия, приходящаяся на единицу объема) всюду одинакова и не меняется со временем. ЭГ-вакуум имеет также отличное от нуля давление, причем связь между давлением и плотностью энергии – то, что называют уравнением состояния среды, – такова: давление есть плотность энергии, взятая со знаком минус. (Обе величины имеют одинаковую физическую размерность.) Плотность энергии вакуума положительна; значит его давление отрицательно. Само по себе отрицательное давление не так уж необычно; например, давление отрицательно внутри растянутого резинового жгута или во всесторонне растянутой стальной болванке. Но ни в одной среде, кроме вакуума, отрицательное давление не равно по абсолютной величине плотности энергии.

Из уравнения состояния вакуума вытекают два важнейших его свойства.

Во-первых, ЭГ-вакуум обладает основным механическим свойством вакуума: движение и покой относительно него неразличимы (как и в случае тривиальной пустоты). Об этом можно еще, например, сказать так. Пусть имеются два тела (или две системы отсчета), которые произвольно движутся относительно друг друга. Но относительно вакуума оба тела (или обе системы отсчета) всегда покоятся. Вакуум – среда, которая сопутствует любому движению. Ясно, что по этой причине он сам не может служить системой отсчета. По той же причине плотность энергии вакуума одинакова во всех системах отсчета, как бы они ни двигались друг относительно друга в пространстве. Так что вакуум всегда, везде и в любой системе отсчета один и тот же по всем своим свойствам.

Во-вторых, ЭГ-вакуум создает не тяготение, а антитяготение, всеобщее отталкивание во Вселенной. Дело в том, что, согласно общей теории относительности, способность однородной среды создавать тяготение определяется не только ее плотностью (как в теории тяготения Ньютона), но еще и давлением. «Эффективная гравитирующая плотность энергии» в космологии дается комбинацией этих двух величин: она равна плотности энергии плюс три величины давления. Для вакуума с его особым уравнением состояния эта сумма отрицательна. Вот почему ЭГ-вакуум – в отличие от всех других сред в природе – создает не тяготение, а антитяготение.

Сегодня этот круг идей неожиданно оказался в центре самых оживленных дискуссий, теоретических и наблюдательных исследований в фундаментальной физике, космологии и астрономии. В 1998–1999 гг. две международные группы астрономов-наблюдателей, одной из которых руководили Брайан Шмидт и Адам Райэсс, а другой – Сол Перлматтер, сообщили, что космологическое расширение происходит с ускорением. Прежде считалось, что разбегание галактик может только замедляться со временем под действием их собственного тяготения. Но ускорение означает, что в природе имеется не только всемирное тяготение, но и всемирное антитяготение, которое к тому же преобладает над тяготением в наблюдаемой Вселенной. Антитяготение создается не галактиками, а некоей особой космической средой, в которую все они погружены.

Дальнейшие исследования показали, что лучше всего на роль такой среды подходит ЭГ-вакуум. Действительно, все (!) свойства ЭГ-вакуума, о которых говорил и писал Глинер, находят замечательное соответствие и полное подтверждение в астрономических наблюдениях. Это в первую очередь относится к ключевой характеристике ЭГ-вакуума – его уравниванию состояния. Согласно всему комплексу имеющихся на сегодняшний день космологических данных, отношение давления вакуума к его плотности есть минус единица (как у Глинера – см. выше) и притом с очень высокой для такого рода измерений точностью – до 3–4 процентов.

Как это нередко бывает в жизни науки, для вновь открытого феномена тут же придумали и новое название – «темная энергия». Так теперь чаще всего называют наблюдаемый ЭГ-вакуум. На долю темной энергии приходится около трех четвертей всей энергии (или массы) наблюдаемой Вселенной. Так что это основной ингредиент «космической смеси». За открытие ускоренного расширения Вселенной три названные выше астронома получили Нобелевскую премию 2011 года.

Другой важнейший результат Э. Глинера – его идея первичного вакуума. Она не нашла еще наблюдательного подтверждения. Ее теоретическая разработка затруднена тем обстоятельством, что «стандартная» фундаментальная физика не применима в крайне необычных условиях очень ранней Вселенной. Так что всем, кто работает в этом направлении, приходится волей-неволей прибегать к далеко идущим экстраполяциям и порой совершенно произвольным предположениям о физических законах, действовавших в начале космологической эволюции (последнее относится прежде всего к упомянутым выше инфляционным сценариям). По этим причинам не будем здесь входить в детали, скажем только о главном.

Согласно Глинеру, первичный вакуум обладал всеми описанными выше свойствами ЭГ-вакуума. Но в самой ранней истории мира его плотность энергии была на множество порядков величины больше того значения, которое нашли астрономы-наблюдатели на нынешней фазе космологической эволюции. Изначальный сверхплотный вакуум создавал антитяготение огромной силы. Поэтому он был способен эффективно разгонять вещество, которое рождалось из него и двигалось на его фоне. Вещество быстро приобретало колоссальные скорости разлета. Таков предложенный Э. Глинером физический механизм Большого Взрыва: за мельчайшие доли секунды сверхплотный первичный вакуум породил вещество Вселенной и заставил это вещество расширяться.

Было бы исключительно интересно выяснить, существует ли связь (эволюционная?) между гипотетическим первичным вакуумом и тем реальным вакуумом – темной энергией, что наблюдают астрономы в сегодняшней Вселенной через 14 миллиардов лет после Большого Взрыва.

Сила антитяготения имеет знак, противоположный знаку ньютоновской силы и не уменьшается, а линейно возрастает с увеличением расстояния.

Так как сила тяготения убывает, а сила антитяготения возрастает с увеличением расстояния R , тяготение преобладает на малых расстояниях, а антитяготение – на больших. Поэтому малое R соответствует (для данных частиц) ранним космологическим временам, а большое – поздним. При малых временах сильнее тяготение, а при больших – антитяготение.

Момент нулевого тяготения

В первой релятивистской космологической модели – построенной Эйнштейном статической модели мира – существовал неизменный во времени баланс тяготения и антитяготения. На ньютоновском языке сил притяжения и отталкивания этот баланс выражается уравнение $F_N + F_E = 0$. (Здесь F_N – ньютоновская сила тяготения, создаваемая веществом и описываемая законом обратных квадратов; F_E – эйнштейновская сила антитяготения.) Из равенства нулю суммы сил следует

статичность мира. При этом плотности вещества и вакуума связаны простым и неизменным во времени соотношением $\rho_M = 2\rho_V$.

В реальном расширяющемся мире, который описывается моделью Фридмана, баланс сил тоже возможен, но этот баланс существует не вечно, а только один миг.

Так как плотность вакуума постоянна, а плотность нерелятивистского вещества (темная материя и барионы) убывает из-за космологического расширения, соотношение $\rho_M = 2\rho_V$ выполняется только в тот момент, когда изначально высокая плотность вещества понижается в ходе расширения до значения $2\rho_V$. В этот момент ускорение космологического расширения обращается в нуль, а скорость расширения проходит через минимум. После этого ускорение из отрицательного становится положительным, и скорость начинает возрастать.

Можно ли из наблюдений определить момент, когда тяготение становится нулевым? Да, если удастся проследить за поведением ускорения во времени и найти момент смены его знака.

В наблюдениях сравнительно нетрудно измерить скорости разбегания галактик. Их находят по красному смещению в спектрах галактик, которое возникает при распространении света в расширяющейся Вселенной (в приближении скоростей, не слишком близких к «скорости света в вакууме», оно описывается как эффект Доплера). Красным смещением называют и само это явление, и характеризующую его величину $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$, где λ – регистрируемая длина волны спектральной линии, а λ_0 – длина волны той же линии, известная по лабораторным измерениям. Если скорости малы по сравнению со скоростью света, связь между скоростью и красным смещением проста: $V = z$. Красное смещение используется в космологии и как мера времени: чем больше z , тем больше расстояние и, следовательно, тем глубже в историю мира проникают астрономические наблюдения.

Однако закон Хаббла ничего не говорит об ускорении: приближение, в котором он получен, к ускорению не чувствительно. Лишь для немалых красных смещений связь между скоростью и красным смещением зависит не только от скорости, но и от ускорения. Если в наблюдениях удастся заметить отклонения от линейного закона $V = z = HR$, появляется возможность по величине и знаку этого отклонения судить об ускорении. Допустим, обнаружилось отклонение в сторону увеличения расстояния при заданном z . Тогда ускорение положительно. При отклонении в сторону уменьшения расстояний ускорение отрицательно.

Расстояние оценивают по яркости источника. Яркость, очевидно, тем слабее, чем дальше источник. Если яркость оказалась меньше, чем при оценке по закону Хаббла, значит, при прочих равных условиях, расстояние больше, чем ожидалось. Но отклонение расстояния в сторону увеличения соответствует, как только что было сказано, положительному ускорению. Поиск этого эффекта привел наблюдателей к открытию антитяготения.

Систематические наблюдения начались еще в 1988 г. Две группы ученых наблюдали вспышки сверхновых на красных смещениях, приближающихся к единице. Яркость сверхновых в максимуме блеска очень высока, так что в течение нескольких дней или недель они излучают столько света, сколько целая галактика, а то и больше. Значит, сверхновые могут быть видны на больших расстояниях – а именно там и следует искать отклонений от закона Хаббла.

Сверхновые подразделяют по характеру их спектров на два типа. Сверхновые с яркими линиями водорода относят к типу II, сверхновые с недостатком водорода – к типу I. Сверхновые типа I, как правило, ярче. Их подразделяют, в свою очередь, на подтипы Ia и Ib. Считается, что сверхновые типа Ia возникают при катастрофическом термоядерном взрыве углеродно-кислородного белого карлика.

В космологических исследованиях используются сверхновые типа Ia. Как заметил тридцать лет назад Ю.П. Псковский (ГАИШ МГУ), они, по-видимому, лучше всего подходят для космологических наблюдений. Во-первых, сверхновые типа Ia являются очень яркими (их звездная величина равна -19), уступая в этом отношении только самым крупным галактикам (-22) и квазарам (-25). Во-вторых, их собственная светимость в максимуме блеска может быть восстановлена по характеру наклона наблюдаемой кривой блеска (зависимости блеска звезды от времени). В-третьих, имеются основания предполагать, что происшедшие в разное космологическое время вспышки должны не очень сильно различаться (то есть космологическая эволюция этой популяции объектов не должна быть очень существенной). Все это позволяет наблюдателям, со всеми оговорками и предосторожностями, использовать сверхновые типа Ia как «стандартные свечи».

Первая группа опубликовала результаты своих наблюдений 16 вспышек сверхновых нужного типа на сравнительно больших красных смещениях в 1998 г. На следующий год вторая группа

опубликовала свою статью по 42 сверхновым, только 2 из которых были в списке объектов, исследовавшихся первой группой. Результат работы обеих групп был одинаков: наблюдаемая яркость далеких сверхновых систематически слабее, чем можно было бы ожидать согласно предположению о нулевом (и, тем более, отрицательном) ускорении. То есть, космологическое расширение происходит с положительным ускорением. Следовательно, на разбегающиеся галактики действует антитяготение, которое должно быть сильнее тяготения вещества. На основании этих наблюдений была сделана ориентировочная оценка красного смещения, при котором существует баланс тяготения и антитяготения.

Так стала известна величина $z_v \sim 0,7$, при которой выполняется условие нулевого тяготения. При $z > z_v$, то есть до момента установления нулевого тяготения, Вселенная расширялась с замедлением; после этого момента ускорение стало положительным. Зная величину z_v , а также современную плотность вещества и закон, по которому эта плотность изменяется со временем, можно найти плотность темной энергии $\rho_v = \frac{1}{2}\rho_m(z=0)(1+z_v)^3$.

Используя фридмановскую космологическую модель с известными плотностями вещества и темной энергии, можно найти расстояние, соответствующее красному смещению z_v . Оно, как оказалось, составляет 7 – 8 млрд световых лет, или $(2-3) \times 10^3$ Мпк. То есть нулевое ускорение имело место при возрасте Вселенной 7 – 8 млрд лет. Так как возраст современного мира составляет примерно 14 млрд лет, выходит, история Вселенной делится на две почти равные части: в первую половину ее истории преобладало тяготение темного вещества, барионов и излучения, во вторую – антитяготение темной энергии.

Темная энергия в ближней Вселенной

Эйнштейн считал, судя по некоторым его отрывочным высказываниям, что космологическая постоянная описывает глобальный феномен, который способен проявиться лишь в динамике общего космологического масштаба. Однако вскоре после открытия темной энергии было замечено, что антитяготение способно в действительности управлять движением галактик чуть ли не во всем диапазоне космических масштабов – от глобальных, «истинно космологических», до масштабов всего в несколько мегапарсек – практически везде, где реально наблюдается разбегание галактик по закону Хаббла. В частности, антитяготение доминирует и в нашем ближайшем галактическом окружении на расстоянии всего в 1 – 2 Мпк от Млечного Пути.

Уже из первых данных Хаббла 1929 г. (после исправления в них систематической ошибки) видно, что регулярный поток разбегающихся галактик берет начало на расстоянии 1 – 2 Мпк от нас. Этот ближайший участок потока вызывает по понятным причинам особый интерес. В последние 10 лет хаббловский поток на расстоянии 1 – 7 Мпк стал предметом тщательных наблюдательных исследований, проводимых группой И.Д. Караченцева с использованием космического телескопа «Хаббл» (более 300 орбитальных периодов) и других крупных инструментов, включая шестиметровый телескоп Специальной астрофизической обсерватории РАН. Для более чем 300 ближайших галактик Караченцевым и его сотрудниками проведены измерения скорости с ошибкой не более 1–2 км/с и получены оценки расстояния с ошибкой не более 8–10%. Эти обширные и высокоточные наблюдения впервые позволили получить ясное представление о кинематике хаббловского потока расширения вокруг нашей Галактики Млечный Путь и Местной Группы галактик, в которую входит наша Галактика.

Вместе с Галактикой Местную Группу образует другая гигантская галактика – Туманность Андромеды. Каждая из этих двух галактик-гигантов обладает протяженным массивным гало, заполненным темной материей. Галактики движутся навстречу друг другу со скоростью 110 км/с; в современную эпоху расстояние между ними составляет 0,7 Мпк. В состав Местной Группы входят также примерно 50 относительно мелких галактик-карликов, движущихся в гравитационной потенциальной яме, создаваемой главным образом тяготением двух галактик-гигантов. Группа как целое является гравитационно связанной и квазистационарной. Ее полная масса оценивается, согласно Караченцеву, величиной $M_{LG} = (1,3 \pm 0,3) \times 10^{12} M_{\odot}$ (заметим, что это рекордная по точности оценка массы в астрономии галактик и их систем).

Вокруг Местной Группы, до расстояния в 3 Мпк от ее центра масс, наблюдаются 22 галактики (карликовые), которые движутся от центра группы и образуют местный хаббловский поток (рис. 1). Поток подчиняется закону Хаббла: скорость потока пропорциональна расстоянию начиная

приблизительно с расстояний 1,5–2 Мпк от центра масс Местной Группы. На рис. 2 и 3 показаны примеры галактик Местной Группы и хаббловского потока.

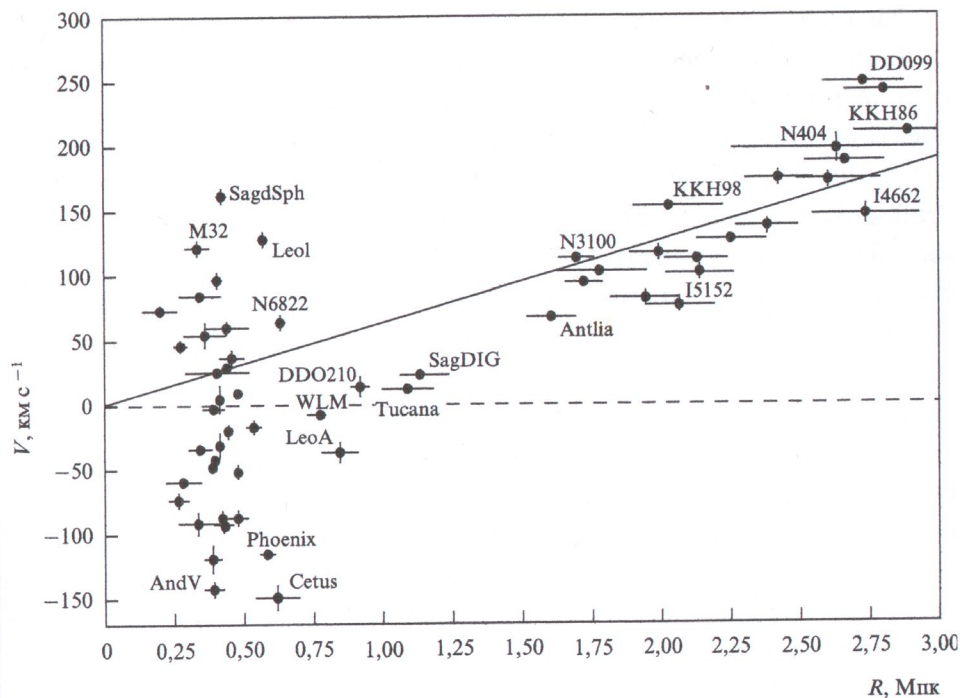


Рис. 1. Диаграмма скорость-расстояние для галактик на расстоянии до 3 Мпк. Каждая точка отвечает галактике с измеренным расстоянием и лучевой скоростью в системе отсчета, связанной с центром Местной группы. Данные получены И.Д. Караченцевым и его сотрудниками в 2002–2007 гг. по наблюдениям на космическом телескопе «Хаббл». На диаграмме видны две четко различающиеся между собой структуры – Местная Группа и местный поток разбегания галактик. Галактики Местной Группы занимают объем радиусом 1.2–1.3 Мпк и движутся в направлении как от центра (положительные скорости), так и к центру (отрицательные скорости). Эти галактики образуют гравитационно связанную квазистационарную систему. Галактики местного потока находятся вне группы и движутся от центра (положительные скорости). Скорости убегания возрастают с увеличением расстояния в соответствии с законом Хаббла. Прямая линия – теоретическая зависимость $V=H_0R$; для области вне группы она соответствует радиальному движению разбегающихся галактик под действием антитяготения темной энергии в пренебрежении тяготением группы. Видно, что галактики потока «чувствуют» эту асимптотическую зависимость и, в общем, неплохо следуют ей даже на небольших расстояниях.

Обсудим динамику ближайшего объема мира. Местная Группа и хаббловский поток вокруг нее погружены в однородное распределение темной энергии. Галактики потока практически не взаимодействуют между собой, а их полная масса гораздо (по крайней мере, в 100 раз) меньше массы Местной Группы, так что карлики потока можно рассматривать как легкие «пробные частицы». Галактики-карлики движутся на статическом динамическом фоне, который складывается из ньютоновского притяжения к Местной Группе и эйнштейновского отталкивания от нее, производимого темной энергией. Такая локальная ячейка радиусом 3 Мпк изолирована (более или менее) от остального галактического окружения, так что внешним воздействием на нее в первом приближении можно пренебречь. Допустимо и еще одно упрощение: при рассмотрении динамики потока Местную Группу можно рассматривать как сферическую массу.

Когда поля тяготения / антитяготения можно считать слабыми (а это как раз тот случай, который сейчас нас должен интересовать), отклонения от галилеевой метрики малы и в таком приближении задаются ньютоновским гравитационным потенциалом $U(r)$.



Рис. 2. Карликовая неправильная галактика NGC 6822 принадлежит Местной Группе.

В космологической задаче ньютоновская сила тяготения, создаваемая веществом и описываемая законом обратных квадратов и создаваемая ЭГ-вакуумом эйнштейновская сила антитяготения определены в пространстве, однородно заполненном веществом и темной энергией, а в локальной задаче – в пространстве, заполненном лишь темной энергией: все вещество сосредоточено при этом в объеме центральной массы M .



Рис. 3. Галактика NGC 5584 уже чувствует хаббловский поток.

Если считать, (как это и должно быть в случае ЭГ-вакуума), что плотность темной энергии имеет около нас такое же значение, что и на самых далеких расстояниях, радиус нулевого ускорения можно легко оценить. Для даваемого наблюдателями значения плотности вакуума и значения массы

Местной Группы имеем $r_v = 1,1 - 1,3$ Мпк. Так что антитяготение доминирует уже в нашей ближайшей галактической окрестности – стоит лишь выйти за пределы расстояния 1,5 Мпк.

Очевидно, что гравитационно связанная система – Местная Группа галактик – может существовать лишь в пределах области $r < r_v$, где доминирует тяготение. Вне группы, на расстояниях $r > r_v$, начинается хаббловский поток разбегания галактик. Галактики-карлики потока движутся в области преобладания антитяготения, и их динамика определяется главным образом темной энергией.

В локальной задаче имеется расстояние r_v , на котором сумма сил тяготения и антитяготения равна нулю. Это расстояние – «радиус нулевого тяготения» – прямой аналог момента нулевого тяготения в глобальной космологии. Но то, что в глобальной космологии случается во времени, в локальной космологии происходит в пространстве. Во Вселенной в целом тяготение исчезает на один краткий миг космического (собственного) времени и притом сразу во всем сопутствующем пространстве. В локальной космологии тяготение отсутствует только на сфере радиусом r_v , но зато в течение всего времени существования Местной Группы галактик. Ее возраст оценивается в 12–13 млрд лет, что только на 1–2 млрд лет меньше возраста мира.

Общий подход, развитый для местного хаббловского потока, можно применить и к изучению других наблюдаемых потоков в масштабах нескольких мегапарсек. В последнее время обширный наблюдательный материал о двух близких к нам группах (Сен А и М81/М82) с хаббловскими потоками вокруг них получен Караченцевым и его коллегами. Эти группы и потоки расширения вокруг них повторяют основные черты строения и динамики, характерные для Местной Группы и местного потока. В частности, для них выполняется условие минимальной скорости.

Это условие относится ко всем масштабам, и оно еще раз указывает на то обстоятельство, что динамическая роль темной энергии и всемирного антитяготения важна не только в глобальном космологическом масштабе, но фактически и во всех меньших масштабах, где возникают и эволюционируют галактики и их системы.



О ПРОИСХОЖДЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Ольга Касьяновна СИЛЬЧЕНКО

доктор физико-математических наук, зам. директора ГАИШ МГУ

150-летию периодической системы Менделеева посвящается

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА																	
ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В															
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
1	1	H 1.0079 Водород														He 4.0026 Гелий	
2	2	Li 6.941 Литий	Be 9.0122 Бериллий	B 10.811 Бор	C 12.011 Углерод	N 14.007 Азот	O 15.999 Кислород	F 18.998 Фтор	Ne 20.179 Неон								
3	3	Na 22.99 Натрий	Mg 24.305 Магний	Al 26.982 Алюминий	Si 28.086 Кремний	P 30.974 Фосфор	S 32.066 Сера	Cl 35.453 Хлор	Ar 39.948 Аргон								
4	4	K 39.098 Калий	Ca 40.08 Кальций	Sc 44.956 Скандий	Ti 47.90 Титан	V 50.942 Ванадий	Cr 51.996 Хром	Mn 54.938 Марганец	Fe 55.847 Железо	Co 58.933 Кобальт	Ni 58.69 Никель	Символ элемента Относительная атомная масса Порядковый номер Ar 39.948 Аргон Название элемента Расположение элементов по энергетическим уровням					
5	5	Cu 63.546 Медь	Zn 65.38 Цинк	Ga 69.72 Галлий	Ge 72.50 Германий	As 74.9216 Мышьяк	Se 78.96 Селен	Br 79.904 Бром	Kr 83.80 Криптон								
6	6	Rb 85.467 Рубидий	Sr 87.62 Стронций	Y 88.906 Иттрий	Zr 91.22 Цирконий	Nb 92.906 Ниобий	Mo 95.94 Молибден	Tc 98.9062 Технеций	Ru 101.0 Рутений	Rh 102.9055 Родий	Pd 106.4 Палладий						
7	7	Ag 107.87 Серебро	Cd 112.41 Кадмий	In 114.82 Индий	Sn 118.60 Олово	Sb 121.70 Сурьма	Te 127.6 Теллур	I 126.90 Йод	Xe 131.29 Ксенон								
8	8	Cs 132.91 Цезий	Ba 137.33 Барий	La* 138.905 Лантан	Hf 178.4 Гафний	Ta 180.647 Тантал	W 183.8 Вольфрам	Re 186.207 Рений	Os 190.2 Осмий	Ir 192.22 Иридий	Pt 195.08 Платина						
9	9	Au 196.97 Золото	Hg 200 Ртуть	Tl 204.38 Таллий	Pb 207.2 Свинец	Bi 208.98 Висмут	Po [209] Полоний	At [210] Астат	Rn [222] Радон								
10	10	Fr [223] Франций	Ra 226.02 Радий	Ac** [227] Актиний	Rf [261] Резерфордий	Db [262] Дубний	Sg [263] Сибургий	Bh [264] Борний	Hs [265] Гасий	Mt [266] Мейтнерий	Ds [271] Дармштадтий						
ВЫСШЕЕ ОКСИДЫ		E ₂ O		EO		E ₂ O ₃		EO ₂		E ₂ O ₅		EO ₃		E ₂ O ₇		EO ₄	
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ						EH ₄		EH ₃		H ₂ E		HE					
ЛАНТАНОИДЫ*		Ce 140.12 Церий	Pr 140.91 Прометий	Nd 144.24 Неодим	Pm [145] Прометий	Sm 150.36 Самарий	Eu 151.96 Европий	Gd 157.25 Гадолиний	Tb 158.93 Тербий	Dy 162.5 Диспрозий	Ho 164.93 Гольмий	Er 167.2 Ербий	Tm 168.934 Тиман	Yb 173.05 Иттербий	Lu 174.967 Лютеций		
АКТИНОИДЫ**		Th 232.04 Торий	Pa 231.04 Протактиний	U 238.03 Уран	Np 237.0482 Нептуний	Pu 244.0642 Плутоний	Am 243.0614 Америций	Cm 247.0772 Курций	Bk 247.0713 Берклий	Cf 251.0775 Калифорний	Es 252.0833 Эйнштейний	Fm 257.095 Фермий	Md 288.107 Менделевий	No 259.1089 Нобелий	Lr 260.1054 Лоренций		

С чего все начиналось...

Сначала случился Большой Взрыв, и никаких химических элементов тогда еще не было. Температура Вселенной была так высока, что только кварк-глюонная плазма, плававшая в море фотонов, могла ее выдержать. Но Вселенная, вдохновленная Большим Взрывом, расширялась, и температура плазмы падала по мере расширения Вселенной. Уже через тысячные доли секунды своего расширения Вселенная «остыла» настолько, что кварки объединились в протоны и нейтроны. Протоны и нейтроны затем начали непрерывно превращаться друг в друга путем слабых взаимодействий с участием электронов, позитронов и нейтрино, и отношение числа нейтронов к числу протонов во Вселенной поддерживалось некоторое время в термодинамически равновесном состоянии, $n/p \sim \exp(-\Delta m/T)$, где $\Delta m = 1.29$ МэВ – разница масс нейтрона и протона, а T – температура Вселенной. Однако Вселенная продолжала расширяться, и температура продолжала падать, а следовательно, нейтронов становилось все меньше и меньше по отношению к протонам. Через полсекунды температура упала до 1 МэВ, отношение n/p упало до 1/6, слабые взаимодействия стали неэффективны в плане поддержания термодинамически равновесного отношения числа нейтронов к числу протонов: падение этого отношения затормозилось. Однако нейтроны сами по себе нестабильны и распадаются на протон и электрон за известное время; например, в современных лабораторных условиях это время равно 880 секунд. Поэтому еще 200 секунд отношение n/p само собой тихо уменьшалось с 1/6 до 1/7. А потом, через три минуты после Большого Взрыва, когда Вселенная совсем «остыла» до температуры 80 кэВ, бац – и резко случился первичный нуклеосинтез: все свободные нейтроны связались с протонами в ядра гелия-4. Я так долго рассказывала вам про

вселенскую эволюцию отношения числа нейтронов к числу протонов именно потому, что это отношение критически важно для химического состава первичного газа. Строго потому, что к моменту начала первичного нуклеосинтеза отношение n/p было равно одной седьмой, в составе первичного газа оказалось примерно 25% гелия и 75% водорода (по массе). Два нейтрона и 14 протонов дадут вам как раз одно ядро гелия-4 и 12 ядер водорода – по числу ядер отношение будет равно 12, а по массе, соответственно, тройке. В процессе первичного нуклеосинтеза протекали еще некоторые реакции – все простые, хорошо изученные в земных экспериментах физиками-ядерщиками. И поэтому нам решительно точно известно, что, кроме ядер водорода и гелия-4, мы унаследовали от первых 20 минут жизни Вселенной еще совсем немножко дейтерия, трития, гелия-3 и лития. И это все. Никаких более тяжелых элементов первичный газ Вселенной не содержал. Именно из такого газа – но только уже остывшего, нейтрального, с электронами на орбитах вокруг ядер – должны были спустя сотни миллионов лет сформироваться первые звезды. И вся дальнейшая таблица Менделеева – это продукт термоядерных реакций в недрах звезд (или, в некоторых случаях, термоядерных реакций на поверхности звезд – но об этом чуть позже). То есть формирование богатой химии нашей Вселенной – это процесс, неотделимый от процесса космического звездообразования. И по мере того, как во Вселенной рождается (а потом умирает) все больше и больше звезд, средняя «металличность» Вселенной должна становиться все выше и выше.

Удивительно, но звезд с первичным химическим составом – или с «нулевой металличностью», как говорят специалисты по химическому составу звезд – в ближней Вселенной, по-видимому, нет. Как, впрочем, и в дальней Вселенной тоже. Специальные наблюдательные проекты неоднократно предпринимались, чтобы найти такие звезды (и галактики) – но тщетно. В гало нашей собственной Галактики, где проживают самые старые звезды, возраст которых практически неотличим от возраста Вселенной, был недавно найден рекордсмен по содержанию железа и кальция – оно в этой старой звезде в десятки миллионов раз ниже, чем в нашем Солнце. Однако при этом более легкие «тяжелые» элементы, например, углерод, не показывают такого сильного дефицита, и в целом, если все просуммировать, элементы тяжелее гелия потянут всего где-то на тысячные доли солнечной металличности. Аналогичная история с химическим составом газа галактик на высоких красных смещениях. Химический состав этого газа изучается «на просвет» – по линиям поглощения, которые этот газ «выедает» в спектрах квазаров заднего фона. Луч от далекого квазара, пока дойдет до нас, пересекает множество газовых дисков галактик на промежуточных красных смещениях. По линиям поглощения, принадлежащим этим дискам, смещенным относительно лабораторной системы длин волн в красную сторону меньше, чем линии квазара, измеряется химический состав газа галактик на красных смещениях вплоть до четверки – это чуть больше одного миллиарда лет после Большого Взрыва. И даже в таких молодых галактиках химический состав газа демонстрирует металличность в самом крайнем случае в одну сотую от солнечной. Но нигде не обнаружено ни звезд, ни газа с нулевой металличностью. Мы уверены, что такие звезды должны были существовать – именно они должны были в процессе своего горения совершить переход от первичного химического состава, сформировавшегося в первые минуты после Большого Взрыва, к относительно современному и приподнять нижний предел металличности до уровня нескольких тысячных долей солнечной. Однако до наших дней они не дожили. Самое популярное объяснение этому «отсутствию всякого присутствия» – предположение, что все звезды с нулевой металличностью были очень массивными. Массивные звезды, во-первых, весьма активно синтезируют все содержимое таблицы Менделеева, а во-вторых, имеют крайне короткую жизнь, не длиннее нескольких миллионов лет. Таким образом, они способны эффективно выполнить свою миссию: быстро поднять нижний порог металличности и исчезнуть навсегда. Но хотелось бы все-таки пронаблюдать хоть какие-то признаки того, что эти звезды в природе были.

Звездный нуклеосинтез

Итак, нуклеосинтез элементов тяжелее лития происходит в процессе эволюции звезд. В первую очередь, массивных звезд. За счет чего звезды светят? Они выделяют энергию в результате термоядерных реакций в своих недрах. Самая «массовая» реакция, которая обеспечивает энерговыделение самого большого количества звезд на самой длительной стадии их эволюции – на главной последовательности – это превращение водорода в гелий-4 (то есть это еще не синтез

элементов тяжелее лития). А вот дальнейший синтез более тяжелых элементов происходит на более поздних стадиях эволюции звезд. У красных гигантов и сверхгигантов в ядре вспыхивает гелий, и горение гелия, называемое альфа-процессом по имени альфа-частиц, ядер гелия, уже производит целый ряд элементов, атомный вес которых делится на четыре, – углерод, кислород, неон, магний, кремний... и так вплоть до титана. Эти элементы так и называют – альфа-элементами. Все вместе они дают самый большой, подавляющий вклад в суммарную «металличность» Вселенной. Чтобы сформировавшееся в результате альфа-процесса кислородное-углеродное ядро звезды горело дальше и производило все более тяжелые элементы, звезда должна быть очень массивной, с очень высокой температурой в центре, больше миллиарда кельвинов. У самых массивных звезд ядро догорает до железа. Железо – атомный вес 56 – это самое «тяжелое» атомное ядро, которое может сформироваться в недрах звезды в процессе термоядерного горения. Но это всего только верхняя четверть таблицы Менделеева! Все, что тяжелее, формируется в так называемом «захвате нейтронов» более легкими ядрами. Причем захват нейтронов может быть как «медленным», *slow*, *s*-процесс, так и быстрым, *rapid*, *r*-процесс. Для обоих процессов нужна высокая локальная концентрация нейтронов, а для *r*-процесса – еще и высокая температура в месте нуклеосинтеза. Самым обещающим местом для *s*-процесса сейчас считают нижние атмосферы звезд промежуточных масс, 3–8 масс Солнца, на самой поздней стадии эволюции – на асимптотической ветви гигантов. На этой стадии в звезде горит слоевой источник – во внешней атмосфере горит слой водорода, а глубже – слой гелия. В ядре не горит ничего, зато там есть углерод, в том числе – сильно радиоактивный углерод-13. При таком слоевом горении атмосфера звезды очень неустойчива и «взболтаться» может в любой произвольный момент. В момент глобального перемешивания звезды в одном месте встречаются все игроки *s*-процесса: гелий во взаимодействии с углеродом-13 выделяет довольно плотные потоки нейтронов, и они присоединяются последовательно к ядрам все более и более тяжелых элементов. Так в фотосферах звезд – асимптотических гигантов появляются стронций, барий, свинец и полный набор лантаноидов. Линии поглощения в спектрах таких звезд могут быть весьма экзотическими, с неожиданной атрибуцией... Что касается наиболее вероятного места для *r*-процесса, то как раз сейчас в умах астрохимиков происходит революция по этому вопросу. Еще совсем недавно самым подходящим местом для *r*-процесса считался взрыв сверхновой II типа – так называемой «core collapse», сверхновой с «проваливающимся» ядром. Один из популярных теоретических вариантов для взрыва сверхновой II типа – это формирование в центре взрыва нейтронной звезды. То есть нейтронов там должно быть много. Ну, а уж температуры при взрыве сверхновой всегда просто запредельные... Так что считалось, что любой взрыв сверхновой II типа – это не только выброс ранее синтезированных в процессе эволюции массивной звезды – предшественницы сверхновой – элементов: углерода, альфа-элементов, железа; но и одновременный попутный синтез тяжелых элементов *r*-процесса: европия, золота, платины, урана... Однако в последнее время, в связи с модой на источники гравитационных волн, все больше народа увлекается слиянием двойных нейтронных звезд. Там тоже много нейтронов и тоже крайне высокие температуры... На самом деле не исключено, что в *r*-процесс дают свой вклад и вспышки сверхновых II типа, и куда более редкие события слияния двойных нейтронных звезд.

Сверхновые – это наше все

Вспышки сверхновых звезд – это вообще главный двигатель химической эволюции. Все свежие химические элементы, которые синтезируют в своих недрах массивные звезды в процессе эволюции, поступают в «общее пользование» – в межзвездную среду с последующим участием в образовании новых звезд – только после вспышек сверхновых II типа, которыми заканчивается жизнь всех массивных звезд, с начальной массой больше 10 масс Солнца. А есть еще сверхновые звезды типа Ia – это белые карлики в двойных системах, взрывающиеся после дополнительного отбора массы у звезды-компаньона. Их роль в химической эволюции Вселенной не менее важна: они основные поставщики железа. При взрыве каждой сверхновой типа Ia (напомним, это белый карлик с массой не больше 1.4 массы Солнца) синтезируется половинка солнечной массы свежего радиоактивного никеля, который потом за несколько недель весь распадается в железо-56. Пол-солнечной массы нового свежего железа с каждой сверхновой! В результате можно сказать, что, например, в диске нашей Галактике, где 4.5 млрд лет назад сформировалось и Солнце, альфа-элементы, включая самый обильный тяжелый элемент, кислород, – это продукты эволюции

массивных звезд, а вот железо примерно поровну было произведено массивными звездами и звездами средних масс в двойных системах – тех, что кончают свою жизнь как белые карлики. Если же мы обратим свой взор на старые звезды гало Галактики или ее толстого диска, то там мы увидим, что отношение обилия кислорода и железа в три раза превышает таковое на Солнце. То есть железа в старых звездах не хватает по отношению к альфа-элементам. Специалисты по химической эволюции галактик быстро разгадали этот феномен: гало и толстый диск – это не просто старые подсистемы Галактики, это подсистемы, которые полностью закончили свое формирование за время меньше 1 млрд лет. Если звездообразование там продолжалось недолго и быстро прекратилось, основная масса сверхновых типа Ia не успела взорваться до остановки звездообразования (потому что белые карлики по-любому живут долго); и их железо, хотя и было синтезировано, но не успело войти во вновь образующиеся звезды! Из-за этого в звездах гало и толстого диска соотношение обилия альфа-элементов и железа такое, какое получается к концу эволюции массивных звезд, которое выдают сверхновые типа II; а вот вклада сверхновых типа Ia там нет. Чтобы достичь СОЛНЕЧНОГО отношения обилия альфа-элементов к обилию железа, нужно, чтобы звездообразование продолжалось не менее 2–3 млрд лет: чтобы все сверхновые типа Ia от первых поколений звезд успели взорваться и снабдить межзвездную среду своим железом. Таким образом, измеряемое в звездах отношение обилия альфа-элементов и железа является отличным индикатором продолжительности эпохи основного звездообразования. Мы знаем, что в гигантских эллиптических галактиках отношение $[Mg/Fe]=+0.3$ dex (в логарифмической шкале), и оно коррелирует с массой галактики; это означает, что все звезды эллиптической галактики полностью сформировались за время короче одного миллиарда лет, и чем массивнее галактика, тем быстрее она закончила свое формирование. А вот диски спиральных галактик имеют солнечное отношение кислорода (магния, кремния...) к железу, и это полностью согласуется с их продолжительным ровным звездообразованием в последние 8 млрд лет.

Загадка происхождения кальция

В этой стройной картине последовательного нуклеосинтеза всех элементов таблицы Менделеева в нашей Вселенной от Большого Взрыва до наших дней есть, тем не менее, пробелы, которые остаются не понятыми и не заполненными уже не один десяток лет. Один из таких пробелов – происхождение кальция. В принципе, кальций является альфа-элементом – вслед за магнием, кремнием и серой. Он должен производиться массивными звездами, и по отношению к более тяжелым элементам, в частности, к железу, вести себя так же, как кислород. И он действительно ведет себя как альфа-элемент в нашей Галактике: показывая в тонком диске солнечное отношение к железу, в гало и в толстом диске он демонстрирует переобогащение относительно железа в 2–3 раза – в точности, как магний. Однако если мы переходим к другим галактикам, картина кардинально меняется. В 1994 году Гай Уорси впервые сформулировал полную систему Ликских индексов, включающую в себя самые сильные линии поглощения магния, железа, кальция, видимые в оптическом диапазоне спектра в интегральных спектрах звездных населений галактик; а я как раз отнаблюдала на 6-метровом телескопе спектры ядер нескольких десятков близких галактик, включая эллиптические, и определила металличность их звездных населений. Мы с Уорси одновременно указали на то, что в гигантских эллиптических галактиках магний переобогащен по отношению к железу (если сравнивать с солнечным химическим составом), а вот кальций – нет. То есть в эллиптических галактиках, где по магнию мы видим отношение обилий альфа-элементов к железу, характерное для сверхновых II типа и для коротких вспышек звездообразования, – кальций же ведет себя как железо и отстает в своем обилии от магния. В эллиптических галактиках кальций – не альфа-элемент! Как такое может быть? Теоретики дружно говорили, что этого быть не может. Однако продолжавшиеся наблюдения спектров эллиптических галактик и измерения в них Ликских индексов Ca4227 и Ca4455, вместе с индексом магния Mgb и индексами железа Fe4383, Fe5270 и Fe5335, независимо несколько раз на протяжении нулевых годов подтверждали, что это действительно так – кальций в эллиптических галактиках имеет какое-то другое происхождение, не такое, как в диске нашей Галактики. Решения этой загадки нет до сих пор. Однако меня лично очень вдохновило открытие в 2010 году нового типа сверхновых звезд (точнее, сама сверхновая вспыхнула в 2005 году и звалась 2005E, но статья в Nature, Perets et al. 2010, появилась только в 2010 году). Эта сверхновая в максимуме блеска была почти в 100 раз слабее, чем обычные сверхновые Ia; и, однако,

она вспыхнула в линзовидной галактике, где нет текущего звездообразования и нет массивных звезд, то есть предшественником ее мог быть только белый карлик. И главное – в спектре, на поздних стадиях разлета оболочки, светились могучие линии кальция! Авторы статьи в Nature интерпретировали эту сверхновую как термоядерный взрыв белого карлика в паре с ГЕЛИЕВОЙ звездой. Поскольку нагретенное белым карликом с соседки вещество в данном случае было не водородом, а гелием, нуклеосинтез во время взрыва пошел не так, как у обычных сверхновых типа Ia: синтезировался не радиоактивный никель, а радиоактивный титан-44, и вот он-то и распадался в основном в КАЛЬЦИЙ! Таким образом, был открыт новый канал производства кальция, который имеет прямое отношение к взрывающимся белым карликам и, следовательно, к производству железа. Надо только придумать, почему именно этот канал оказался особенно эффективен в эллиптических галактиках!

Химсостав Солнца

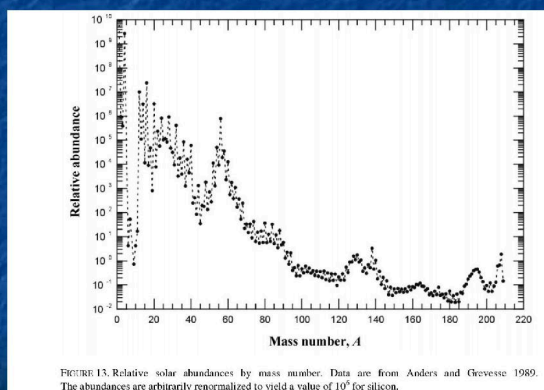


График из лекции О.К. Сильченко – содержание элементов на Солнце

Этот непредсказуемый азот...

Другим загадочным элементом с не до конца понятым многообразным нуклеосинтезом является азот. В принципе азот может образовываться и в центрах массивных звезд, и на асимптотической ветви гигантов в звездах средних масс. В последнем случае его «выход» – количество вновь синтезированного элемента на единицу массы потраченного звездой для термоядерных реакций топлива – будет зависеть от начальной металличности звезды: чем металличнее звезда, тем больше нового азота она произведет. Наблюдения содержания азота в газе дисков спиральных галактик показывают, что относительно кислорода содержание азота растет пропорционально общей металличности: $[N/O] \sim [O/H]$. Это говорит о том, что азот в дисках спиральных галактик – «вторичный», зависит от металличности газа, из которого формируются звезды, а значит – в основном поставляется гигантами асимптотической ветви, звездами небольших масс, с задержкой относительно начала звездообразования в данном месте галактики (как и железа). А вот в карликовых галактиках, где и общая металличность газа маленькая, азот формируется синхронно с кислородом, и отношение $[N/O] \sim 0.7$ не зависит от общей металличности галактики. Такая форма наблюдаемой зависимости $[N/O]$ от $[O/H]$ позволила предположить, что в карликовых галактиках азот в основном производится массивными звездами (для «вторичного» нуклеосинтеза не хватает катализатора – общей металличности), а в спиральных галактиках – в основном звездами средних масс. «Чистому» первому механизму соответствует $[N/O] \sim 0.7$. Все успокоились относительно азота. Но, как выяснилось, рано успокоились. Как я уже выше упоминала, химический

состав газа в дисках галактик на высоких красных смещениях измеряется по линиям поглощения в спектрах квазаров, которые «сзади» подсвечивают эти галактики. Так вот, когда собрали достаточную статистику по обилию азота в газе дисков галактик на красных смещениях выше тройки (то есть в первые 1–2 млрд лет после Большого Взрыва), выяснилось, что там тоже постоянное отношение азота к кислороду – но только не $[N/O] \sim 0.7$, а $[N/O] \sim 1.4$. А это какой механизм нуклеосинтеза?? Пока непонятно...



СВЕРХСКОРОСТНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Сергей Валентинович ЖУЙКО, Андрей Карлович ДАМБИС

ГАИШ МГУ

История вопроса

Существование высокоскоростных звезд предсказал Джек Хиллз в 1988 г. (Hills, 1988), а английский писатель-фантаст Пол Джеймс Макоули, вдохновившись идеей ученого, использовал идею о сверхскоростной звезде, мчащейся к Земле, в своей книге «Вечный свет» ("Eternal Light", 1991).

Широкий всплеск интереса к концепции Хиллза, которая пролежала без дела около 20 лет, вызвало открытие первой наблюдаемой сверхскоростной звезды Уорреном Брауном (Brown и др., 2005). 6,5-м телескоп ММТ в Аризоне выполнял спектральный обзор неба и обнаружил звезду спектрального класса В главной последовательности массой в три раза больше солнечной и движущуюся относительно центра Галактики со скоростью 700 км/с. Эта скорость в два раза превышает «вторую космическую» (то есть минимальную скорость, при которой объект в будущем покинет сферу действия Галактики) на расстоянии около 300 тысяч световых лет (аналогично тому, как стартовая с поверхности Земли ракета должна разогнаться как минимум до второй космической скорости в 11,2 км/с, чтобы иметь возможность покинуть околоземное космическое пространство). Когда Хиллза спросили о его мнении об этом открытии, он ответил, что «настало время их найти» (Perlman, 2005).

Существует множество возможных способов ускорения звезд до высоких скоростей, которые, в частности, рассмотрены в статье Тутукова и Федоровой (2009). Но предложенный Хиллзом механизм, когда после сближения тесной двойной звезды со сверхмассивной черной дырой с массой около миллиона солнечных один из компонентов двойной начинает обращаться вокруг черной дыры, а другой оказывается выброшенным со скоростью до нескольких тысяч километров в секунду, уникален в своей способности ускорять большое количество звезд главной последовательности. Таким образом, согласно Хиллзу, звезды главной последовательности – это кандидаты в сверхскоростные звезды, они могут ускоряться и выбрасываться из любой галактики со сверхмассивной черной дырой в центре.

Существует несколько возможных определений сверхскоростных звезд (Brown, 2015). В настоящее время звезды главной последовательности, которые своим происхождением обязаны галактическому центру, принято называть сверхскоростными, а те, что вылетают из галактического диска, стали называть сверхубегаящими.

Сверхскоростные звезды

Млечный Путь содержит более двухсот миллиардов гравитационно связанных звезд и чрезвычайно малое количество гравитационно несвязанных звезд, полная энергия которых в гравитационном поле положительна – их кинетическая энергия превышает абсолютное значение (отрицательной) потенциальной энергии в гравитационном поле Галактики и в будущем им суждено покинуть нашу звездную систему. Этим они отличаются от подавляющего большинства звезд Галактики, полная энергия которых отрицательна и которые в принципе не могут выйти за пределы так называемой поверхности нулевой скорости, где потенциальная энергия в точности равна полной энергии звезды на данный момент (которая не меняется со временем в силу закона сохранения энергии). Предполагается, что эти звезды исходят из галактического центра, перемещаются в гало (где их обнаружили) и покидают Галактику по несвязанным почти радиальным орбитам. Будем обозначать их аббревиатурой ССЗ. Чтобы проверить гипотезу об их происхождении в галактическом центре с помощью кинематических исследований, необходимо определить пространственные скорости этих звезд в настоящее время. К сожалению, обнаруженные сверхскоростные звезды так далеки от нас, что их угловые движения на небесной сфере ничтожны. Для определения пространственных траекторий сверхскоростных звезд надо было бы затратить многие десятилетия при использовании самых совершенных наземных телескопов. Однако, с появлением второго выпуска данных космической миссии Gaia, точные лучевые скорости, полученные методом спектроскопии на 6,5-м и 8,1-м телескопах, дополнились измерениями собственного движения беспрецедентной точности. Спутник Европейского космического агентства Gaia (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>) предоставил самый полный и точный каталог Млечного Пути с измеренными тригонометрическими параллаксами, а следовательно – и расстояниями, а также собственными движениями (то есть значениями угловой скорости перемещения на небе) для более чем одного миллиарда звезд. Если мы знаем расстояние до звезды и скорость ее углового перемещения на небе, то можем вычислить также и скорость ее перемещения в пространстве в направлении, перпендикулярном лучу зрения (в так называемой «картинной» плоскости). Так, звезда с собственным движением в одну тысячную секунды дуги (а одна секунда дуги – это угол, в 3600 раз меньший одного градуса!) в год на расстоянии 326 тысяч световых лет (это сто килопарсек) перемещается в перпендикулярном лучу зрения направлении со скоростью 474 км/с. При наличии еще и данных спектроскопических наблюдений, позволяющих определить скорость звезды в направлении луча зрения по вызванному движением в этом направлении смещением линий в спектре – так называемому эффекту Доплера, в нашем распоряжении оказывается полная пространственная скорость звезды. Исследование совокупных данных поможет определить происхождение ССЗ, подтвердить или опровергнуть тот факт, что они действительно являются сверхскоростными, а также даст возможность уточнить модель поля тяготения Галактики – то, как сила тяготения Галактики зависит от места (Gnedin et al., 2005; Kenyon и др., 2008; Kormendy, Но, 2013; Kenyon и др., 2014; Marchetti и др., 2018).

Гипотезы образования ССЗ

1. Сценарий Блаау (Blaauw, 1961) – взрыв сверхновой I типа. Это взрыв звезды – белого карлика в тесной двойной системе. При этом второй компонент системы внезапно оказывается освобожденным от тяготения его спутника и улетает в пространство с орбитальной скоростью, которая в случае тесной системы может быть весьма значительной.
2. Сценарий Поведы, Руиса и Аллена (Poveda et al., 1967), при котором убегающие звезды образуются в результате сжатия (коллапса) звездных скоплений и сопровождающих этот процесс тесных тройных и четверных сближений звезд, приводящих к выбросу некоторых из них с большими скоростями.
3. Сценарий Хиллза (Hills, 1988) – динамический захват и выброс компонентов тесной двойной звездной системы сверхмассивной черной дырой, находящейся в центре Галактики.
4. Сценарий Ю и Тримейна (Yu, Tremaine, 2003) – гравитационное рассеяние на двойной системе черных дыр, состоящей из сверхмассивной черной дыры и черной дыры промежуточной массы (такие системы могут возникать в процессе слияния галактик).
5. Сценарий Гварамадзе, Гуландриса и Портегиса Цварта (Gvaramadze et al., 2009) – динамический захват и выброс тесных компонентов двойной звездной системы очень массивными звездами, находящимися в молодых рассеянных скоплениях в спиральных рукавах Галактики.

Сверхубегающие звезды

Не все высокоскоростные звезды являются гравитационно несвязанными с нашей Галактикой, например, HD 271791. Это первый пример так называемой сверхубегающей звезды (СУЗ), выброшенной из диска в сторону вращения Галактики. Справедливости ради упомянем, что термин «убегающая» был введен Адрианом Б्लाу (Blaauw, 1961). Так происходит, когда в бывшей тесной и массивной двойной системе один компонент взрывается как сверхновая. Если система достаточно тесная, то орбитальная скорость второго компонента может быть очень большой, и когда первый компонент взрывается, то второй, освободившись от сдерживающего влияния теперь уже разрушенного первого, продолжает двигаться в пространстве почти со своей орбитальной скоростью в гравитационном поле Галактики и таким образом становится СУЗ. Модель потенциала Млечного Пути показывает, что звезды, движущиеся со скоростями до 400 км/с в области $10 < R < 20$ килопарсек, являются гравитационно связанными с Галактикой, то есть не могут покинуть ее.

Основная гипотеза происхождения ССЗ – сценарий Хиллза, динамический выброс звезды из галактического центра – сравнительно небольшой области в центре Галактики, где концентрация звезд резко увеличивается, достигая максимального значения в триста тысяч солнечных масс в кубическом парсеке (около десяти тысяч солнечных масс в кубе со стороной размером в один световой год). Существование ССЗ в Галактике – естественное следствие наличия в ее центре сверхмассивной черной дыры (СМЧД) с массой $4,31 \pm 0,06$ миллионов солнечных масс в окружении центрального звездного скопления, общая масса звезд которого превышает миллион солнечных масс. Выброс происходит вследствие динамического тройного взаимодействия тесной двойной системы с подходящим сочетанием значений полуоси орбиты и расстояния максимального сближения со сверхмассивной черной дырой. Взаимодействие это тройное, потому что в нем принимают участие два компонента двойной звезды и черная дыра – в результате при сохранении суммарной энергии трех тел одно из них может приобрести высокую скорость за счет уменьшения потенциальной энергии взаимодействия оставшейся пары тел.

Один из компонентов тесной двойной системы захватывается на стационарную эллиптическую орбиту, в одном из фокусов которой находится сверхмассивная черная дыра (это как в случае орбиты планеты Солнечной системы, в одном из фокусов которой находится Солнце), второй же выбрасывается с высокой пространственной скоростью и становится ССЗ. Звезды, захваченные на стационарные эллиптические орбиты, так называемые S-звезды, как правило, имеют спектральный класс В и являются звездами главной последовательности (рис. 1).

Чем ближе подходит двойная звезда к черной дыре, тем выше скорость выброса ССЗ (рис. 2). Максимальная скорость выброса в сценарии Хиллза ограничена из-за неизбежного приливного разрушения звезд при слишком сильном сближении с черной дырой. Вообще, при приближении к сверхмассивной черной дыре на близкое расстояние один из компонентов двойной системы постепенно разрушается (Дремова и др., 2015).

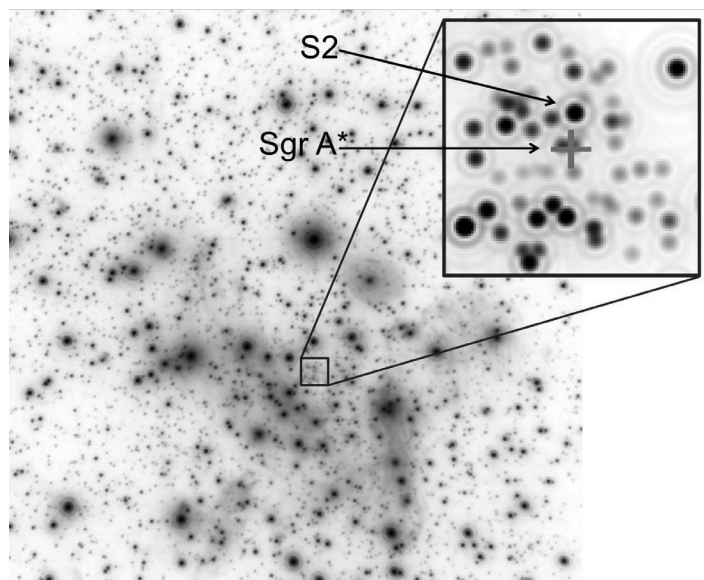


Рис. 1. *S2* (*S0-2*) – звезда, расположенная вблизи СМЧД в центре Млечного Пути, совершает полный оборот по эллиптической орбите за $15,56 \pm 0,35$ года, периодически приближаясь к черной дыре на минимальное расстояние около 18 миллиардов километров. Прохождение перигентра (точки максимального сближения с черной дырой) произошло в 2002 г. Эта инфракрасная фотография получена на 8,2-м телескопе VLT.

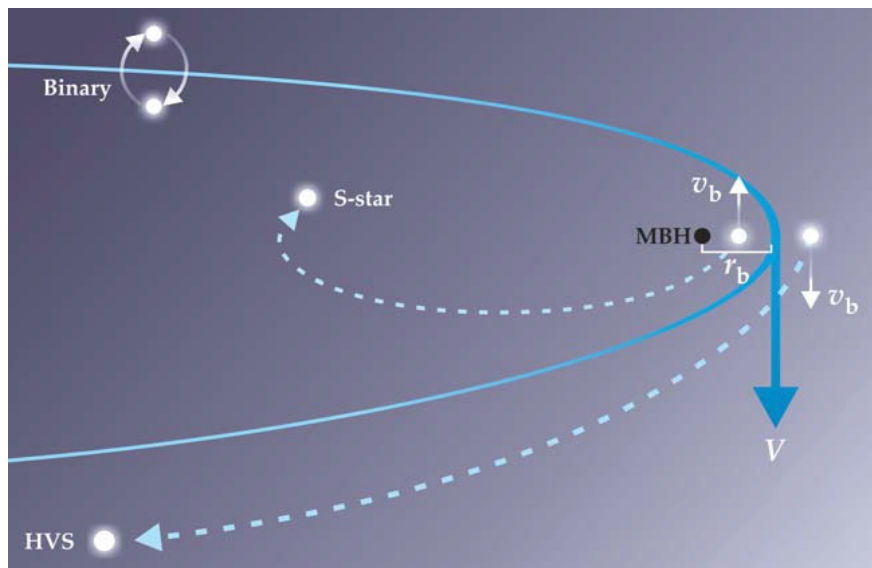


Рис. 2. Механизм образования ССЗ и *S*-звезд в галактическом центре.

Эксперименты по численному моделированию

В экспериментах по численному моделированию было обнаружено, что присутствие второй черной дыры промежуточной массы (ЧДПМ) на орбите вокруг СМЧД в центре Млечного Пути может быстро и эффективно «раскидать» случайным образом звезды вблизи СМЧД, преобразуя первоначально тонкий вращающийся звездный диск в почти изотропное распределение звезд, движущихся на орбитах вокруг СМЧД с хаотическим распределением эксцентриситетов. Этот процесс потребует около одного миллиона лет, что значительно меньше характерного времени звездной эволюции, если масса ЧДПМ превышает полторы тысячи солнечных и эксцентриситет орбиты ЧДПМ равен $\sim 0,5$ или больше. Окончательное распределение полуосей орбит звезд зависит от предполагаемой массы ЧДПМ, но звезды с апоцентрическим расстоянием не меньше перигентра орбиты ЧДПМ будут генерироваться наиболее эффективно. Портегис Цварт с коллегами предложили полуаналитическую модель образования и эволюции скоплений в галактическом центре, в которой ЧДПМ растет со скоростью около одной десятиллионной массы Солнца в год. Затем происходит слияние черных дыр, и через какой-то промежуток времени процесс повторяется снова. Это одно из возможных объяснений парадокса молодости *S*-звезд. ЧДПМ «перемешивает» распределение *S*-звезд перед слиянием с СМЧД. Таким образом, данная модель не обязательно означает, что в настоящее время ЧДПМ присутствует в скоплении *S*-звезд.

В экспериментах по численному моделированию выяснилось также, что выброс ССЗ возможен и вследствие динамического трения системы СМЧД+ЧДПМ о звезды балджа (рис. 3). Этот процесс вызывает изменение параметров звездных орбит с последующим выбросом ССЗ. Также оказалось, что движения звезд со скоростями от одной до ста тысяч километров в секунду можно объяснить взаимодействием одиночных звезд балджа с двойной сверхмассивной черной дырой с суммарной массой от десяти миллионов до миллиарда солнечных, компоненты которой обращаются по эллиптической орбите. Излучение гравитационных волн и связанная с этим потеря энергии приводит к движению ЧДПМ по спирали к СМЧД (так называемое ЧДПМ-спиральное событие – траектория движения, когда тело обращается вокруг центра притяжения по спирали и в конце концов покидает систему). Но единичное ЧДПМ-спиральное событие происходит на временных масштабах в 10–100 раз короче, чем средний интервал времени пролета ССЗ от галактического центра до места их обнаружения в гало, поэтому для объяснения количества наблюдаемых ССЗ требуется несколько ЧДПМ-спиральных событий по данному сценарию.

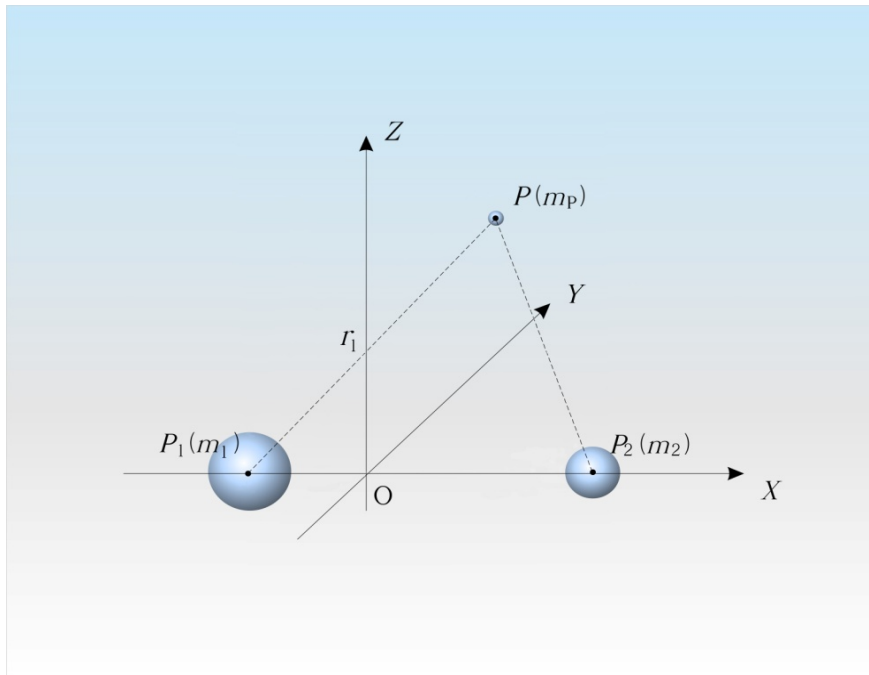


Рис. 3. Модель общей задачи трех тел: СМЧД (слева), ЧДПМ (справа) и ССЗ.

Одним из авторов (Жуйко и др., 2017) исследован механизм формирования сверхскоростных звезд, скорость которых на расстоянии 150 световых лет от центра Галактики составляет 1200 км/с, в результате взаимодействия одиночной звезды с двойной черной дырой в модельной галактике. Движение звезды в гравитационном поле двойной черной дыры с различным отношением масс компонентов рассчитывались в ньютоновском приближении в рамках общей задачи трех тел СМЧД+ЧДПМ+звезда в предположении, что масса СМЧД в центре Галактики составляет $4,31 \pm 0,06$ миллиона солнечных. При этом вычисления проводились для разных комбинаций значений массы ЧДПМ, полуоси и эксцентриситета орбиты двойной системы. Характерные наборы начальных условий – скорости подлета, прицельного расстояния и параметров взаимной ориентации задавались на основе известных распределений соответствующих величин. Доказано, что (1) взаимодействие с двойной черной дырой допускает формирование ССЗ; (2) вероятность образования ССЗ сильно возрастает с увеличением массы вторичной черной дыры; (3) наибольшая скорость выброса звезды достигается, когда полуось орбиты двойной системы СМЧД+ЧДПМ минимальна и когда звезды значительно приближаются к вторичной черной дыре (не подвергаясь при этом действию приливного разрушения).

Несмотря на то, что присутствие в галактическом центре второй черной дыры промежуточной массы вызывает сомнения (орбиты S-звезд выглядят невозмущенными), однозначно отбрасывать такую возможность нельзя. В отношении многих других галактик факт существования двойных черных дыр, напротив, можно считать установленным.

В настоящее время приняты следующие международные обозначения сверхскоростных звезд: HVS – звезды, образовавшиеся в центре Галактики; HDS – звезды, образовавшиеся в спиральных рукавах Галактики; HSS – звезды, образовавшиеся в результате вспышек сверхновых.

Сравнение характеристик ССЗ и S-звезд

Масса ССЗ $m \approx 2,5 - 3,0$ солнечных

Спектральный класс ССЗ B9

Время пролета ССЗ $t_{\text{trvl}} \approx 60 - 200$ миллионов лет

Вероятность образования ССЗ 20 – 80 звезд в миллион лет

Масса S-звезд больше пяти солнечных

Время жизни S-звезд не больше ста миллионов лет

Вероятность образования S-звезд 10 – 40 звезд в миллион лет

Убегающие звезды (УЗ) 50 – 100 км/с

Сверхубегающие звезды (СУЗ) 100 – 400 км/с

Сверхскоростные звезды (ССЗ) 400 – 1200 км/с

Звезды с релятивистскими скоростями (ЗРС) более 30000 км/с.

Примечание: быстролетающие звезды, такие как звезда Барнарда, 61 Лебеда имеют отрицательную скорость, -100 км/с, то есть летят «к нам», их мы здесь не рассматриваем.

Литература

- Blaauw, A. *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 15, 265 (1961)
Brown, W. R., Geller, M. J., Kenyon, S. J., Kurtz, M. J., *Astrophys. J.*, 622, L33 (2005)
Brown, W. R. *Annual Rev. Astron. & Astrophys.*, 53, 15 (2015)
Gnedin, O. Y., Gould, A., Miralda-Escude, J., Zentner, A. R. *Astrophys. J.*, 634, 344, 2005
Gvaramadze, V., Gualandris, A., Portegies Zwart, S. *MNRAS*, 396, 570 (2009)
Hills, J. G., *Nature*, 331, 687 (1988)
Kenyon, S. J., Bromley, B. C., Brown, W. R., Geller, M. J. *Astrophys. J.*, 793, 122 (2014)
Kenyon, S. J., Bromley, B. C., Geller, M. J., Brown, W. R. *Astrophys. J.*, 680, 312 (2008)
Kormendy, J., Ho, L.C. Coevolution (or not) of supermassive black holes and host galaxies. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 51, 511 (2013)
Marchetti, T., Contigiani, O., Rossi, E. M., et al. *MNRAS*, 476, 4697 (2018)
Perlman, D. Wandering star screaming from Milky Way/runaway youngster clocked at more than 1,5 million mph. *San Francisco Chronicle*, Feb. 11 (2005)
Poveda, A., Ruiz, J., Allen, C. *Bol. Obs. Tonantzintla Tacubaya*, 4, 860 (1967)
Yu, Q., Tremaine, S., *Astrophys. J.*, 599, 1129 (2003)
Дремова Г. Н., Дремов В. В., Орлов В. В. и др. *Астрон. журн.*, 92, 907 (2015)
Жуйко С. В., Орлов В. В., Широкова К. С. *Астрон. журн.*, 94, 1, 53 (2017)
Тутуков А. В., Федорова А. В. *Астрон. Журн.*, 86, 902 (2009)



ХРОМОСФЕРА СОЛНЦА

Галина Валентиновна ЯКУНИНА

кандидат физико-математических наук, ГАИШ МГУ

За исключением потока частиц нейтрино, возникающих в центральном ядре Солнца, почти все наблюдаемое солнечное излучение исходит только из солнечной атмосферы, то есть из самых внешних его слоев. Все, что мы видим на Солнце, происходит в его атмосфере, которая даже в нижних слоях в тысячи раз более разрежена, чем воздух на Земле. В ультрафиолетовых и рентгеновских лучах, а также в излучении сильных спектральных линий, мы видим не фотосферу, а более высокие слои – хромосферу и корону.

Хромосфера является наименее изученным и понятным слоем атмосферы Солнца. Часть проблемы заключается в том, что она очень динамична и изменчива. На высоте хромосферы слабое магнитное поле доминирует и определяет ее структуру. Поэтому хромосфера является областью интенсивной магнитной активности. Солнечная активность более всего проявляется в хромосфере. Но природа ее структур до сих пор остается загадкой. В спектре нижней хромосферы преобладают эмиссионные линии нейтральных атомов, а вблизи ее верхней границы присутствуют сильные линии ионизованных элементов (например, CaII и He).

Солнечная атмосфера имеет довольно сложную структуру и состоит из трех слоев – фотосферы, хромосферы, короны. Нижний слой солнечной атмосферы – фотосфера (сфера света). Протяженность фотосферы примерно 300 км. Плотность вещества в фотосфере в тысячу раз меньше,

чем плотность воздуха у поверхности Земли и быстро уменьшается с высотой. Температура понижается до 6000 К, а в области температурного минимума – до 5000 К (рис.1). Фотосфера постепенно переходит в более разреженные внешние слои солнечной атмосферы – хромосферу и корону. Резких границ между этими тремя слоями не существует. Плотность вещества в них еще меньше, чем в фотосфере. Хромосфера – второй слой солнечной атмосферы, но слоем хромосферу назвать трудно. Верхний ее край имеет неровный вид.

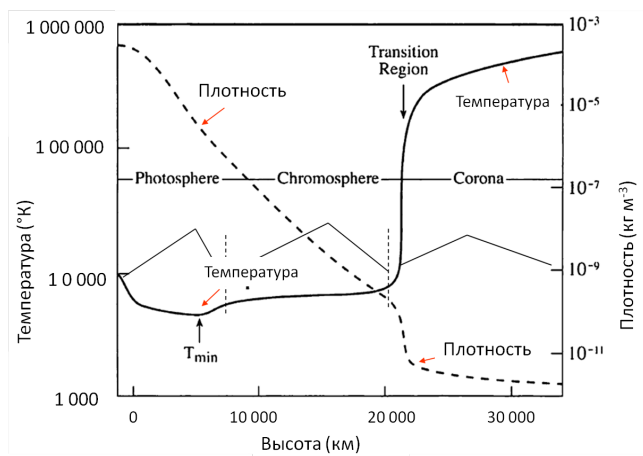


Рис.1 . Схема солнечной атмосферы

Яркость хромосферы недостаточна для наблюдений в белом свете. Но при полном солнечном затмении, когда Луна закрывает диск Солнца, хромосфера становится видимой и светится красным цветом. Именно за это ее назвали «сфера цвета». Вокруг лунного диска видны красные выступы – протуберанцы (рис.2). Протуберанцы – самые интересные явления на Солнце. Они могут принимать разнообразнейшие формы, а поведение их нередко совершенно непредсказуемо. Больше всего солнечная активность проявляется в хромосфере.

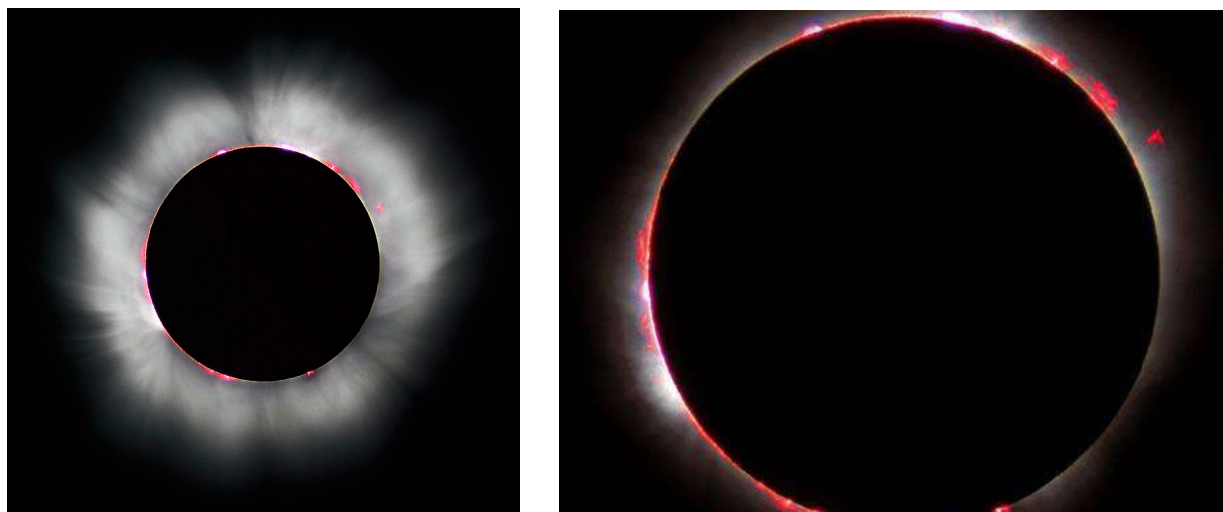


Рис. 2. Полное солнечное затмение 11 августа 1999 г.

https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечное_затмение_11_августа_1999_года

Современные солнечные телескопы со специальными узкополосными оптическими фильтрами позволяют наблюдать хромосферу вне затмений. На фильтрограммах (снимках короны) в линиях водорода (656,3 нм) и кальция Са II К (393,4 нм) видно много интересных хромосферных структур. Это хромосферная сетка, покрывающая всю поверхность, флоккулы (яркие образования, похожие на факелы в фотосфере), темные волокна и волоконца (фибриллы). Состав хромосферы Солнца установили по ее спектру. Выяснилось, что хромосфера состоит из водорода, гелия, кальция и других химических элементов, но их концентрация мала. В хромосфере также можно наблюдать солнечные вспышки, выбросы волокон и протуберанцев, корональные и послевспышечные петли.

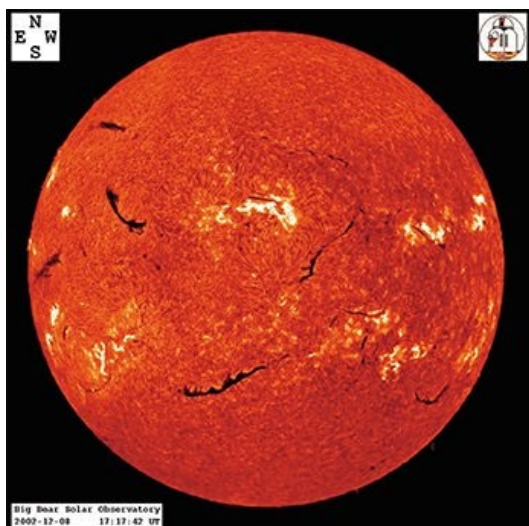


Рис.3. Фотографии солнечной хромосферы: слева – в линии водорода $H\alpha$ (656,3 нм), 04.12.2002, Big Bear Solar Observatory (BBSO); справа – в линии ионизованного гелия $HeII$ (30,4 нм), SOHO, 02.10.2001.

На рис.3 (слева) – изображение хромосферы в линии водорода $H\alpha$ (656,3 нм). Видны яркие флоккулы вокруг солнечных пятен, темные волокна, лежащие на диске. Флоккулы расположены над фотосферными факелами и считаются их хромосферным продолжением. Они имеют сходную структуру с фотосферными факелами, а их название происходит от латинского флоккулис – маленький клочок, пушинка. На рисунке они выглядят как белые пятна. Флоккулы соответствуют областям усиленного магнитного поля. Справа на рис. 3 – детали, видимые на поверхности в линии $HeII$ (30.4 нм). Яркие детали – активные области, темные – каналы волокон, крупные ячейки – хромосферная сетка. На краю видны протуберанцы и корональные петли.

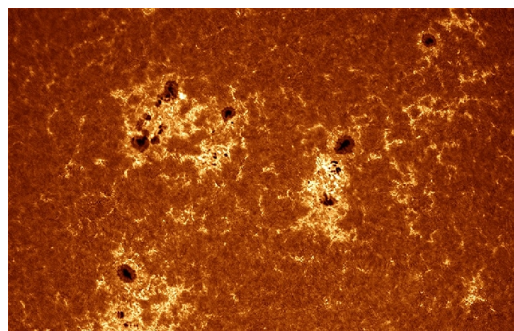
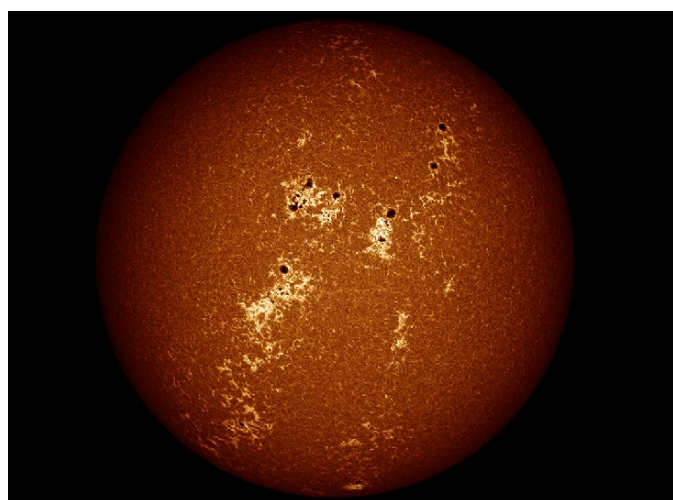


Рис.4. Фотографии солнечной хромосферы в линии ионизованного кальция $Ca II$ (393.4 нм) 18 апреля 2014 года. Видны активные области, хромосферная сетка, пятна.

Хромосфера светится не только в линии водорода $H\alpha$, но и в линиях ионизованного кальция $Ca II$ (рис. 4). Эта линия расположена в фиолетовой части солнечного спектра. В ней наиболее хорошо видна хромосферная сетка, размер ячеек которой около 30 000 км – супергрануляция. Наблюдаемая хромосферная сетка является следствием конвективных движений в более глубоких слоях конвективной зоны Солнца, чем гранулы. Гранулы – верхний ярус конвекции, они наблюдаются в солнечной фотосфере, супергрануляция – второй ярус конвективной зоны. Это излучение было обнаружено и на других звездах солнечного типа. Благодаря этому мы теперь знаем не только о хромосфере Солнца, но и о хромосфере далеких звезд.

Протяженность хромосферы около 15000 км, состоит она из разреженных газов. До 1939 года не было известно о высоких температурах ни хромосферы, ни короны Солнца. Предполагалось, что чем дальше от края Солнца мы продвигаемся в солнечной атмосфере, тем ниже там должна быть

температура. Но на высотах свыше 1000 км над фотосферой начинается медленный рост температуры. Затем температура начинает расти довольно быстро и достигает 15000 К на высоте примерно 15000 км. При такой температуре происходит ионизация водорода и гелия.

Выше хромосферы находится последний слой атмосферы – солнечная корона. Свое название корона получила за красоту. Корона украшает Солнце! В начале XX века в спектре солнечной короны обнаружили неизвестные спектральные линии, которые, как тогда полагали, принадлежат новому неизвестному химическому элементу, получившему название «короний». Однако многочисленные попытки обнаружить короний в земной атмосфере, минералах и вулканических газах оказались безуспешными. Через несколько лет, в 1939 г., астрофизики В. Гротриан и Б. Эдлен доказали, что эти линии принадлежат многократно ионизованному железу. Это стало подтверждением того, что температура в короне должна быть более миллиона градусов! Почему же температура короны примерно в 200 раз выше, чем температура в фотосфере Солнце? По-прежнему это остается загадкой, и ее называют «проблемой коронального нагрева». По-видимому, механизмы нагрева хромосферы и короны должны отличаться. Единого мнения ни о нагреве хромосферы, ни о нагреве короны пока нет. Но мы теперь знаем, что чем выше расположен слой в солнечной атмосфере, тем выше его температура.

Название «хромосфера» связано с её красноватым цветом, вызванным тем, что в её видимом спектре преобладает красная линия излучения водорода (H-альфа). Хромосферу можно наблюдать во время полных солнечных затмений. Вокруг лунного диска, закрывающего Солнце, видны красные выступы – сейчас их называют протуберанцы. Солнечные затмения упоминаются в античных источниках, в европейских средневековых хрониках, с древнейших времён описаны в арабских хрониках и хрониках Китая, а также в русских летописях. Поэтому удивительно, что солнечные выступы не были замечены значительно раньше. Астрономы обратили на них внимание только во второй половине XIX в. Возможно, их просто проглядели и много столетий о выступлениях никто не говорил. А может быть, и замечали, но считали эти выступления обманом зрения.

Только 18 июля 1860 года, когда полное солнечное затмение наблюдалось в Испании, астрономы наконец-то обратили внимание на солнечные выступы и даже успели их зарисовать. Тогда же астрономы стали высказывать различные догадки об их природе и происхождении. Было даже такое предположение, что это видны горы на Луне, освещенные Солнцем, или даже горы на самом Солнце.

Впервые на затмении 18 августа 1868 года в Индии французский астроном П.Ж. Жансен получил спектр солнечных выступов. 19 августа он отправил письмо в Париж с результатами своих наблюдений.

Независимо другой астроном, Д.Н. Локайер в Англии сделал такое же открытие, что и П. Жансен, но на два месяца позже. Письмо Д. Локайер написал и отправил в Париж 20 октября 1868 года. Оба письма были получены в один и тот же день и зачитаны на заседании Парижской академии 26 октября 1868 года, одно через несколько минут после другого. Из Индии письмо П. Жансена шло в Европу больше двух месяцев. П. Жансен и Д. Локайер разработали метод наблюдения протуберанцев и обнаружили в спектре солнечных выступов яркие линии водорода: красную, зелено-голубую и синюю. Но в спектре была еще одна линия – желтая. Что это за линия? Ни Жансен, ни Локайер никак не могли понять. Она находилась в спектре рядом с местом, где наблюдаются желтые линии натрия, но не совсем в том же месте – значит, это не натрий. Откуда же эта линия? Ни одно из веществ, известных химикам того времени, не имело ее в своем спектре. Химики не знали такого вещества на Земле. Похоже, это вещество существует только на Солнце. И это новое вещество, найденное на Солнце, решили назвать именем самого Солнца – «гелий». «Гелиос» по-гречески значит Солнце. Вещество было названо, но о свойствах его тогда еще ничего не было известно. Астрономы высказали только догадку, что гелий, вероятно, очень легкий газ. Ведь когда на солнечной поверхности происходят извержения, то восходящий поток газов захватывает и уносит на огромную высоту только самые легкие вещества. Через 27 лет, в 1895 году, гелий был обнаружен в небольших дозах в земной атмосфере. Сейчас гелий широко используется в промышленности и народном хозяйстве. Он служит наполнителем в многочисленных светящихся рекламных трубках. Во Вселенной гелий занимает второе место по распространённости после водорода (около 23% по массе).

Самые грандиозные образования солнечной атмосферы – протуберанцы. На краю Солнца они видны как выступы, на диске – как темные волокна. Протуберанцы могут подниматься на большие

высоты, до сотни тысяч километров. Скорость вещества в протуберанцах может достигать несколько сотен километров в секунду. Это облака хромосферного газа, висящие в короне. Форма протуберанцев очень разнообразна. Протуберанцы можно увидеть в момент полных солнечных затмений. Время существования протуберанцев составляет от нескольких недель до нескольких месяцев. Такие протуберанцы называют спокойными. Большие протуберанцы наблюдаются редко. Один из самых известных больших протуберанцев наблюдался в 1945 году вблизи максимума солнечного цикла и получил название «Дедушка» (англ. «Granddaddy»). Его высота составила 1.7 млн км. Частота появления протуберанцев, как и частота появления солнечных пятен и других активных явлений, увеличивается с приближением к максимуму солнечного цикла.

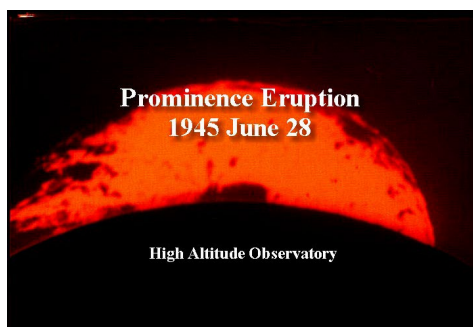


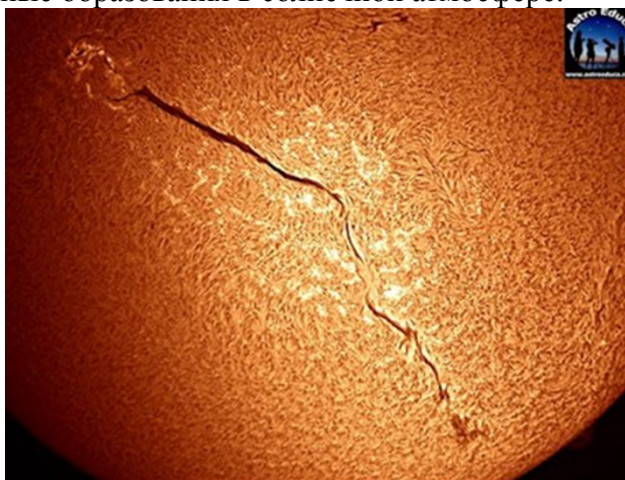
Рис. 5. Эруптивный протуберанец 28 июня 1945 г. «Дедушка» (англ. «Granddaddy»).

Плотность в протуберанцах на два порядка больше, чем в окружающей короне. Масса газа в одном протуберанце очень велика – она примерно в 10 раз меньше массы всей солнечной короны, а его температура в 100 – 500 раз ниже корональной.

Полной теории, объясняющей разнообразные явления, связанные с солнечными протуберанцами, ещё нет. Их плотность существенно выше плотности окружающего вещества, и поэтому они в принципе не должны были бы существовать столь длительное время. Несомненно, что, помимо силы тяжести, тут играют большую роль электрические и магнитные силы.

Протуберанцы не падают в хромосферу потому, что их вещество поддерживается магнитными полями активных областей Солнца. Вещество протуберанца как бы висит на силовых линиях магнитного поля, прогибая их своей тяжестью.

Магнитная природа протуберанцев проявляется в их положении на Солнце. Они видимы на диске Солнца как волокна, всегда располагаются над линиями раздела полярностей радиального магнитного поля – нейтральной линией. Протуберанцы отличаются большим разнообразием форм. Их часто описывают в зависимости от формы: серджи (выбросы), петли, холм, дерево, изгородь, фонтан, занавес, торнадо, корональные облака и др. Протуберанцы разделяются на спокойные (медленные изменения, рис. 6) и активные (эруптивные, взрывные, рис. 5, 7). Спокойные протуберанцы – самые долгоживущие и стабильные образования в солнечной атмосфере.



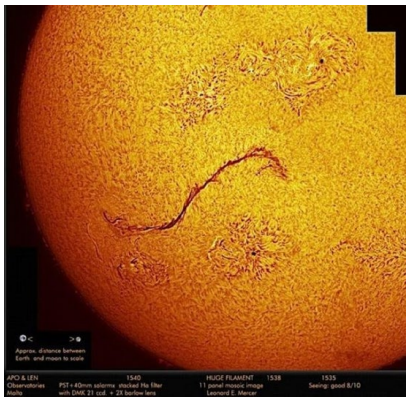


Рис. 6. Примеры спокойных протуберанцев на лимбе и диску Солнца. Приведено изображение Земли для масштаба. Волокно в верхнем ряду имеет длину 1 000 000 км, в нижнем ряду – 400 000 км (расстояние от Земли до Луны – 384 000 км).

У эруптивных протуберанцев можно наблюдать и быстрые изменения и перемещения (рис. 7). Движения вещества в протуберанцах определяются корональными магнитными полями.

В хромосфере наблюдаются самые мощные и быстрые явления солнечной активности – солнечные вспышки. В видимой области спектра в линии водорода $H\alpha$ происходит увеличение яркости солнечной хромосферы. Вспышка длится от нескольких минут до десятков минут и сопровождается выделением энергии до $10^{25} - 10^{26}$ Дж. Энергия большой солнечной вспышки приблизительно в 100 раз превышает тепловую энергию, которую можно было бы получить при сжигании всех разведанных на Земле запасов нефти и угля. Мощность вспышки (10^{22} Дж/с) не превышает сотых долей процента от мощности полного излучения Солнца, составляющей $4 \cdot 10^{26}$ Дж/с. Солнечные вспышки – это уникальные процессы выделения энергии в атмосфере Солнца. Вспышки в хромосфере наиболее хорошо наблюдаются в линии водорода $H\alpha$. Вблизи солнечных пятен появляется несколько ярких точек. Площадь и интенсивность их быстро увеличиваются, и вот на поверхности диска Солнца мы можем видеть две яркие вспышечные ленты (рис.8). А затем яркость вспышечных лент уменьшается и вспышка исчезает в активной области.

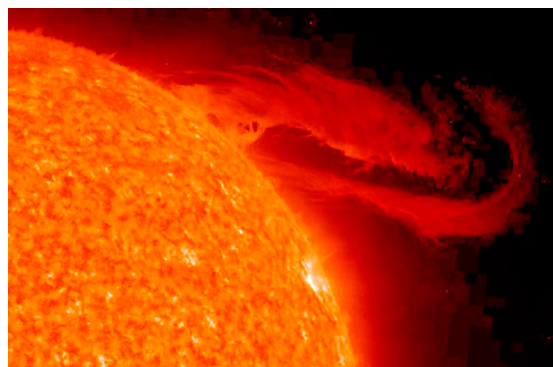


Рис.7. Примеры эруптивных протуберанцев. Слева – протуберанец 16.09.2018 г.

<http://www.astronet.ru/db/apod.html?page=2&d=2018-09>.

Справа – протуберанец 16.09.2008 г. в линии ионизованного гелия He II (STEREO, NASA)

Уже первые внеатмосферные наблюдения с помощью космических аппаратов показали, что солнечные вспышки представляют собой корональное, а не хромосферное явление, как долгое время считали астрофизики. По современным представлениям, вспышка в хромосфере является вторичным эффектом, обусловленным высыпанием в хромосферу вдоль силовых линий магнитного поля потоков плазмы и ускоренных частиц из области первичного энерговыделения в короне. Источник энергии вспышки – магнитное поле в атмосфере Солнца. Оно определяет морфологию и энергетику той активной области, где произойдет вспышка. Здесь энергия поля много больше, чем тепловая и кинетическая энергия плазмы. Во время вспышки происходит быстрое превращение избыточной энергии поля в энергию частиц и изменения плазмы. На рис. 8 приведены фотографии двух вспышек в виде двух узких, ярких лент около солнечных пятен. Вспышка, наблюдавшаяся 6.09.2017 г., была самой сильной вспышкой в 24 цикле солнечной активности, рентгеновского балла X9.3.

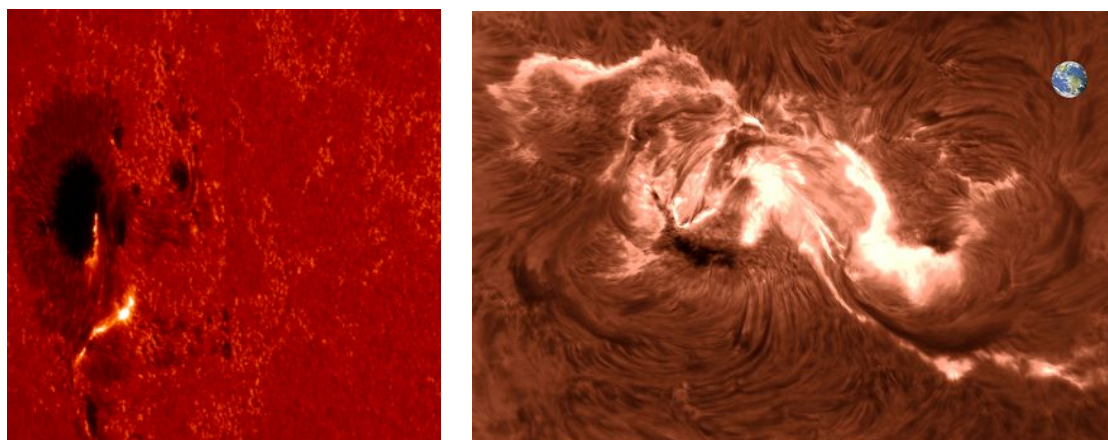


Рис. 8. Двухленточные вспышки. Фотография спутника [Hinode](#) (слева) и SDO (справа, 6.09.2017).

Как уже отмечалось, верхняя граница хромосферы не имеет гладкой поверхности. На лимбе хромосфера весьма неоднородна и состоит в основном из продолговатых вытянутых язычков (спикул) (рис. 9). Спикулы (кончик, остриё) – основные элементы тонкой структуры хромосферы Солнца. Впервые спиколо-подобные структуры были замечены и описаны итальянским астрономом Анджело Секки из Ватиканской обсерватории в 1877 г. Он наблюдал хромосферу в телескоп и сравнил её видимую структуру с «горящими прериями», так горит сухая трава. Спикулы – одно из самых интересных и красивых явлений в хромосфере. Температура этих хромосферных струй в два-три раза выше, чем температура в фотосфере, а плотность в сотни тысяч раз меньше. Спикулы видны как достаточно тонкие, в масштабах Солнца (диаметром от 500 до 1200 км) столбики светящейся плазмы. Эти столбики выбрасываются из нижней хромосферы со скоростью около 20 км/с на 5–10 тыс. км вверх. Отдельная спикула живёт 5–10 минут, её максимальная длина – от 10 до 20 тыс. км. Около миллиона спикул одновременно видно на Солнце (рис. 10). Практически все спикулы находятся на границах супергранул; таким образом, хромосферная сетка состоит именно из них.

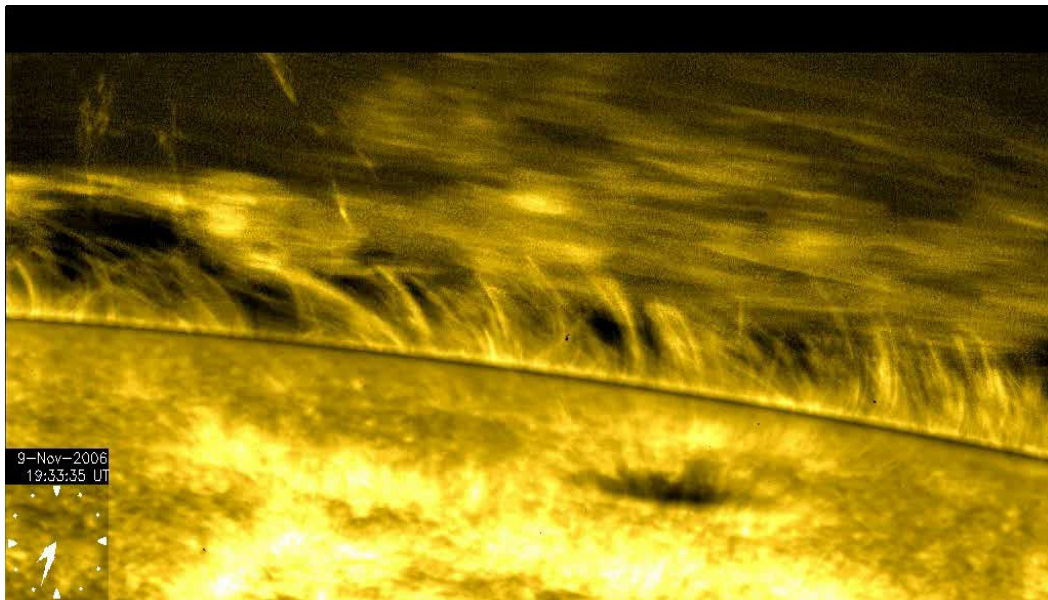


Рис. 9. Спикеры на краю Солнца 09.11.2006 г.

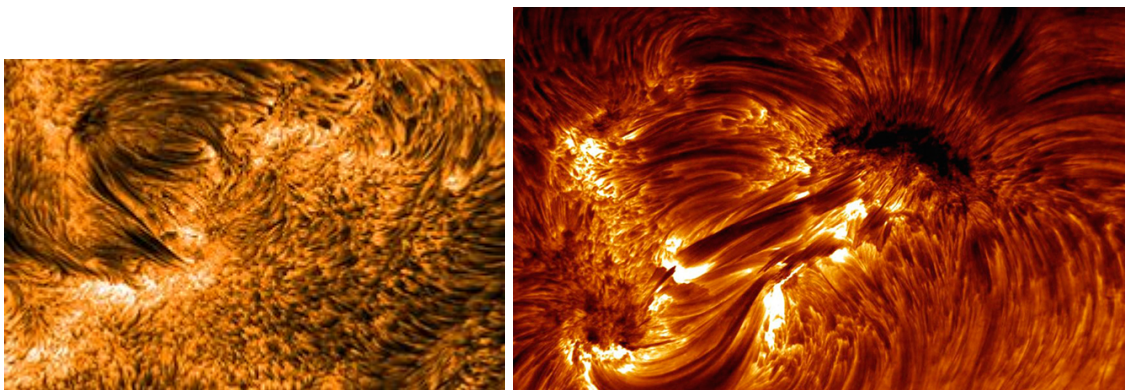


Рис. 10. Структуры хромосферы – спикеры. Слева – фотография хромосферы (Royal Swedish Academy of Sciences) над активной областью Солнца NOAA 10380 в линии водорода H α . Справа: фото Solar-B (Hinode, JAXA/NASA/PPARC).

В 2009 г. Дж. Пасачофф с соавторами обнаружили другой тип спикер, которые имеют совершенно иные свойства, чем классические спикеры. Они использовали наблюдения спикер с высоким пространственным разрешением (0.2 секунды дуги) с помощью шведского солнечного телескопа (SST) и солнечного оптического телескопа (SOT) на борту космического аппарата Hinode. Классические и вновь обнаруженные спикеры авторы соответственно спикерами типа I и II (рис.11). Спикеры типа II движутся гораздо быстрее и имеют более короткое время жизни, чем традиционные спикеры типа I. Скорости спикер типа II превышали 100 км/с, они быстро исчезали. Быстрое исчезновение таких выбросов было аргументом в пользу того, что плазма в спикерах может быть очень горячей, но прямых наблюдательных доказательств не хватает. Действительно, существует два типа спикер: с относительно медленными изменениями, наблюдаемые в спокойных и активных областях Солнца, и с быстрыми изменениями, в корональных дырах (рис.11).

Эти образования связаны с мелкомасштабной структурой магнитного поля и его эволюцией. Наблюдения магнитных полей с высоким пространственным и временным разрешением имеют решающее значение для понимания таких структур в хромосфере и исследование их роли в нагреве внешних слоев атмосферы Солнца.

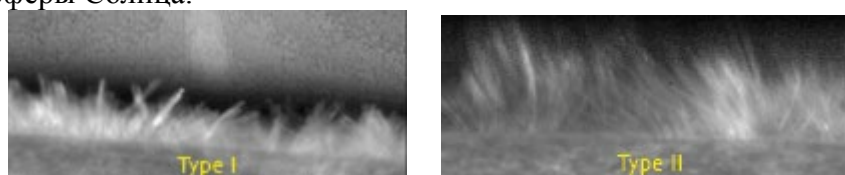


Рис.11. Слева – спикеры типа I в активной области. Их время жизни составляет 3–10 мин, скорости – 10–50 км/с, длина – 3000 км.
Справа – спикеры типа II в корональной дыре. Время жизни – 10–100 с, скорости – 40–150 км/с, длина 10 000 км

В 2017 году американским и норвежским ученым удалось объяснить формирование спикеров. Они построили модель, учитывающую распределение альвеновских волн, которая с высокой точностью воспроизводит параметры и геометрию солнечных спикеров. Эти результаты опубликованы в журнале Science. Альвеновские волны – поперечные магнитогидродинамические плазменные волны, распространяющиеся вдоль силовых полей магнитного поля. Они названы в честь шведского астрофизика Ханнеса Альвена.

Спикеры связаны с более глубокими, чем фотосферные гранулы, элементами конвекции (супергранулами), размер которых около 30 000 км. Время жизни супергранул от нескольких часов до суток. Связанные с ними магнитные поля образуют хромосферную сетку.

Итак, магнитное поле Солнца играет важную роль в формировании солнечной хромосферы и разогреве солнечной короны. В фотосфере, хромосфере и короне проявления солнечной активности весьма различны. Однако они все связаны общей причиной – магнитным полем, всегда присутствующим в активных областях. Как сказал известный российский исследователь Солнца В.Н. Обридко, «Если бы на звездах, и на Солнце в том числе, не было бы магнитных полей, это были бы безжизненные шары, без каких-либо сколько-нибудь серьезных изменений. Просто гигантские шары разной температуры, но на них не было бы того, что мы сейчас называем жизнью»



Солнце и птицы. Фото Алексея Пахомова



Как добываются астрономические знания

ВУЛКАН: ПЛАНЕТА, КОТОРОЙ НЕ БЫЛО

Михаил Юрьевич ШЕВЧЕНКО

кандидат физико-математических наук, член Союза журналистов Москвы

У этой истории были все признаки выдающегося открытия: теоретическое предсказание, телескопическое обнаружение нового небесного тела, присвоение ему собственного названия, выявление более ранних наблюдений этого нового члена Солнечной системы, борьба за приоритет открытия, высшая астрономическая премия ученому за новое открытие «на кончике пера». Но только не оказалось самого главного – самой планеты. Как удалось этой фантомной планете существовать в умах астрономов на протяжении более полувека и что привело к её низвержению? Попробуем разобраться.

Истоки проблемы

В XVII веке два выдающихся события задали новый вектор развития астрономии. Это изобретение телескопа и создание теории тяготения. Телескоп открыл астрономам неведомый доселе мир. Ньютонова теория тяготения определила совершенно иной подход к моделированию движений светил. В течение двух тысяч лет астрономы занимались «спасением явлений» – подгонкой под наблюдаемые движения планет на небе различных кинематических моделей. Исаак Ньютон (1642–1727) очень точно назвал свою книгу: «Математические начала...» (1687 г.), так как он создал физико-математическую основу науки о движениях небесных тел, введя понятие силы тяготения и её действия на расстоянии по определенному закону.

Астрономы XVIII века на плечах такого исполина, как Ньютон, двинулись дальше. Торжеством новой науки стало предсказание возвращения кометы Галлея. Удалось построить настолько точную теорию движения Луны, что она позволила использовать для определения долготы метод лунных расстояний до отобранных звезд. Теория движения планет уже учитывала их взаимное притяжение (теория возмущений). Наконец, удалось решить задачу об устойчивости Солнечной системы.

Параллельно с теорией широкими шагами движется практика. Совершенствуется телескоп и заглядывает всё глубже и глубже в бездонный Космос. Зеркальные телескопы теснят рефракторы. Именно с помощью своего телескопа-рефлектора с объективом диаметром 17,8 см Уильям Гершель (1738–1822) 13 марта 1781 г. открывает Уран. Поначалу он решил, что это комета. Только вычисление показало, что орбита нового члена Солнечной системы круглая. До открытия Урана никто вообще не заикался о планетах за Сатурном. У Иоганна Кеплера (1571–1630) была своя логика – количество планет определяется числом существующих правильных многогранников, а их известно пять. Иммануил Кант (1724–1804) даже после открытия Урана ещё писал о невозможности существования большего, чем шесть, числа планет. И всё же после открытия Гершеля табу было снято, и астрономы стали искать планеты везде: внутри орбиты Меркурия, между Марсом и Юпитером, за Ураном – и вполне обоснованно.

Движение Урана не подчинялось закону тяготения. Он то ускорялся, то отставал от теории своего движения. Как будто временами что-то его тянуло назад, а временами тащило вперед. И этим *что-то* могла быть трансурановая планета. Это допускали многие астрономы, в том числе и директор Парижской обсерватории Франсуа Араго (1786–1853), который поручил разобраться с проблемой своему молодому сотруднику Урбену Леверье.

Поскольку Леверье – главный герой повествуемой истории, уместно сказать несколько слов о нем. Урбен Жан Жозеф Леверье родился 11 марта 1811 г. в небольшом городке Сен-Ло на северо-

западе Франции. Отец чиновник, мать – из обедневшей аристократической семьи. Родители очень любили своего единственного сына. Ради его хорошего образования они даже продали свой дом. Первые научные интересы Леверье связаны с химией, он работал некоторое время у Гей-Люсака (1778–1850). Затем молодой ученый заинтересовался астрономией.



Рис. 1. Портрет Леверье кисти Шарля Давердуена (1846 г.).

Характер у него был непростой. Камиль Фламарион (1842–1925), работавший несколько лет в Парижской обсерватории под руководством Леверье, характеризует его как высокомерного бескомпромиссного деспота, презрительно относящегося к сотрудникам обсерватории, как к своим собственным рабам. В обычной жизни с нужными ему людьми Леверье мог быть совершенно другим. Художник Шарль Давердуен (1813–1895), рисовавший его портрет в 1846 г. (рис.1), отзывался о нем, как о добродушном веселом человеке. Леверье был невероятно тщеславным и падким на всякие почести. Однажды, будучи в портовом городе Шербур, он прослышал о прибытии русской эскадры. Он тут же телеграфировал жене, чтобы она срочно выслала ему его российские ордена. На следующий день ученый, облачившись в широкую орденскую ленту, в сопровождении префекта, нанес визит адмиралу на флагманском корабле. Как только Леверье подошёл к военному судну, к великому изумлению префекта, раздался пушечный залп. Так адмирал отдал честь российским орденам, увидев их на груди именитого француза, и позволил ему лишний раз потешить своё самолюбие. При всем при этом Леверье был ученым с большой буквы, искусным математиком, фанатично преданным своему делу.

Он принимает предложение директора Парижской обсерватории и берется за аномальное движение Урана. Леверье решает непростую задачу: по возмущениям в орбите Урана установить положение на небе неизвестной планеты, которая служит причиной этих возмущений. И вот долгая изнурительная работа закончена.

Триумф теории

За полтора столетия, прошедших от работы Ньютона, небесная механика ушла далеко вперед, обогатившись новым мощным математическим аппаратом. То, что делал Кеплер в начале XVII века, месяцами сидя за вычислениями орбиты Марса, может теперь показаться детскими шалостями. 250 страниц работы Леверье испещрены сложнейшими формулами и вычислениями (рис. 2). Леверье называет свою работу «Исследование движений планеты Гершеля». Любопытно, что автор не

использует в названии имя планеты – Уран, – а именует её «планетой Гершеля». Вероятно, уже тогда тщеславный астроном мечтает об открытии новой планеты, которую назовут его именем – Леверье (как хорошо известно, эта идея не нашла поддержки, и новая планета получила традиционное имя римского божества). В конце августа 1846 года ученый представляет доклад Французской академии о существовании новой планеты, где приведены её предполагаемые небесные координаты, но французские астрономы не торопятся проверить его расчеты. Однако молодому ученому не терпится узнать, насколько небо подвластно его теории.

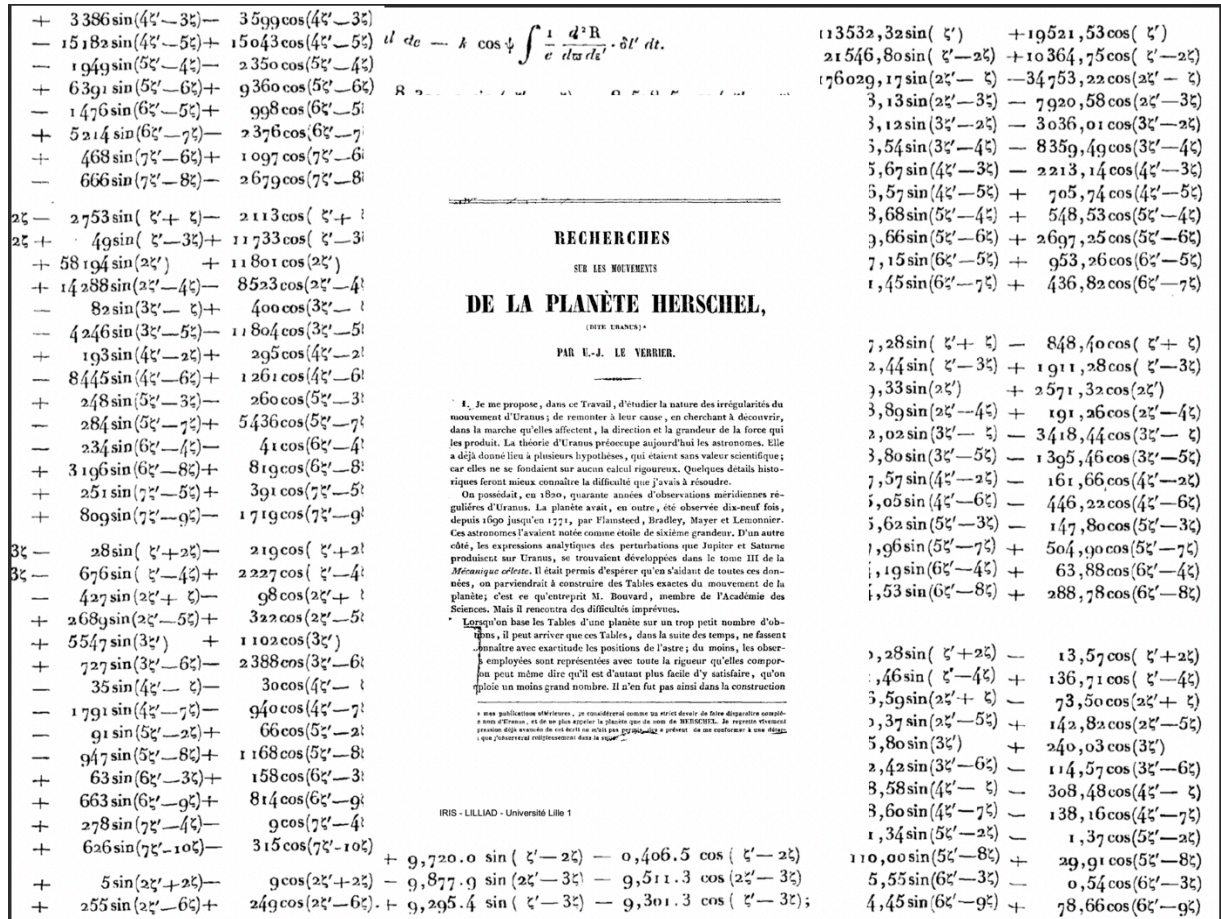


Рис. 2. Страницы из работы Леверье «Исследование движений планеты Гершеля».

Тогда он вспоминает про своего ровесника из Берлинской обсерватории Иоганна Галле (1812–1910), который примерно год назад прислал ему свою диссертацию, посвященную анализу наблюдений Урана Оле Рёмером (1644–1710), а он так и не удосужился ответить. Кроме того, в новом здании Берлинской обсерватории (рис. 3), отстроенном в 1835 г., находился отличный рефрактор Фраунгофера.

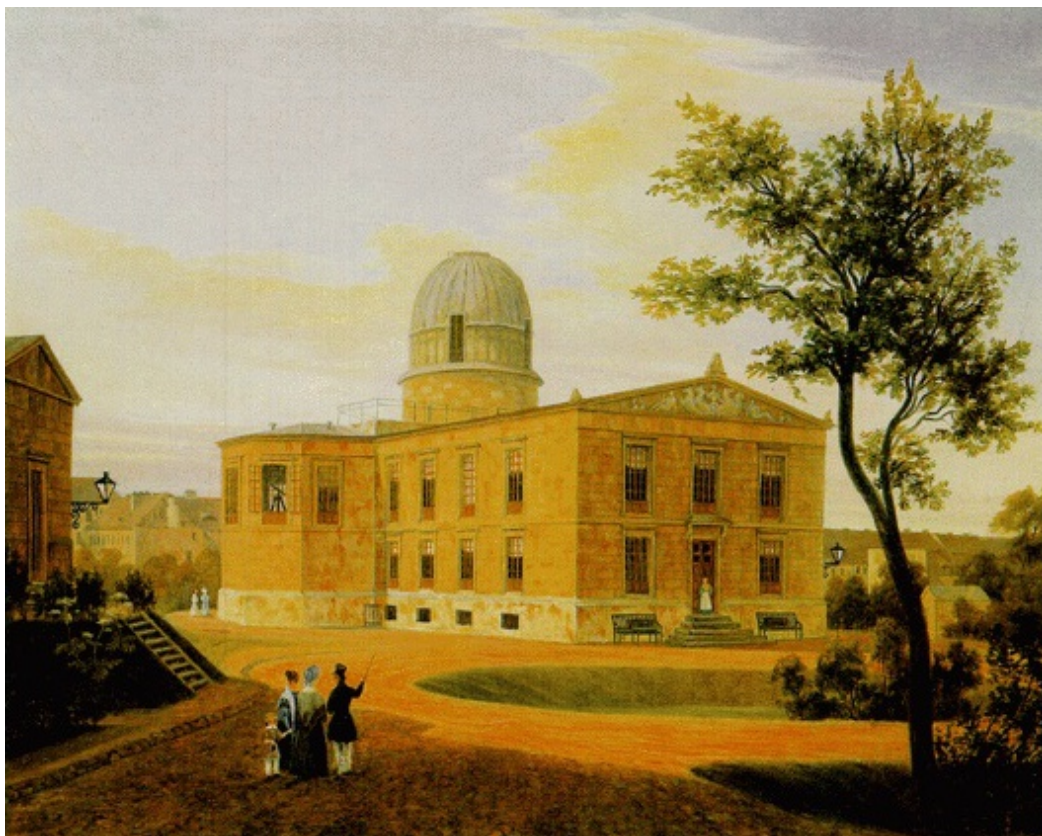


Рис. 3. Берлинская обсерватория в 1835 г.

И вот 18 сентября 1846 г. Леверье пишет Галле письмо. Благодарит его за присланную диссертацию. И далее:

Сейчас я в поиске неутомимого наблюдателя, который был бы готов потратить некоторое время на исследование известного мне участка неба, где может находиться ещё не открытая планета. К этому результату меня привела теория движения Урана.

Обратите внимание на слово «неутомимого». Леверье понимает, насколько необычную задачу он ставит. Кто знает, сколько времени на неё может уйти: дни, недели или даже месяцы?

Через пять дней, 23 сентября, Галле получает письмо Леверье. В тот же вечер он приступает к наблюдениям на упомянутом рефракторе Фраунгофера. Этот телескоп сохранился до сегодняшнего дня и находится в музее в Мюнхене (рис. 4). Инструмент превосходный, Галле и его шеф Иоганн Франц Энке (1791–1865) уже отличились открытиями новых деталей колец Сатурна. Такой же телескоп был в Дерптской обсерватории, на нем Вильгельм Струве (1793–1864) проводил измерения параллаксов звезд. Это крупнейшие рефракторы того времени.



Рис. 4. Рефрактор Фраунгофера (объектив: двухлинзовый ахромат 24,4 см, фокусное расстояние: 432 см, параллактическая монтировка с часовым механизмом) Берлинской обсерватории.

Сначала Галле пытается воспользоваться советом Леверье и поискать объект с угловым размером 3 секунды. Ничего не обнаружив, он берет новую очень точную карту неба, только что подготовленную его немецким коллегой Карлом Бремикером (1804–1877), которая на этот момент было только в Берлинской обсерватории, и, перебирая одну за другой звезды на указанном Леверье участке неба, буквально через полчаса находит новую планету. Это был поистине в прямом и переносном смысле звездный час астрономии, когда в одном фокусе сошлись высокий профессионализм, лучший инструментарий и явная удача. Даже не понадобился неутомимый наблюдатель. В следующий вечер Галле убеждается в том, что он не ошибся: обнаруженный им объект переместился в нужном направлении и с правильной скоростью.

25 сентября он пишет ответ Леверье:

Месье, планета, положение которой Вы мне указали, существует действительно. Получив Ваше письмо, я в тот же день обнаружил звезду восьмой величины, отсутствующую на превосходной карте д-ра Бремикера...

Фрагмент письма воспроизведен на рис. 5. Галле пишет ответ по-французски. Сначала он написал «действительно существует», затем, подумав, переставляет слова местами, делая акцент на слове «существует». Это слово гораздо важнее: *существует* ещё одна планета, и её существование, местоположение на небе точнейшим образом предсказано теоретически!

В течение следующих дней на Леверье буквально обрушилась слава. Он становится членом академий разных стран. Лондонское королевское общество вручает ему высшую научную награду – золотую медаль Копли (это была в то время самая престижная научная награда). Многие государства, включая, как мы помним, Россию, награждают его орденами. Его знаменитость выходит далеко за пределы науки.

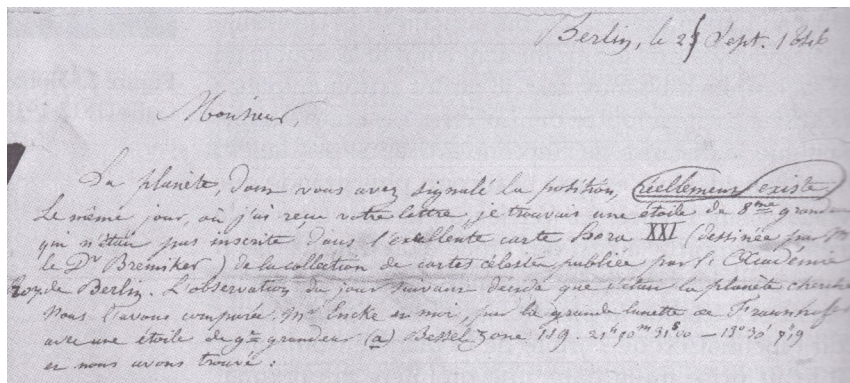


Рис. 5. Фрагмент письма Галле к Леверье от 25 сентября 1846 г.

Вот любопытный пример невероятной популярности ученого. Габриэль Жюль Жанен (1804–1874) – человек из совершенно другой сферы деятельности, известный в то время французский писатель и журналист. К тому времени он автор более полутора десятков книг (всего четырех десятков), о которых хвалебно отзывался Пушкин. Вот что он пишет жене:

Я видел человека, который открыл новую звезду, чье имя будут повторять в веках. Я говорил с ним, но что я такое сам по сравнению с Леверье? – увы, не более как жалкий пигмей.

Сегодня звучит такое практически невероятно. И вместе с тем, спустя полтора столетия Леверье и сейчас является одним из самых знаменитых ученых Франции.



Рис. 6. Память о Леверье увековечена самыми разными способами.

Память о нем увековечена самыми разными способами (рис. 6). На месте, где раньше стоял его дом, проданный, как уже говорилось, его родителями, находится мемориальная табличка: «Здесь находился дом, в котором родился астроном Урбан Леверье». Около старого здания обсерватории в Париже установлен памятник ученому в полный рост; его имя носит улица в Париже и ещё улицы и площади в 11 городах Франции; его имя присутствует на Эйфелевой башне среди 72 выдающихся французских деятелей науки и техники; он изображен на купюре 50 франков, выпущенной к столетию открытия Нептуна; есть памятная марка, медаль за достижения в области метеорологии. 20-километровый кратер в центре Моря Дождей назван именем Леверье. Наконец, астероид и одно из колец Нептуна также носят его имя.

Казалось бы, можно расслабиться, что ещё нужно, чтобы просто почивать на лаврах? Однако ученый ставит перед собой ещё более амбициозную задачу: построить заново теорию движения всех планет. На это уходит 13 лет.

Новая аномалия

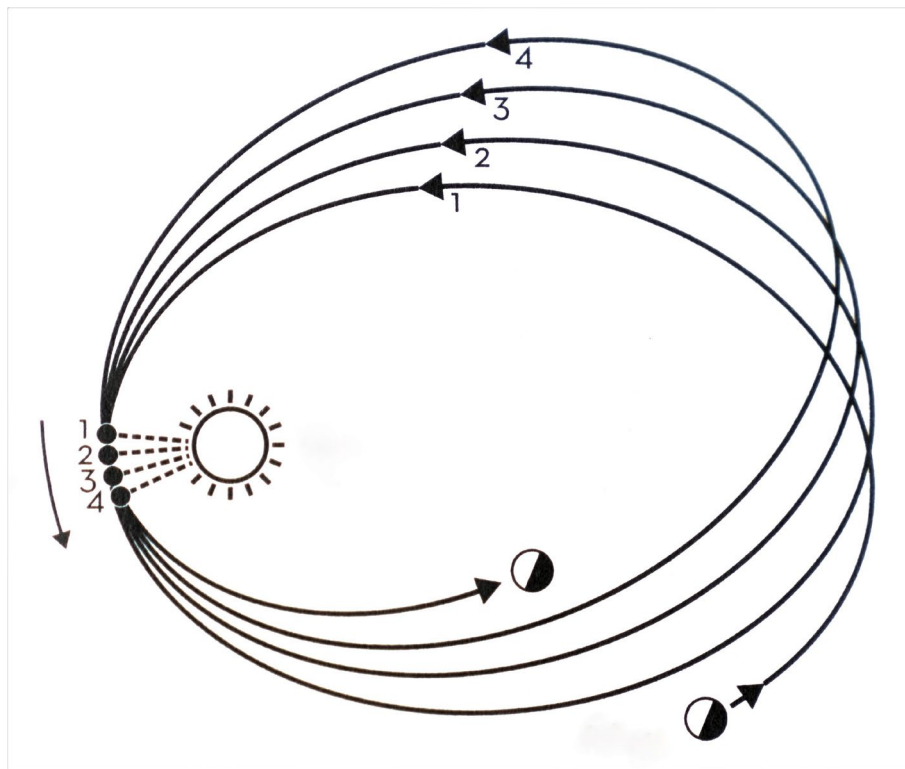


Рис.7. Смещение перигелия Меркурия.

Особенно его интересует орбита Меркурия. В простейшем кеплеровом случае, когда есть только два тела: массивное и небольшое, вращающееся вокруг него, движение происходит по неподвижному эллипсу. Если мы начнем учитывать возмущающее (то есть отклоняющее) действие всех других планет, то сама орбита тоже приходит в движение. Например, она начинает вращаться в своей плоскости, что приводит к смещению перигелия, как показано на рис. 7. Это очень небольшая величина, какие-то угловые секунды в год, но небесная механика в состоянии её выявить. Точным наблюдениям положений Меркурия способствует его прохождение по диску Солнца, когда можно уверенно зафиксировать моменты времени контактов двух дисков и их координаты. Леверье анализирует 21 такое прохождение за период в полтора столетия (с 1697 по 1848 гг.). Перед этим он уточняет теорию движения Солнца, опираясь почти на 9 тысяч меридиональных наблюдений нашего дневного светила, выполненных в разных обсерваториях. И вот что получается (Таблица 1).

Таблица 1. Вклад возмущающего действия планет в смещение перигелия Меркурия.

Планета	Смещение перигелия Меркурия (в угловых секундах за 100 лет)
Венера	280,6
Юпитер	152,6
Земля	83,6
Сатурн	7,2
Марс	2,6
Уран	0,1
Итого (теория)	526,7
Наблюдения	565
Расхождение	~38

Леверье обнаруживает anomальное расхождение между теорией и наблюдениями в размере 38 угловых секунд. Это величина весьма значимая, и это проблема. Откуда она взялась?

В номере от 12 сентября 1859 года еженедельных «Докладов академии наук» Леверье публикует письмо своему коллеге, секретарю Академии Эрве Файю (1814–1902), в котором излагает свои мысли по поводу anomального смещения перигелия Меркурия и высказывает предположение о существовании планеты внутри орбиты Меркурия или нескольких небесных тел. Он приводит

параметры гипотетической планеты: масса, примерно равная массе Меркурия; расстояние от Солнца вдвое меньше, чем у Меркурия. Фай отвечает, что обнаружить новую планету можно во время полного солнечного затмения, когда будут беспрепятственно доступны для наблюдения окрестности Солнца.

В те годы выходил научно-популярный журнал «Космос» (рис. 8). Также еженедельный. Доклады академии наук пользовались пристальным вниманием редакции «Космоса». Журнал сообщает о новой работе знаменитого ученого. Неужели история славы повторяется? Леверье предсказывает существование ещё одной планеты? «Космос» читают по всей Франции. Он доходит до небольшого городка в ста километрах к югу от Парижа с населением всего в полтысячи человек под названием Оржер-ан-Бос, где живет скромный доктор Эдмон Модест Лескарбо (1814–1894).

Нам он интересен не как врач, а как увлеченный с детства любитель астрономии, у которого была собственная обсерватория. Он дружил с известным популяризатором астрономии Камилем Фламарионом (1842–1925), и тот отзывался о Лескарбо с большой симпатией. Он построил горизонтальные солнечные часы в парке одного старинного замка. 8 мая 1845 г. Лескарбо наблюдал прохождение Меркурия по диску Солнца. Он читает в журнале «Космос» о предсказании Леверье существования интрамеркурианской планеты и вспоминает своё весеннее наблюдение.

26 марта 1859 г. во второй половине дня стояла хорошая погода, и он направил свой инструмент на Солнце. И тут же его внимание привлекает небольшое ровное круглое пятно на солнечном диске. Он пропустил момент, когда объект коснулся диска. Лескарбо засекает время: 3 часа 59 минут, и далее он неотрывно наблюдает, как пятно пересекает солнечный диск и покидает его через 1 час 17 минут.

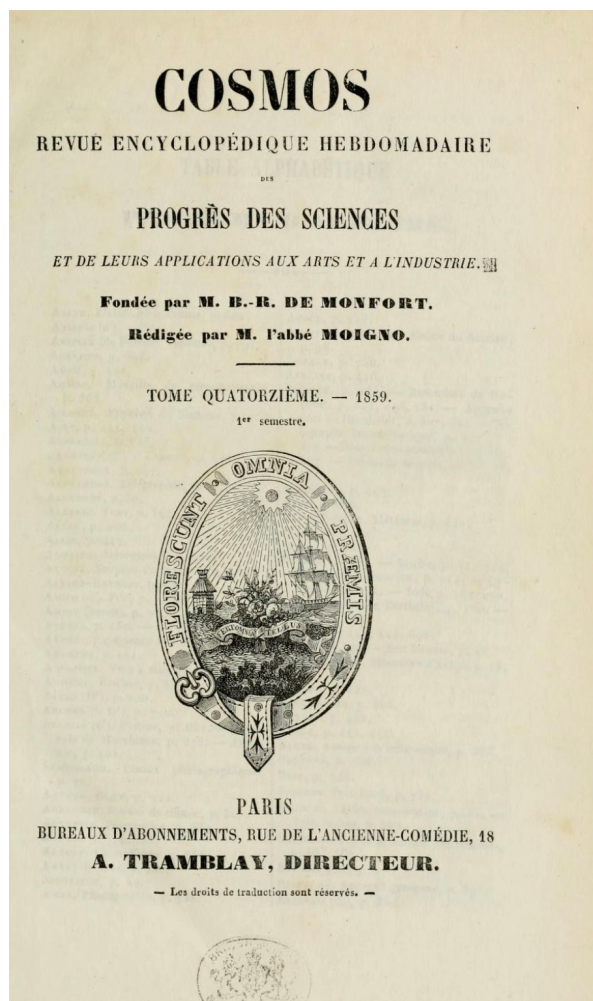


Рис.8. Титульный лист научно-популярного еженедельника «Космос» (1859 г.).



Рис.9. Меркурий (слева внизу) на диске Солнца во время прохождения в 2016 г.

Чтобы представить себе, как это всё видно, воспользуемся современной фотографией Солнца во время прохождения Меркурия (рис. 9). Планета выглядит на солнечном диске черным четко очерченным кружком в отличие от солнечных пятен, которые обычно имеют неправильную рваную форму и состоят из двух частей: центральной черной тени и более светлой внешней полутени. Правда, иногда встречаются небольшие круглые пятна, с которыми можно перепутать планету. А только зарождающиеся пятна зачастую не имеют полутени. Однако планета перемещается по диску в течение всего нескольких часов, тогда как пятно – почти две недели. Перепутать невозможно, если наблюдение не одномоментное, а длится какое-то время.

Девять месяцев Лескарбо не знал, что делать с этим наблюдением и вот это сообщение! 22 декабря он пишет подробное письмо Леверье и просит своего знакомого г-на Валле, транспортного инженера, передать его лично именитому ученому. Через несколько дней Леверье держал письмо в руках. Его раздирали сомнения. Но был один способ избавиться от них. Отправиться к Лескарбо и всё выяснить на месте. И несмотря на то, что он обещал близким вместе встретить новый год, 30 декабря Леверье отправляется в Оржер.

Сегодня на машине расстояние между городами можно преодолеть за полтора часа. Но тогда автомобилей ещё не было, и ученый в сопровождении г-на Валле добирался на поезде. Однако от железнодорожной станции до городка ещё почти 25 км. Это расстояние Леверье со своим спутником преодолевают пешком.

Не успел доктор Лескарбо открыть дверь, как Леверье на него буквально обрушился: «Это Вы, месье, который претендует на наблюдение интрамеркурианской планеты, и Вы посмели держать его в секрете все девять месяцев? Предупреждаю Вас, – не ослабевает напор ученый, – я приехал сюда, чтобы с максимальной тщательностью всё проверить». Лескарбо выдержал суровый экзамен, длившийся в течение нескольких часов. Он показал свой 10-сантиметровый рефрактор с фокусным расстоянием 122 см, спокойно и обстоятельно ответил на все вопросы. Свое 9-месячное молчание он объяснил желанием сделать повторное наблюдение и уже потом всё сразу опубликовать.

Леверье полностью удовлетворен услышанным, уже 2 января 1860 г. делает сообщение в Академии о наблюдении предсказанной им планеты и вслед за этим публикует параметры нового члена Солнечной системы, полученные по материалам наблюдений Лескарбо (Таблица 2).

Таблица 2. Параметры новой планеты и её орбиты.

Параметр	Величина
Расстояние от Солнца	0,1427 а.е.
Период обращения вокруг Солнца	19,7 суток
Наклонение орбиты	12°58'52"
Максимальная элонгация	7°
Угловой диаметр	0,235 $D_{\text{Меркурия}}$

Поскольку требуемая теорией масса интрамеркурианской планеты должна равняться массе Меркурия, то сразу стало ясно: одной этой, увиденной Лескарбо, планеты недостаточно из-за её малого размера и требуется наличие, как и предполагал Леверье, ещё несколько астероидоподобных объектов. Леверье также подсчитал, что от двух до четырех раз в год новоиспеченная планета должна проходить по диску Солнца.

Мировая пресса снова пишет об открытии новой планеты. Лескарбо тоже становится знаменит. Фотография его дома попадает на почтовые открытки (рис. 10). Меньше чем через месяц после встречи с Леверье скромный доктор награждается знаком отличия Ордена почетного легиона – это высшая форма официального признания особых заслуг перед Францией. В скобках заметим, что Галле, действительно открывший планету, не был удостоен таких государственных почестей, как Лескарбо. Правда, когда спустя десятилетия выяснилось, что интрамеркурианской планеты не существует, да и сам Лескарбо более никогда ничего подобного не наблюдал, то орден без лишнего шума отобрали. Сейчас тем более уже абсолютно всё ясно с этой историей, однако, тем не менее, Лескарбо – человеку, который ничего не открыл, – посвящена целая страница в современном международном издании, четырехтомной биографической энциклопедии астрономов. При этом среди 1800 других знаменитых астрономов в этой энциклопедии не нашлось места, например, Аллану Сэндиджу (1926–2010), одному из ведущих астрономов XX века, лауреату многих астрономических наград, первым давшим хорошую оценку постоянной Хаббла. Но не будем отвлекаться на превратности судьбы

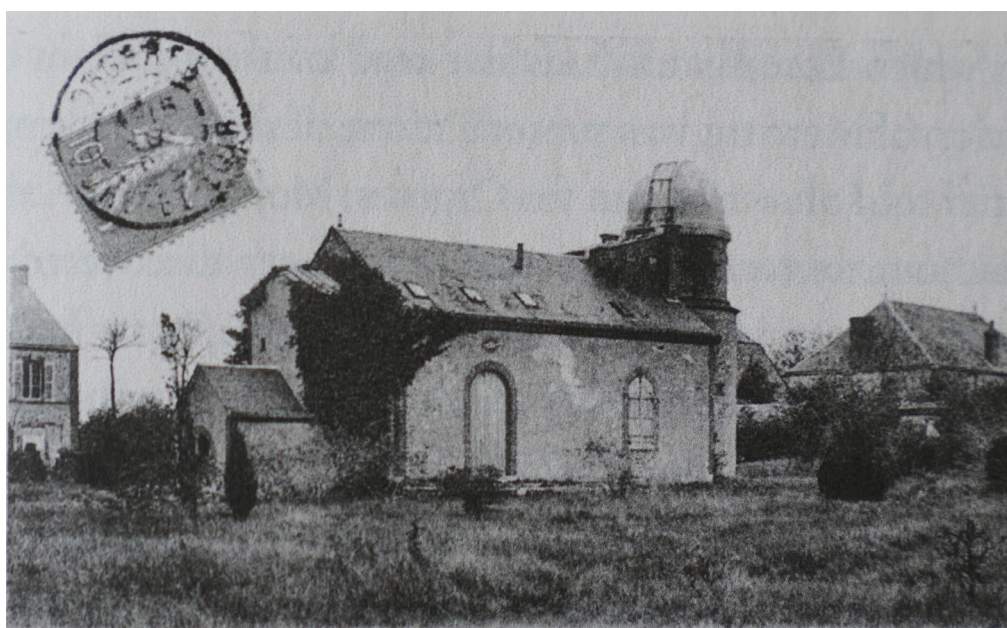


Рис.10. Дом-обсерватория доктора Лескарбо (в 1863 г.) на почтовой открытке.

Название Вулкан было припасено уже давно. На карте Солнечной системы, датированной 1846 годом (рис. 11) ещё нет Нептуна, а вот Вулкан уже присутствует. Не прошло и недели после заявления Леверье о наблюдении новой планеты, как английская газета «Таймс» опубликовала интервью с казначеем Лондона Бенджамином Скоттом (1814–1892), занимавшим большой городской чин, который он занимал более 30 лет, уважаемым человеком и при этом фанатичным любителем астрономии, заявившим, что он ещё в середине лета 1847 года наблюдал интрамеркурианскую планету, которая пересекла диск Солнца и была размером с Венеру. Позже подобные заявления сделали и другие наблюдатели.



Рис.11. Солнечная система, какой её представляли в 1846 г.

Планета-призрак

Вслед за этим швейцарский астроном Рудольф Вольф (1814–1893), известный своими исследованиями солнечных пятен, пересмотрел большой массив зарисовок Солнца и обнаружил 31 случай, когда солнечное пятно могли перепутать с потенциальным Вулканом. Он незамедлительно отправляет эти материалы Леверье. Подключаются и другие астрономы. Немецкий астроном Рудольф Радау (1835–1911) по данным Вольфа предвычисляет ближайшее прохождение Вулкана по диску Солнца – с 29 марта по 7 апреля 1860 г. Астрономы трех южных обсерваторий – одной в Индии и двух в Австралии меняют программы наблюдений и мониторят Солнце десять дней подряд с интервалом в полчаса – безрезультатно.

Однако в последующие несколько лет то и дело из разных концов света поступали сообщения как от авторитетных наблюдателей, так и от любителей астрономии, будто бы они видели круглое черное пятно, быстро пересекающее солнечный диск. Причем в некоторых случаях эти наблюдения хорошо соответствовали наблюдению Лескарбо. В 1868 году Британское королевское астрономическое общество награждает Леверье за открытие ещё одной планеты своей высшей наградой – золотой медалью, которая вручается за выдающиеся достижения. Планету ищут не только на самом диске Солнца, но и в непосредственной близости – во время полных затмений. В следующем, 1869 году, во время очередного такого затмения четыре специалиста видели невооруженным глазом неопознанную звезду на расстоянии примерно в полградуса от края солнечного и соответственно лунного дисков. Это же затмение также наблюдал астроном Бенджамин Гулд (1824–1896), известный ученый, учредитель *The Astronomical Journal*, ведущего и по сей день периодического профессионального издания. Он сделал четыре десятка фотографий полной фазы с помощью астрографа (рис. 12), но никаких следов Вулкана не обнаружил.

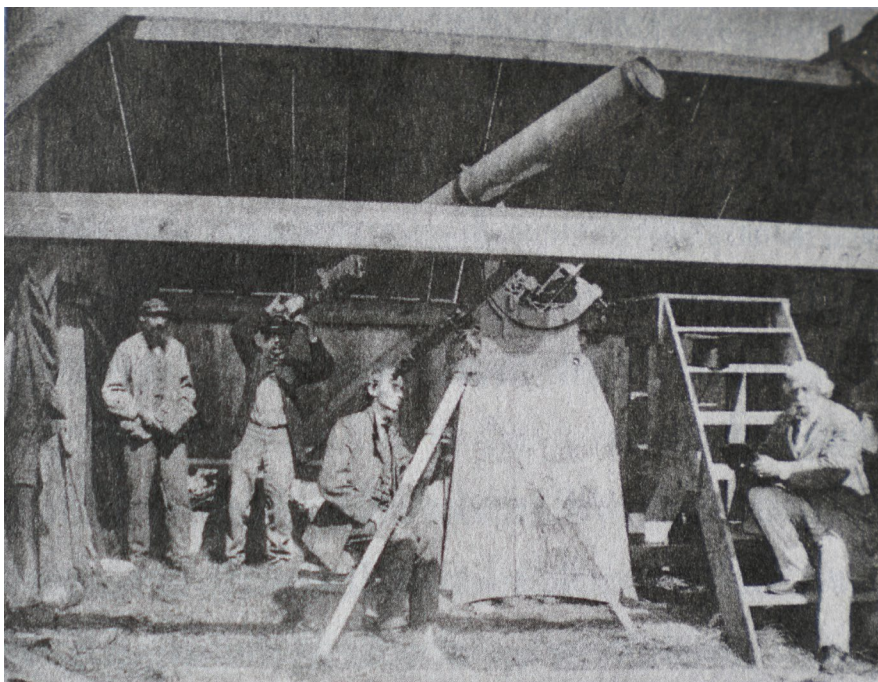


Рис.12. Астрограф Бенджамина Голда готов к наблюдению затмения (1869 г.).

Идут годы, ситуация остается подвешенной. Астрономы пересчитывают параметры орбиты планеты, вводят всякие разные допущения, пытаются реабилитировать неуловимую планету. Гигантский авторитет Леверье продолжает удерживать огромные профессиональные ресурсы на этой проблеме.

В это время поиском Вулкана занимался ещё один энтузиаст. Почему-то именно люди, связанные с медициной, были активными вулканоискателями. Речь идет о неутомимом астрономе-любителе и фармацевте Самуэле Генрихе Швабе (1789–1875), который с 1826 г., когда Леверье ещё в школу ходил, на протяжении 43 лет (по 1867 г.) чуть ли на каждый ясный день наблюдал и зарисовывал солнечный диск. Сохранилось около 8,5 тыс. его рисунков, сделанных за все эти годы (рис. 13). У него тоже был рефрактор Фраунгофера, но в два раза скромнее, чем в Берлинской обсерватории и у Струве. Он был одержим поиском интрамеркурианской планеты, но, потерпев на этом поприще фиаско, сделал интереснейшее открытие – обнаружил 11-летний цикл солнечной активности.

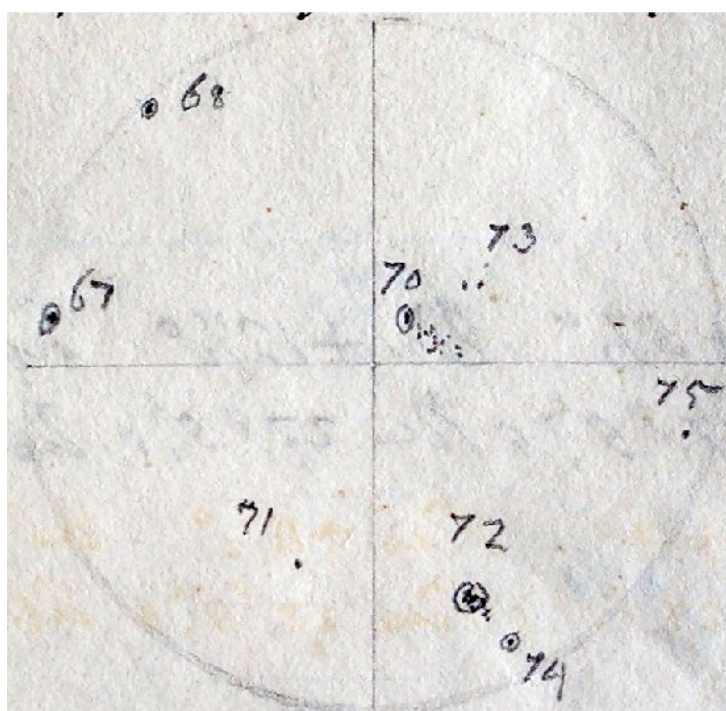


Рис.13. Один из рисунков Солнца Генриха Швабе от 11 апреля 1836 г.

В 1877 г., 23 сентября, заметим, в день открытия Нептуна, в возрасте 66 лет уходит из жизни Урбен Леверье (рис. 14). Но астрономическая жизнь не останавливается и энтузиазм специалистов пока не иссякает. 29 июля 1878 г. полоса полного солнечного затмения проходила через всю территорию США, и американские астрономы готовятся к очередному поиску Вулкана. Конечно, помимо этого, было запланировано и много других важных наблюдений и экспериментов, связанных с изучением самого Солнца.

Затмение волновало не только астрономов, но и широкую общественность. Газета «Чикаго таймс» от 22 июля на первой полосе разместила карту полосы затмения (рис. 15). Даже политический журнал «Харперс Уикли», популярный в то время американский еженедельник, вынес на обложку номера от 24 августа картину затмения (рис. 16). Так все ждали 29 июля.



Рис. 14. Могила Леверье на Монпарнасском кладбище в Париже.



Рис. 15. Первая страница газеты «Чикаго таймс» от 22 июля 1878 г.



Рис. 16. Обложка журнала «Харперс Уикли» от 24 августа 1878 г.

И вот этот день наступает. Экспедиции распределились по всей полосе затмения. Сохранились уникальные фотографии из трех пунктов. Астрономы на рис. 17 обращают на себя внимание своим изысканным дресс-кодом, несмотря на полевые условия – все в белых рубашках, галстуках и шляпах. На рис. 18 второй справа сидит Чарлз Юнг (1834–1908), известный американский астроном, автор астрономического бестселлера «Солнце», получившего мировую известность, чуть ниже мы обратимся к другой его книге. Самая представительная компания собралась в городке Ролинс (рис. 19). Возглавлял экспедицию Генри Дрейпер (1837–1882), один из пионеров астрофотографии. Здесь и Норман Локьер (1836–1920), первопроходец в области астрономической спектроскопии, открывший гелий, основатель журнала *Nature*, и Джеймс Уотсон (1838–1880), директор Детройтской обсерватории, открывший 22 из 188 известных на тот момент астероидов (на фотографии – шестой справа), и Саймон Ньюком (1835–1909), продолживший работы Леверье по разработке теорий движения планет и позднее уточнивший величину аномалии смещения перигелия (43 угловые секунды). Вторым справа стоит, сложив руки на груди, сам Томас Эдисон (1847–1931), знаменитый изобретатель. В той или иной мере каждый из них интересуется поиском Вулкана.

Начинается полное затмение. Его продолжительность – 3 минуты 11 секунд. Джеймс Уотсон тщательно просматривает окрестности Солнца в свой телескоп и обнаруживает сначала одну неизвестную ему звезду примерно 4,5 звездной величины, а потом и вторую. В другом месте за затмением следил ещё один опытный наблюдатель, открыватель комет Льюис Свифт (1820–1913), и

он подтвердил увиденное Уотсоном, но позже оказалось, что положение обнаруженных ими светил не совпадало.



Рис.17. Группа астрономов в Форт-Уорт, штат Техас.



Рис.18. Команда астрономов из Принстона в Денвере, штат Колорадо.



Рис. 19. Экспедиция во главе с Генри Дрейпером в Ролинсе, штат Вайоминг.

На следующий день после затмения, 30 июля, газета «Нью-Йорк Таймс» писала: «Профессор Уотсон открыл экстримеркурианскую планету 4,5 звездной величины» (рис. 20). Журналисты, как это часто бывает, перепутали характеристику планеты (не «экстра», а «интра»), но не в этом суть. Еще через несколько дней в той же газете Уотсон заявил буквально следующее: «За минуту до окончания затмения я обнаружил звезду 4,5 звездной величины, которая сразу привлекла моё внимание своим внешним видом и положением на том участке неба, где нет известных звезд. У нее был заметный диск, отличающий её от обычной звезды. Объект не демонстрировал ни малейших признаков удлинения, что могло бы указывать на комету, находящуюся вблизи Солнца. Его положение я определил по отношению к Солнцу и соседним звездам методом, исключающим возможность ошибки. Я имею полное основание заявить, что это была внутренняя планета». Это заявление директора обсерватории, не скромного любителя, каким был Лескарбо. Судя по описанию видно, что хотя у Уотсона была всего минута, он всё успел сделать.

Вскоре после затмения появилась книга Генри Уайта Уоррена (1821–1912) «Занимательная астрономия» (рис. 21). Она была в свое время очень популярной и даже до сих пор переиздается в репринтном варианте. По поводу интересующих нас событий автор написал следующее:

Теперь установлено, что профессор Уотсон и Льюис Свифт, известный открыватель комет, открыли каждый по два малых тела – всего четыре – внутри орбиты Меркурия. Вместо одного Вулкана, несомненно, имеется множество планетоидов. Вулкан был виден также во время затмения 11 января 1880 г. Он находится на расстоянии примерно 13 000 000 миль (20 800 000 км) и совершает один оборот вокруг Солнца за двадцать дней.



Рис.20. Первая страница газеты «Нью-Йорк Таймс» от 30 июля 1878 г., а также два фрагмента той же газеты с материалом об открытии Вулкана. Слева – от 30 июля, справа – от 8 августа

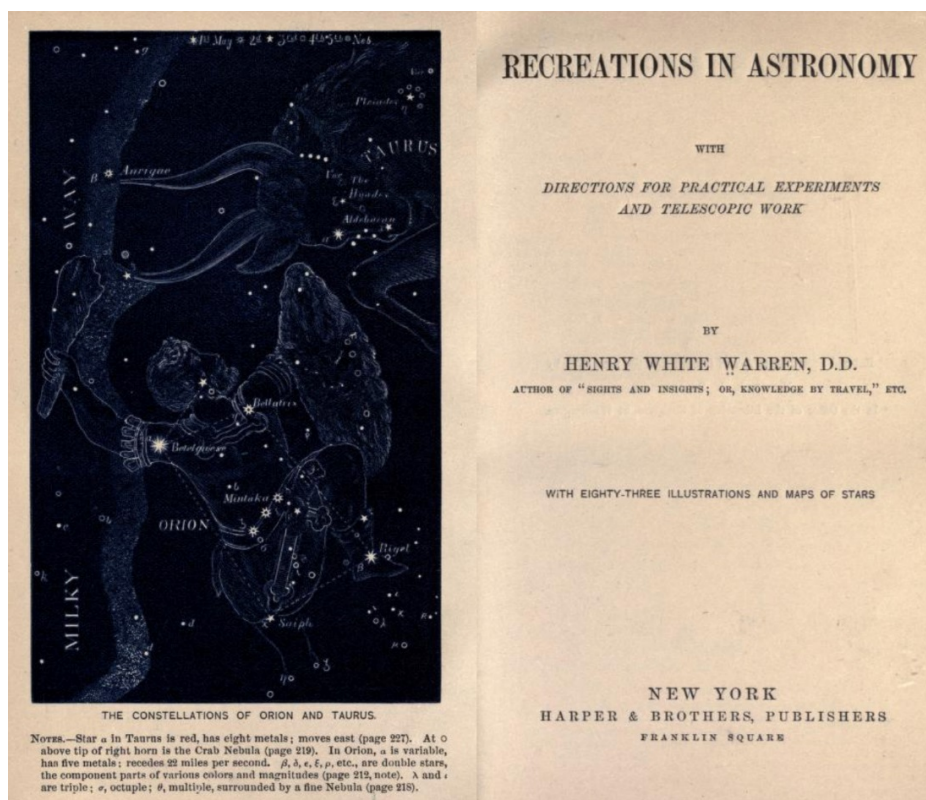


Рис.21. Титульный лист книги Генри Уоррена «Занимательная астрономия».

Указанные параметры примерно схожи с приведенными в Таблице 2, полученными по наблюдениям Лескарбо. Однако другие астрономы, которые наблюдали в том же месте и в то же время, ничего не увидели. И вскоре наблюдения двух именитых астрономов списали на ошибку. Что же они видели? Что-то видели, несомненно, но это так и останется загадкой. Как и то, что видел Лескарбо. Вряд ли и он всё это придумал. Если бы это было так, наверняка напористый Леверье что-то бы заподозрил и вывел провинциального доктора на чистую воду.

Ситуация складывалась двойственная, напоминающая мысленный физический эксперимент австрийского физика Эрвина Шрёдингера (1887–1961), названный котом Шрёдингера. Ученый хотел продемонстрировать неполноту квантовой механики при переходе от микромира к макромиру. Не вдаваясь в подробности эксперимента, напомним, что получалось, будто кот одновременно и жив, и мертв. Вот и планета Вулкан стала своего рода «планетой Шрёдингера». Её толком так никто и не видел, но ньютонов космос с аномальным смещением перигелия Меркурия требовал существования чего-то вулканоподобного. Вместе с тем, как остроумно заметил один современный астроном, отсутствие доказательств дошло до такой степени, что действительно стало рассматриваться как доказательство отсутствия.

Обратимся за свидетельством к книге «Уроки астрономии», написанной на рубеже XIX и XX веков (рис.22). Её автора Чарлза Юнга мы видели на фотографии (рис. 18). Теперь ситуация вокруг Вулкана уже описывается иначе:

Весьма возможно, что внутри орбиты Меркурия вращается вокруг Солнца значительно количество материи. На такого рода предположение наводят трудно объяснимые иначе возмущения орбиты Меркурия. Одно время весьма настойчиво проводилась мысль, что эта материя должна быть сконцентрирована в одной или двух планетах значительных размеров, а некоторые утверждали даже, что видели такого рода планету, которую и назвали Вулканом. Однако же подобное открытие никогда не было подтверждено, и самые точные наблюдения над полными солнечными затмениями за последние десять лет не обнаружили существования никакого «Вулкана».

Иные подходы

Юнг изложил традиционную точку зрения на причины отклонений в движении Меркурия. Альтернативой некоей массе, располагавшейся внутри орбиты Меркурия и ответственной за аномальное смещение перигелия, были предложения о модификации закона тяготения. Ещё в середине XVIII века Алексис Клеро (1713–1765), борясь с аномалиями в движении Луны, предложил изменить формулу Ньютона, используя простейший степенной ряд

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 \left(\frac{1}{R^2} + \frac{a}{R^4} \right)$$

где « a » – дополнительная константа. Подбирая определенное её значение, можно добиться отличного соответствия теории численному значению смещения перигелия Меркурия.

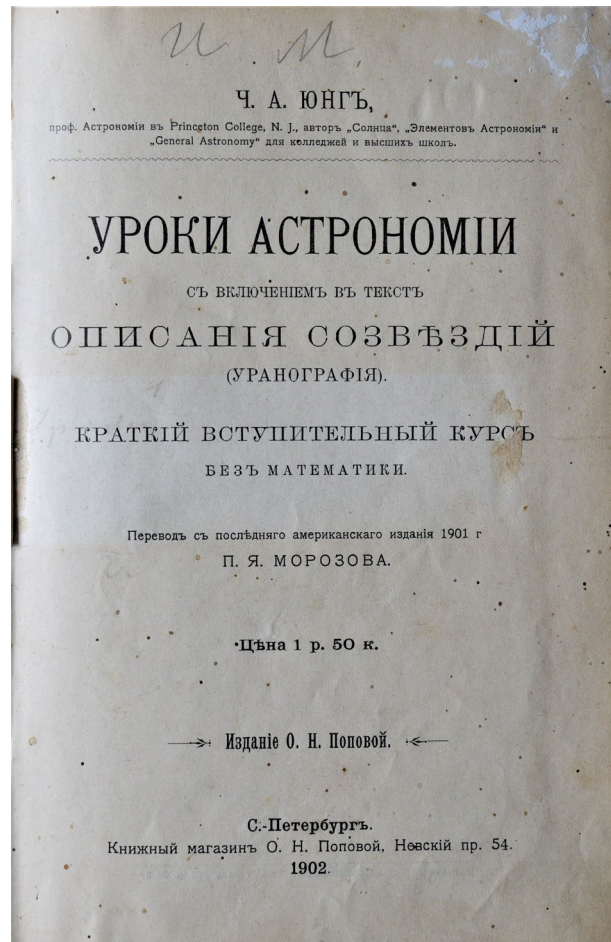


Рис.22. Титульный лист книги Чарлза Юнга «Уроки астрономии»

Во второй модификации появляется дополнительный множитель $e^{-\lambda R}$

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} e^{-\lambda R}$$

обеспечивающий более быстрое, чем у Ньютона, уменьшение тяготения с расстоянием. Как и в первом случае, подбор коэффициента (здесь он обозначен λ) позволял объяснить смещение перигелия Меркурия.

Наконец, третья формула

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^{2+\delta}}$$

предложенная американским астрономом Асафом Холлом (1829–1907), обнаружившим спутники Марса, путем подгонки значения δ также легко объясняла аномалию. Саймон Ньюком, уточнивший наблюдаемое значение аномалии в смещении перигелия с 38 до 43 секунд, вычислил значение этого коэффициента, где значащее число появляется только в седьмом знаке после запятой: 0,000000161.

Однако не будем забывать, что закон Ньютона называется «*всемирного* тяготения». А подгонка закона под Меркурий не работала должным образом в других областях Солнечной системы, поэтому все эти модификации ньютонового закона не имели успеха.

Понадобились совершенно иные подходы. Вот что писал в одном из своих писем Альберт Эйнштейн в 1907 г., за восемь лет до публикации основ общей теории относительности:

...я занят созданием релятивистской теории закона тяготения, с помощью которой я надеюсь найти причину пока необъясненного смещения перигелия Меркурия.

Казалось бы, узкая астрономическая проблема, но она живо интересовала не только астрономов. В эйнштейновской общей теории относительности гравитации дана геометрическая интерпретация, она рассматривается как искривление пространства под действием масс. В случае небольших масс или больших расстояний безусловно работает ньютонова теория. Именно теория гравитации Эйнштейна полностью объяснила аномальное смещение перигелия Меркурия в 43 угловые секунды, и надобность в Вулкане отпала. Причем для Эйнштейна совпадение наблюдательных данных и его теоретического предсказания было очень важно и послужило своеобразной лакмусовой бумажкой, удостоверяющей правильность проделанной им работы. В декабре 1915 г., после опубликования общей теории относительности, он удовлетворенно писал коллеге:

...больше всего меня радует согласие с наблюдаемым смещением перигелия Меркурия.

Однако энтузиасты Вулкана не унимались, и вплоть до семидесятых годов прошлого века всё ещё предпринимались попытки увидеть интрамеркурианскую планету во время полного солнечного затмения, но все они остались безуспешными.

Наконец, в декабре 1995 г. в точку Лагранжа L1 системы Солнце–Земля было запущена солнечная обсерватория СОХО. Аппарат находится на линии Солнце–Земля на расстоянии нескольких сотен тысяч километров и постоянно нацелен на наше дневное светило. Среди прочего оборудования на борту есть специальный телескоп, своего рода коронограф, в его фокусе находится заслонка, экранирующая яркий диск Солнца, что позволяет наблюдать за ближайшими окрестностями Солнца. Обсерватория функционирует до сих пор, за прошедшие без малого четверть века было открыто несколько тысяч комет, но не обнаружено ни одной планеты. По крайней мере размером более 100 км. А это уже и не размер планеты. Так что на сегодняшний день можно определенно сказать, что тема закрыта. Планеты не оказалось, но имя её живет!

Авторы популярного сериала Стартрек («Звездный путь») разместили планету Вулкан на орбите звезды 40 Эрида. Там процветает цивилизация, именно с ней первыми познакомились земляне, когда отправились осваивать Вселенную. Сегодня об особенностях этой киноцивилизации уже написано несколько книг.

Звезда 40 Эрида находится всего в 17 световых годах от нас, её звездная величина равна 4,4. Это тройная система. В 2018 году у компоненты А обнаружена планета с периодом 42 дня и массой примерно 8 масс Земли. Так что у имени «Вулкан» появились все основания всё-таки быть связанным с конкретным небесным телом.

Итак, мы разобрались, что же произошло. Подведем итог. После обнаружения в 1859 году Леверье аномального смещения перигелия Меркурия, это проблема стала чуть ли не основной головной болью астрономов второй половины XIX – начала XX века. Непререкаемый авторитет Леверье, точно предсказавшего на основании возмущений Урана положение на небе новой планеты Нептун, долгие годы не позволял большинству астрономов сомневаться в том, что за смещение ответственна интрамеркурианская планета или группа астероидов. Спустя несколько десятилетий, когда каждый раз после очередного обнаружения Вулкана оказывалось, что это опять осечка, некоторые ученые стали склоняться к мысли о неточности закона всемирного тяготения Ньютона. Но попытки его модификации искажали общую картину тяготения в Солнечной системе. Однако «виноватой» оказалась всё же ньютонова теория. И только радикальная смена представлений о природе тяготения, данная в 1915 г. Эйнштейном, позволила исчерпывающе объяснить все особенности движения Меркурия, и Вулкан перестал быть нужен.



«О, КАК Я СЛУШАТЬ ИХ БЫЛ РАД...»

Андрей Васильевич ФЕСЕНКО

кандидат педагогических наук, планетарий им.

Б.А. Максимачёва, Москва

«...Шафиркин, Машбиц и Жекулин —
О, как я слушать их был рад —
Они ушли на фронт под пули
И не пришли они назад...»

Это строки из большого стихотворения лектора Московского планетария Бориса Алексеевича Максимачёва, посвященного планетарию. Автор называет имена лекторов, погибших в боях Великой Отечественной войны.

Великая Отечественная война – особый период в истории Московского планетария, который изучен пока недостаточно. В первые же дни войны многие сотрудники планетария были мобилизованы в Красную Армию (до 1946 г. так назывались подразделения сухопутных войск и военно-воздушного флота в СССР) и отправились на фронт. Часть же лекторов была эвакуирована из Москвы в тыл, где они продолжали вести активную работу по популяризации астрономии. В планетарии, однако, остались несколько сотрудников: И.Ф. Шевляков, А.П. Моисеев, П.В. Войнилович и некоторые другие, они продолжали работать даже в самые тяжелые дни [1, с. 85].

На полях сражений, по оценкам Р.И. Цветова, осталось около половины лекторов и сотрудников планетария [2, с. 167]. Только о некоторых погибших планетарцах удалось собрать сведения буквально по крупицам: помогли дневниковые записи, мемуары, записи воспоминаний некоторых сотрудников планетария, их коллег, родных и близких.

Весьма распространенным мифом является представление о том, что война началась внезапно. В действительности к ней готовились. Вот как об этом вспоминает Б.А. Максимачёв, бывший в те годы выпускником астрономического кружка планетария и внештатным лектором: «Москва тщательно готовилась к гражданской обороне, когда все дворы и все улицы были заполнены бомбоубежищами, во дворах рылись рвы с бревенчатыми настилами, и подвалы освобождались для того, чтобы людей можно было скрывать во время бомбардировок».

Еще в 1939 году в Московском планетарии был организован специальный курс лекций по астрономии для штурманов гражданского воздушного флота. Теперь, в начале войны, эти лекции стали регулярными – штурманы и летчики проходили в планетарии теорию астрономического ориентирования в полете.

В 1939–1940 гг., В.А. Жекулин разработал лекции «Астрономия на войне» и «Астрономия для разведчиков». До войны эти темы читались эпизодически, а с началом боевых действий стали проводиться регулярно и на массовую аудиторию.

Лекции давали представление о том, как надо ориентироваться по Солнцу, Луне, звездам, как определять по небесным светилам время и т.д. Лекция «Астрономия на войне» знакомила также с применением астрономических знаний в артиллерии (прицеливание, движение снарядов в атмосфере), с кораблевождением по звездам и Солнцу, определением местонахождения судна и т.д. 30 ноября 1941 г. в газете «Труд» появилась маленькая заметка «Астрономия для разведчиков». В этой заметке, в частности, говорилось: «Разведчик оказался в незнакомой местности. Его компас

разбит. Лектор объясняет слушателям, как установить свое местонахождение и точное время по солнцу, луне и звездам без помощи специальных приборов. Лекции в планетарии посещаются бойцами и командирами Красной Армии, Военно-Морского Флота и гражданским населением. Интерес к ним очень велик. Планетарий дает ежедневно пять сеансов и организует выездные выступления своих сотрудников в воинских частях, на предприятиях и в учреждениях столицы».

Б.А. Максимачёв был свидетелем и участником тех событий. Он вспоминал: «Тысячи благодарностей от воинских частей получал Московский планетарий с фронтовой полосы, потому что астрономия оказывала огромную помощь для бойцов, тем более бойцы не были так вооружены астрономическими приборами: часы были, например, далеко ни у каждого».



Владимир Александрович Жекулин (1902–1943)

Владимир Александрович Жекулин, автор этих лекций, был одним из старейших лекторов Московского планетария. Он написал несколько книг по астрономии, изобрел первый мобильный планетарий, позволявший проводить выездные лекции на различных предприятиях. Владимир Жекулин погиб в марте 1943 года в боях под Краснодаром.

Одним из первых лекторов Московского планетария (с 1931 г.) был Венециан Исаакович Шафиркин. Он родился в Харькове в октябре 1902 г. Учился на философском факультете Московского института философии, литературы и истории, затем перевелся в Институт красной профессуры, который окончил в 1935 году. Преподавал философию на физическом факультете МГУ. С 1938 года В.И. Шафиркин работал младшим научным сотрудником Института философии. Он занимался философскими вопросами космологии, изучал философские воззрения известных астрофизиков Джинса и Эддингтона. В.И. Шафиркин был одним из самых востребованных лекторов Московского планетария, написал несколько научно-популярных книг. 31 января 1942 года Шафиркин был призван в армию и вскоре попал в окружение, из которого выбрался самостоятельно и оказался в партизанском полку им. Сергея Лазо. К счастью, комиссар полка А.Ф. Юденков оставил воспоминания о Венециане Шафиркине в своих мемуарах. Написаны они были через несколько лет после войны, может быть, поэтому автор несколько искажил имя и фамилию астронома, в книге он Вениамин Штифиркин. «Он не имел ни малейшего представления о жизни, а знал лишь свою астрономию... Малоразговорчивый, даже несколько мрачный, но неизменно вежливый и предупредительный» – писал А.Ф. Юденков о Шафиркине [3, с. 219]. Как Венециан превратился в Вениамина, теперь трудно сказать, но, видимо, именно под этим именем знали Шафиркина партизаны и по созвучию дали прозвище Витамин-Звездочет.



Венециан Исаакович Шафиркин (1902–1942)

А.Ф. Юденков приводит интересные детали партизанского быта, добавляющие новые штрихи к личности Венециана Шафиркина. «Через несколько дней я узнал, что астроном попросту голодает. Достать продукты было негде, а попросить он то ли боялся, то ли стеснялся. Я пожурил Харламповича, приказал взять Витамина на довольствие и выделять ему столько же продуктов, сколько получают все остальные. Пакет, правда, был скудным, но с голоду никто не умирал.

Через несколько дней выясняется, что Штифиркин по-прежнему живет впроголодь. То, что можно было съесть всухомятку, он съедал, а мяса или супа не варил: не было котелка. Пришлось позаботиться и об этом» [3, с. 220].

Мемуары А.Ф. Юденкова, изданные в 1966 году, стали настоящим открытием для сотрудников Московского планетария и для семьи Шафиркина. Ведь долгое время судьба его была неизвестна. Последнее сообщение от него пришло 12 апреля 1942 года, после этого не поступало никаких сведений. Лектор Московского планетария Венециан Исаакович Шафиркин считался пропавшим без вести, но благодаря сообщениям А.Ф. Юденкова стало известно, что он погиб в июле 1942 года. Во время стычки с немцами Венециан Исаакович попал в руки к врагу. «Его заставили вести в лес карательный отряд и указать минные поля. Штифиркин отказался. Гитлеровцы набросили на шею астроному длинный кусок телефонного кабеля и погнали перед собой. На одной из лесных дорог Штифиркин подорвался на mine, а каратели бросились назад. Позднее, найдя труп нашего партизанского астронома, мы с болью в сердце похоронили его в дремучем Мутищенском лесу» [3, с. 237].

Судьба еще одного лектора Московского планетария, павшего на полях сражений, стала известна в 1999 году. Это Базиль Маркович Машбиц. Благодаря выходу в свет воспоминаний его дочери, Марианны Веховой, теперь известно о его трагедии.

Он родился в 1908 году и с детства мечтал стать астрономом. Вот как об этом пишет Марианна Вехова. «Сестры отца рассказали мне, что уже с трех лет он стремился к небу. Звездными вечерами карабкался на деревья, чтобы поближе увидеть звезды. В шесть лет однажды пропал на весь день, вернулся голодный, исцарапанный, но очень гордый: познакомился с летчиком на большом поле за городом, где проходили испытания летательных аппаратов, и публика могла покупать билеты и подниматься в небо. Чтобы зрители не пугались, чтобы убедить их в безопасности аттракциона, летчик поднимался в воздух не один, а с маленьким ребенком — моим отцом. Летчик называл его «сыночком». С этого дня мой отец стал мечтать о полетах к звездам и частенько рассуждал об этом, потешая взрослых» [4, с. 115].



Базиль Маркович Машбиц (1908–1942)

Мечта Базиля сбылась. Он стал профессиональным астрономом (окончил МГУ в 1931 г.). Принимал участие в различных астрономических экспедициях ГАИШ, вел научную работу и выступал с лекциями в Московском планетарии. В одной из метеорных экспедиций он познакомился со студенткой ГАИШ Тамарой Гербст. Вскоре они поженились. 5 июня 1937 года у них родилась дочь Марианна. Но семейное счастье было недолгим. Мать Тамары, Евгения Кузьминична Гербст, была репрессирована еще в 1934 году и отправлена в лагерь, летом 1937 года получила предписание на высылку и Тамара, тогда лишь студентка 3-го курса ГАИШ, причем только что пережившая тяжелые роды. Марианна Вехова (Гербст) причиной этого называет немецкую фамилию. Базиль Машбиц отправился в ссылку вместе с женой. Через месяц Тамара покончила с жизнью в городе Тара (Омская обл.), месте ссылки, и Базиль Маркович остался с новорожденным ребенком.

Вернувшись в Москву, он преподавал астрономию, физику и математику в школе, проводил лекции в планетарии. В ГАИШ к научной работе его не допускали, «ведь он скомпрометировал себя, уехав в ссылку за своей подозрительной женой» [4, с. 105].

Когда началась война, Машбиц вступил в народное ополчение. «Он трезво смотрел на происходящее и был уверен, что погибнет...» [4, с. 112]. Лектор Московского планетария Базиль Машбиц погиб в боях под Ржевом в 1942 году.

Проходит время. Мы узнаем о войне все больше. Со временем, конечно, удастся установить имена всех лекторов и сотрудников Московского планетария, павших на фронтах. А пока... поиск продолжается.

Литература

1. Луцкий В.К. История Московского планетария (выпускная квалификационная работа). М., МГИАИ, 1953. 191 с.
2. Цветов Р.И. Московские планетарцы на боевых и трудовых фронтах // Астрономия на крутых поворотах XX века. По материалам Международной научно-мемориальной конференции к 50-летию

Победы в Великой отечественной войне. Апрель 1995. Пулковое — Дубна: Издательский центр «Феникс+», 1997. С. 166 – 173.

3. Юденков А.Ф. За огненной чертой. М., Воениздат, 1966. 272 с.
4. Вехова М.Б. Бумажные маки. Повесть о детстве. М., Путь, 1999. 144 с.



Для начинающих

АСТРОНОМИЯ НА ДЕТСКОЙ ПЛОЩАДКЕ

В.Л. ШТАЕРМАН

*Может Луна блеснуть, ударяема Солнца лучами,
День ото дня свой лик обращая все больше и больше
К нашему взору, по мере того, как отходит от Солнца
До полнолуния, когда напротив него засверкает...
Лукреций Кар. О природе вещей*

– Смотри, какое странное облако!

– Где?

– Вон там, над тем деревом. Маленькое и растрепанное. Как будто покусаное. И не двигается. Другие облака мимо идут и даже по нему, а оно стоит. Почему?

– Да это не облако. Это Луна.

– Луна? Разве ее днем видно? И почему она такая бледная и дырявая?

– Луну часто можно видеть днем, если знать, куда смотреть. Ее хорошо видно ранним утром или перед вечером, как сейчас. А бледной она кажется потому, что солнце еще не зашло и небо еще светлое. Это как лампочка: днем ее зажжешь – ее в светлой комнате и не заметно, а вечером она всю комнату освещает. И луна станет яркой, когда солнце сядет и небо потемнеет.

– А почему она такая неровная? Как будто ее кто-то кусал! Она что, не вся целиком светит, а только кусочками?

– Да нет. Луна сама по себе вообще не светит. Люди давно уже поняли, что Луну, как и Землю, освещает Солнце. Светлая часть Луны всегда смотрит на Солнце. Вот приглядишься: сейчас она смотрит на запад, туда, куда Солнце уходит. А мы видим отраженный Луной солнечный свет. Но у Луны есть более светлые и более темные части. Видишь те два дома – белый и коричневый. Белый кажется светлее, потому что отражает больше света. Светлые части Луны днем хорошо видны, а темные разглядеть труднее. Вот тебе и кажется, что от нее куски откусили.

– А почему ее разные куски по-разному свет отражают?

– Разные ее участки состоят из разного материала. Когда-то думали, что светлые части Луны – это суша, а более темные – моря. И мы до сих пор говорим «лунные моря» и «лунные континенты», хотя уже давно знаем, что никаких морей на Луне нет.

– А почему она такая толстая? Прошлый раз, когда мы шли домой, она тоньше была.

- Ее толщина, точнее, величина ее видимой нам освещенной части, зависит от того, как в тот или иной момент расположены друг относительно друга Луна, Земля и Солнце. Луна обращается вокруг Земли и обходит ее примерно за месяц.
- Как это – вокруг Земли? Ей что, без Земли скучно? Она что, как наш Бобка? Когда ему скучно и поиграть хочется, он вокруг меня крутится и хвостом виляет.
- Нет, не в этом дело. Земля притягивает к себе Луну точно также, как она притягивает нас с тобой и других людей, и все что на ней есть.
- А почему тогда Луна на Землю не падает?
- Луна далеко от Земли. Гораздо дальше, чем самые далекие облака. И обращается вокруг Земли с большой скоростью. Этой скорости хватает, чтобы не упасть на Землю, но не хватает для того, чтобы совсем от Земли убежать. Поэтому Луна все время движется вокруг Земли и вместе с Землей обращается вокруг Солнца. Луна – спутник Земли.
- А Земля вокруг Солнца бежит?
- Ну да. И от того, где друг для друга находятся Солнце, Земля и Луна, зависит, как выглядит Луна с Земли, какая ее часть для нас светлая. Это называется «фазы Луны».
- Ничего не понимаю.
- Я тебе сейчас покажу. Вот твой большой мяч – это Земля. Маленький теннисный мячик – это Луна. Давай включим фонарик. Это у нас будет Солнце. Держи маленький мячик точно между большим мячом и фонариком. Половинку мячика, повернутую к большому мячу, фонарик не освещает. В это время Луна с Земли не видна. Это называется «новолуние». Теперь начинай медленно двигать «Луну» влево вокруг «Земли». Видишь, на маленьком мячике справа появился узкий светлый серпик. Это молодая Луна. Продолжай двигать мячик вокруг «Земли». Видишь? Теперь освещена уже половина его обращенной к «Земле» стороны. Это называется «первая четверть». Двигаемся дальше. Стоп! Мячик освещен примерно настолько же, насколько сейчас освещена Солнцем настоящая Луна. Продвиги мячик еще немного, и вся его обращенная к мячу-Земле сторона станет светлой. Это называется «полная Луна» или «полнолуние». А дальше все наоборот. Теперь освещена та, левая, часть Луны, которая в начале пути была темной. Теперь свет падает только на половину мячика. Это называется «последняя четверть» или «третья четверть». А потом Луна продолжает худеть. Это «стареющая» Луна. Потом от нее остается только маленький серпик. И вот мячик-Луна опять оказывается между мячом-Землей и фонариком-Солнцем и мы ее опять не видим. На все это у Луны уходит примерно месяц. А потом все повторяется.
- Ага... Кажется, понятно. Только почему «четверть»? Ведь видна ее половинка. И почему «полнолуние»?
- Луна – шар, как и Земля. И когда она бывает в первой или четвертой четверти, мы на самом деле видим четвертую часть шара Луны. А в полнолуние мы видим целиком ту половину шара Луны, то ее полушарие, которое обращено к нам.
- А ее другая половина? Ее мы когда видим?
- Другое ее полушарие мы вообще никогда не видим. Луна все время обращена к нам только одной стороной, одним полушарием. Это происходит потому, что вокруг своей оси она вращается с той же скоростью, с какой обращается вокруг Земли. Попробуй походить вокруг дерева. Когда ты идешь вокруг него, ты оказываешься к нему то лицом, то спиной, то боком. А чтобы быть к нему все время только лицом или только спиной, надо еще и вокруг себя поворачиваться, причем с той же скоростью, с какой ты идешь вокруг дерева. Вот и Луна с одинаковой скоростью обращается вокруг Земли и вращается вокруг своей оси. И получается, что мы всегда видим только одну ее сторону. А другая ее сторона с Земли никогда не видна.
- Жалко! Слушай, а Земля тоже Луне светит, когда там ночь?
- Конечно. И очень ярко. Гораздо ярче, чем Луна Земле. Ведь Земля гораздо больше Луны. Но только на одной стороне, той, которая обращена к Земле.
- А Солнце тоже только одной стороной к Земле повернуто?
- Нет. Оно в разное время поворачивается к нам разными сторонами. Только, пока мы с тобой говорили, оно почти зашло. И Луна стала яркая. И ее темные части стали хороши видны.
- Правда. Как будто темные пятна. Как будто что-то темное к Луне прилипло... Это и есть ее моря, да?
- Да. Но, знаешь, нам ведь давно пора домой. Ужинать и спать ложиться. Бери свои мячики и пойдем.

– А пока мы будем идти, я еще на Луну посмотрю. А ты мне расскажешь, как Земля вокруг Солнца бегают?

– Расскажу. Если ужинать хорошо будешь.



Фазы Луны



Молодая Луна. Фото Алексея Пахомова



Фантастика**ЭЛИМИНАТОР ВРЕМЕНИ****KAW KAW**

От редактора альманаха. Предлагаемый читателям старый фантастический рассказ малоизвестного автора грешит невнятно изложенной научной идеей. Однако он подкупил нас романтической ноткой в финале.

Интересно, что в рассказе разница во времени между Нью-Йорком и Гаваной составляет полчаса. Возможно, так было на самом деле во время написания рассказа. Сейчас время в Гаване и Нью-Йорке совпадает.

Гамильтон Фиш Эррол, более известный в Йельском университете как Рыба Эррол, смотрел на творение рук своих с восторгом и с некоторой опаской.

Прибор, стоявший на монолитном стеклянном кубе, напоминал гибридный радиоприемник с проектором. На его передней стенке имелось три диска, обозначенные соответственно «Широта», «Долгота» и «Высота». Четвертый диск, сантиметров 20 в диаметре, был расположен над первыми тремя и обозначен «Время–Пространство».

Внутри находилась удивительно сложная конструкция из трубок, проводов и лампочек. А напротив всего этого – странная система вращающихся зеркал, скорость которых регулировалась ручкой на правой стороне прибора. Одна пара проводов шла от прибора к блоку питания, другая – к антенне на длинном шесте снаружи дома.

Таинственная связь между светом и электричеством привлекла внимание Эррола еще тогда, когда он учился на втором курсе университета. Он уверенно шел к тому, чтобы стать знаменитостью, но вдруг исчез из поля зрения университетских коллег и скрылся в маленькой деревеньке на востоке Лонг-Айленда, где у его семьи был летний домик.

Домик стоял на холме достаточно далеко от шоссе, чтобы обеспечить желаемую степень уединенности. Большая башня, изначально задуманная как обсерватория, была превращена в лабораторию. Там юный Эррол, окруженный самой современной техникой, лихорадочно работал над изобретением, которое, даже в незавершенном варианте, дало результаты столь далеко идущие, и столь революционные с научной точки зрения, что иногда молодой человек начинал сомневаться, а не сошел ли он с ума.

Удивительный проекционный аппарат

Работа была завершена. Юный изобретатель выпрямился, глубоко вздохнул и взял сигару. И тут же у него в голове всплыло слово «Гавана».

– А почему бы и нет? – спросил он себя. – Почему бы не выбрать Гавану для первого серьезного испытания и не посмотреть, как люди отдыхают там сегодня?

Он достал карту, заметил широту и долготу Гаваны и настроил диски. Потом посмотрел на часы, увидел, что сейчас 3 часа дня и настроил верхний диск на соответствующее время в Гаване – половину третьего.

После секундного колебания он нажал какую-то кнопку и одновременно повернул маленькую ручку, которая управляла вращающимися зеркалами. Послышалось легкое жужжание, и луч света из аппарата осветил белый экран на стене. Сначала на экране было видно только размытое пятно, но по мере того, как Эррол медленно двигал ручку туда-сюда, на экране стал появляться ипподром, полный страшно возбужденными зрителями, и три лошади, бегущие практически рядом. Пока Эррол наблюдал, одна из лошадей пересекла финишную прямую, и почти тут же на табло появилось имя победителя – Мучачо.

– Здорово! – воскликнул Эррол. – А теперь следующий тест.

Медленно, осторожно он поворачивал верхний диск влево – на пять, десять, пятнадцать, двадцать делений. – Это должен быть 1906 год. Землетрясение в Сан-Франциско –. Он опять сверился с картой, настроил нижние диски, задал высоту 30 метров и опять дернул ручку.

Сначала изображение опять было очень размытым, но постепенно оно прояснилось, и Эррол увидел с высоты птичьего полета город, ставший жертвой землетрясения. Он наблюдал, как рушатся огромные здания, как охваченные ужасом

люди пробираются по заваленным обломками улицам, как там и сям прорываются языки пламени. Некоторое время он смотрел на страшную картину, потом нажал на выключатель и повернул диски. – А теперь попробуем что-нибудь очень далекое, – сказал он сам себе, вдохновленный удачей предыдущих опытов.

Увидеть Жанну д'Арк

Он быстро поворачивал верхний диск влево, пока на указателе не появилось число 1428. – Это должно убедить самых отъявленных скептиков! Я брошу взгляд на Францию тех далеких времен.

Он нашел по карте точное местоположение города Орлеан и стал очень осторожно вращать нижний диск. Уже почти уверенный в успехе и одновременно взволнованный тем, что ему предстояло увидеть, он снова дернул ручку и регулировал зеркала, пока события на экране не стали происходить с реальной скоростью.

– Боже мой! Это же Жанна Д'Арк! – воскликнул он, когда перед ним на экране появилось атакующее войско, впереди которого скакала на боевом коне в сверкающих латах, с мечом в руке и горящим от возбуждения лицом скакала женщина-воин.

Минуту за минутой он смотрел, затаив дыхание, дрожа от волнения, радостный и испуганный одновременно.

А потом, пока он поворачивал диски, ему пришла в голову новая мысль. И через 10 минут он уже мчался по дороге в Нью-Йорк на своем спортивном автомобиле. Ровно в пять вечера входил в личный кабинет бригадного генерала Хьюмистона, руководителя новой правительственной секретной разведывательной службы.

Бригадный генерал Хьюмистон и его дочь

Не только сам генерал, но и его дочь (хотя генерал не знал об этом) проявляли живой интерес к юному Эрролу, чей отец и генерал вместе учились в Вест-Пойнте. Этот интерес был взаимным, особенно в случае дочери. Но в тот вечер Эррол, исполненный решимости предложить свои услуги и свое изобретение стране, в которой родился и вырос, пришел к генералу Хьюмистону как к правительственному чиновнику.

– Ну, друг мой, – сказал генерал не очень приветливо, – что привело Вас сюда? И почему Вы пропали так надолго? Джерри решила, что Вы совсем забыли о ней.

– Генерал! – сказал молодой человек, не отвечая на вопрос собеседника. – Можете Вы сейчас сесть со мной в автомобиль и поехать в мой дом на Лонг-Айленде? Я хочу показать Вам нечто настолько замечательное и полезное Вашему департаменту, что может быть важна каждая минута.

– Ты серьезно? – спросил генерал, резко выпрямившись в кресле. – Ты хочешь, чтобы я, вместо того, чтобы идти с Джерри в театр, поехал с тобой? – Вот именно, – решительно ответил молодой человек. А затем, с надеждой в голосе, добавил: – Почему бы и Джерри не поехать с нами? – Зайди через час в «Балтимор», – повоенному резко сказал генерал. – Я или мы оба поедem с тобой.

Эррол молча поднял руку в приветственном жесте, повернулся и вышел из кабинета.

Точно в назначенный час генерал появился на парковочной площадке отеля в сопровождении дочери. Она была очаровательна в дорожных мехах и шелковом пальто. Сердце Эррола сильно забилося, Он выскочил из машины и протянул к ней руки.

– О, Джерри! Как я рад тебя видеть!

И его взгляд подтвердил сказанное.

– Я только что из Миссури, – небрежно ответила девушка, но эти ее слова не могли затмить озарившую хорошенькое личико счастливую улыбку.

Большой автомобиль выехал из города, помчался вдоль острова мимо спящих ферм и деревень и в девять часов подкатил к порогу дома Эррола. В пути они говорили мало, но, едва войдя в дом, генерал спросил: – Ну, Эррол, так в чем дело? Надеюсь, ты вытащил меня сюда не из-за какого-нибудь пустяка?

– Пойдемте ко мне в лабораторию, – ответил Эррол, и после секундной паузы добавил: – И ты тоже, Джерри.

Девушка бросила на него благодарный взгляд.

Описание изобретения

Через минуту они уже были в лаборатории. Джерри и ее отец с любопытством смотрели на странный аппарат.

– Генерал, и ты, Джерри, – торжественно начал Эррол. – То, что я хочу вам показать, настолько фантастично, что прежде, чем продолжить, я должен подготовить вас к тому, что вам предстоит увидеть. Пожалуйста, сядьте и внимательно слушайте.

Он помолчал секунду, затем продолжил:

– Если генератор на электростанции выходит из строя, электричество в проводах и в самом генераторе исчезает, теряется в общем электрическом поле Земли и все трамваи останавливаются. Если не удастся вновь запустить генератор и вернуть электричество, движение по данной линии станет фактом из прошлого. Это очевидно. Пойдем дальше.

Вы знаете, как снимаются фильмы. Пока на площадке происходит некое действие, оператор крутит ручку кинокамеры. Однако когда свет прожекторов гаснет, все отснятое действие исчезает в прошлом и остается там, пока не воскреснет на экране кинотеатра в виде фильма.

Только немногие понимают, что все происходящее в этом мире оставляет след в виде лучей света, независимо от того, снимает кто-нибудь то или иное событие на пленку или нет. То есть лучи света заботятся о том, чтобы ничто в Природе не пропало. Например, с помощью мощных телескопов мы сейчас можем видеть небесные тела, которые, не будь таких телескопов, можно было бы разглядеть, только проделав долгий, очень долгий путь к ним. Если бы сегодня какой-то катаклизм разрушил каналы на Марсе, а мы полетели бы на ракете к этой планете со скоростью два километра в минуту, прошли бы годы, пока мы долетели бы до той точки в пространстве, откуда могли бы наблюдать это событие. Если же мы предпочли бы остаться здесь, прошло бы еще больше времени до того, как мы смогли бы это событие наблюдать.

Опять-таки, вот такая забавная ситуация имела место в канун Нового 1926 года. В одном клубе в Лондоне играло радио, и посетители провожали 1925 год под музыку, которую исполнял берлинский оркестр уже в новом, 1926 году. А несколько минут спустя в том же клубе приветствовали наступление нового года танцем под музыку,

которую в это время исполнял оркестр в Нью-Йорке, который еще жил в 1925 году. Так что вечерние газеты в Сан-Франциско могли бы с полным правом утверждать 31 декабря, что посетители клуба в Вест-Энде проводили танцем 1925 год сегодня в 4 часа дня, а лондонские газеты утром 1 января имели бы с таким же правом заявить, что в клубе Вайкики в Гонолулу будут встречать танцем наступление Нового года сегодня в 10:30 утра.

Время тесно связано с пространством

— Таким образом, время, как вы видите, тесно связано с пространством. А теперь заключительный шаг:

Желающие воспроизвести какой-то момент из прошлого сталкиваются с двумя проблемами. Во-первых, надо уловить световые лучи и выстроить их в нужной последовательности. Как я уже говорил, в Природе ничто не пропадает, хотя может изменить форму. И как электричество может вновь проявить себя после своего исчезновения, так световые лучи можно уловить, даже если они больше не видны простым глазом. Дело не в том, чтобы воспроизвести световые лучи, идентичные ушедшим с места действия в прошлом, а в том, чтобы уловить сами эти лучи в изначальной последовательности и яркости. Если вы ударите в колокол, а потом вновь ударите в него через десять лет, вы услышите такой же звук, хотя это будут уже не те же самые звуковые волны.

Где был генерал в прошлое воскресенье

— Вторая проблема — точно соотнести сиюминутное положение Земли с ее положением в момент, когда произошли интересующее нас события. Это сложнее, ибо требует привлечения изощренной геометрии, учета гравитационных сил, теории относительности, движения Земли в пространстве и других факторов.

Эррол помолчал, чтобы его слушатели смогли усвоить все сказанное, затем продолжил:

— Перечисленные проблемы, генерал, были решены с помощью машины, которую Вы видите перед собой. И сейчас я вам это докажу. Генерал, где Вы были в прошлое воскресенье в 9 утра?

— На верховой прогулке в парке Рок-Крик в Вашингтоне, — ответил генерал, заинтересовавшийся почти против воли.

— Смотрите на экран, — сказал Эррол, настраивая циферблаты прибора. Послышалось мерное жужжание, и перед изумленными взглядами генерала и его дочери возникла панорама прекрасного города, затем аллея для верховой езды в парке Рок-Крик, а затем сам генерал промчался мимо них галопом на сером коне.

Самые секретные планы — как открытая книга

— Боже мой! — воскликнул бравый воин, вскакивая на ноги. — Понимаешь ли ты, сынок, что твое изобретение значит для нашего правительства? Господи! Самые секретные планы наших врагов станут для нас как открытая книга.

– Именно поэтому я и пригласил вас сюда, – ответил молодой человек. – Но прежде, чем мы двинемся дальше, скажите, есть ли в настоящий момент что-нибудь интересное для Вашей службы, что Вы хотели бы знать?

– Можете Вы сказать мне, – спросил генерал, возбужденно шагая по комнате туда-сюда, – можете ли Вы сказать, кто был на секретном совещании в Фонтенбло в 10 утра в прошлый вторник?

– Минуту, – сказал Эррол, настраивая диски на нужное время и место. – Теперь смотрите на экран.

Опять раздалось тихое жужжание. Экран осветился. Сначала они увидели Эйфелеву башню, потом Фонтенбло. Пока они смотрели, подъехала закрытая машина. Французский министр торговли вышел из нее и вошел в здание. Затем появились английский и итальянский министры. А потом подъехал министр торговли и промышленности Германии и присоединился к остальным.

Эррол взглянул на генерала. Тот дрожал от возбуждения, напряжения и почти ужаса.

– Да, – проговорил генерал, – да, они все здесь. Я всех их знаю. И после короткой паузы добавил: – Я думаю, у Вас, Эррол, есть некоторое представление о том, что значит это совещание. Их план состоит в том, что каждый из них добьется контроля над рынком какого-либо сырья, совершенно необходимого нашей промышленности, а потом они так взвинтят цены, что мы будем вынуждены принять ответные меры. И они используют эти ответные меры как предлог для развязывания войны против нас. Им очень хочется, видите ли, добраться до наших огромных золотых запасов.

– Но, – возразил Эррол, – в наши дни война – дорогое удовольствие.

– Вот именно, – ответил генерал. – И это наша лучшая защита. Раз мы знаем, что они замышляют, наши банки могут прекратить выдавать займы европейцам, сократить их кредиты. С Вашим аппаратом мы будем готовы к любым неожиданностям. Зная все планы наших врагов, мы сможем сделать нашу страну практически неприступной.

– Вот именно, – кивнул Эррол.

– Во-первых и в главных, – продолжал генерал, – надо как следует оберегать Ваше открытие от посторонних глаз. Если хоть намек на слух о том, что Вы сделали, просочится за границу, Ваша жизнь не будет стоить и ломаного гроша.

– Я думал об этом, – ответил молодой человек. – И мне кажется, здесь для этого аппарата более надежное место, чем в Вашингтоне, откуда информация неизбежно рано или поздно просочится. А Вы сможете приезжать сюда, когда захотите.

– Да, но под каким предлогом я смогу наносить Вам частые визиты? – спросил генерал.

Машина завоевывает невесту

– Ну, – Эррол взглянул на Джерри. Она радостно кивнула. – Почему бы Вам не проводить выходные здесь с Вашей дочерью и зятем? Мы собираемся пожениться в июне.

– Что?! – взревел генерал. – Джерри – Ваша жена? Как такое могло прийти Вам в голову? – он постарался принять самый суровый вид. – В мое время, – произнес он назидательно, – молодые люди в подобных случаях спрашивали разрешения родителей девушки.

– Хм, – пробормотал Эррол. – Можете ли Вы сказать мне, в каком году Вы женились?

– Я знаю! – радостно воскликнула Джерри. – Они поженились ровно 22 года назад, в этот самый день, в 5 вечера в Гринвиче, Коннектикут.

– Эй! Подождите! – воскликнул ее отец, увидев, что Эррол настраивает машину. Но он опоздал. Послышалось характерное жужжание, и в следующую секунду они увидели маленький двухместный Форд образца 1904 года. Форд мчался, подпрыгивая на ухабах, по бостонской дороге, к западу от главного шоссе. А за ними, примерно в полумиле от них, мчалась телега, и разъяренный кучер в тщетной попытке догнать беглецов погонял взмыленную лошадь огромным кнутом.

Эррол посмотрел на Джерри, потом на ее отца, потом опять обернулся к экрану. Ошибиться было невозможно. Девушка в машине могла бы быть Джерри, если бы не разница в одежде, а красивый молодой человек, сидевший рядом с ней и неотрывно глядящий на дорогу, был так похож на ее отца, что не могло быть ни малейшего сомнения относительно того, кто он такой.

Генерал вытер выступившие на глазах слезы. – Ты победил, – сказал он и засмеялся. – Бери ее, сынок, и постарайтесь быть так же счастливы, как были мы.

Перевод с английского В.Л. Штаерман



Поэзия

Алина Иосифовна ЕРЕМЕЕВА

кандидат физико-математических наук, ГАИШ МГУ



От редакции. С удовольствием представляем стихотворное творчество нашего заслуженного ветерана Алины Иосифовны Еремеевой, которая в свои девяносто лет (возраст она не скрывает!) активно работает, читает лекции студентам – четко, громким голосом, с отличным знанием материала.

Старт...

Семнадцать лет! Как время быстролетно!

О, где вы, сердцу милые лета?

А в новый год вступаю неохотно:

Темно грядущее... И жизнь моя пуста.

Все впереди тяжелой мрачной тучей

Затянута – угрюмо и темно...

Но я какой-то силою могучей

В тот край неведомый влекусь уже давно...

Маковского картины, Эйзенштейна,

И Гумилев в моей душе звучит...

И как далек бездушный век Эйнштейна!

В шестнадцатый зовут меня мечты...

4.05.1946г., на втором уроке 9-го класса в школе

Финиш...

И вот, мне восемьдесят семь!

И я одна теперь совсем.

Не видит глаз, болит спина

И финиша черта видна...

Но!.. Коль работает башка,

То рано унывать пока!

А дел еще невпроворот,

И даже в КГО полет,

Доклады, книги, лекций курс!..

Пока... не кончится ресурс...

4.05.2016 (самопоздравление...)

Перед первым экзаменом по физике...

(Из времен студенческих)

Басня – быль...

Разжал Господь уж длань свою

И ночи темную струю

Пролил на приутихший край...

Но! Ведь не всем доступен Рай:

В одном окошке виден свет

И девы скорбный силуэт.

В тени ж укромного угла

Беседа между тем текла:

«Подушка, – молвила кровать, –

Пошто вы не ложитесь спать?

Уж на дво-оре (зевает) ночь!

Нельзя дремо-оты перевозмочь».

А ей несчастная в ответ:
«Да вот, смотри – управы нет!
Сидит ведь, бестия, хоть мнись,
Не помогает! Ну и жисть...

Уж мне углы не у-держать...
(Зевает) Ох-ох –хо б, поспать!
Да, видно, снова не соснуть!
Поговорим о чем-нибудь.
Бывало, в прошлые лета...
И то, и сё, и жизнь не та...»

«Д-да, – скрипнув, вторила кровать, –
Бывало, станет лишь скрывать
Ночь день в объятьях мягких лап,
Повсюду тишь и мерный храп...

А нынче! – Просто стыд и срам!
Уж нечисть жметя по углам,
Пытаясь к аду пронырнуть!
А «нашей» ...хоть бы глаз сомкнуть!»

Конец 1940-х, МГПИ

ОДА АНАКСАГОРУ (V в. до н.э.)

*Как? Солнце - и метеориты!
Какая связь меж ними скрыта?...*

Был суеверьем окутан афинский народ, почитавший
Метеориты громовыми стрелами Зевса,
В Солнце ж творенье эфирное видевший Бога.

Здесь-то внезапно при славной, при Эгоспотаме
[Фракии Козьей реки]
С неба горячая глыба железа упала,
ужас рождая кругом и великое духа смятенье!
(Не удивляйтесь – пугливым народ был в незнании...
И, как и ныне, по глупости слишком доверчив:
Видал в явлениях неба лишь грозные знаки
Бед за свои прегрешенья; грешил же изрядно...).

Но! Пробудило сей глыбы горячей паденье
В Анаксагоре великом иное сравненье:
Глыба по жару могла бы лишь с Солнцем сравниться.
Не от него ли она и могла отломиться!?...
Значит, и Солнце – совсем не эфир бестелесный
(что в наши дни и ребенку простому известно!),
А лишь огромных размеров железная крица¹,

¹ Так называли еще не очищенное от шлаков железо, выплавленное из руды.

С чем афиняне никак не могли примириться:

Изгнан был дерзкий философ в далекий Лампсак,
Где и окончил свой век многомудрый чудак.

Так началось осознание единства Вселенной:
Метеориты связали вдруг Солнце и Землю.

Ноябрь 2006

Дело было на Тунгуске...²

*«Огней так много золотых
На улицах Саратова...
Парней так много холостых,
А я люблю женатого»
из к/ф «Дело было в Пенькове».*

Камней так много неземных
Находит население!
Но нет пока следов меж них
«Тунгусского явления».

Себе мы верить не должны:
Боимся впасть в фантазии...
Гипотезы нам не нужны –
Мы по болотам лазаем:

Эх, рано массу потерял!
Печальная история:
Все тайна, если он упал,
А улетел – тем более.

Деревья пилим, торфы жжем
И кормим все комариков,
Но разобраться, что при чем,
Все ж не хватает «шариков».

Одни комету видят в нем,
Другим пришельцы чудятся...
А вдруг все то, о чем поем,
Когда-нибудь да сбудется?

Кипим мы, страсти накаля,
В бинокляр впиваемся,
Но где здесь «Космос», где «Земля»,
Никак не догадаемся.

К тому же пылит на всем скаку
Индустрия могучая!

.....
Не лучше ль быть нам начеку
И ждать другого случая?..

Начало 1970-х

² Вещество Тунгусской кометы (принятое объяснение события), как известно, расплылось на высоте неск. км, и его следы находят в виде силикатных и металлических шариков в годовых отложениях торфов на местных болотах и в сохранившихся стволах поваленного мощной баллистической волной таежного леса.... Среди более 100 гипотез о феномене есть и такие: что «метеорит» улетел обратно в космос, срикошетировав при столкновении с атмосферой Земли; или даже, что это был потерпевший катастрофу корабль пришельцев...

Неожиданное продолжение:

Встреча с Челябинским космическим пришельцем (13.02.2013)

И вот дождались: к нам летит
Челябинский метеорит!
Но не обычный, а иной:
Он баллистической волной
Крушит и все ломает вдруг
И сеет панику вокруг...

И необычное явление
Рождает мысль в одно мгновение:
В мозгу звучат Тунгуски нотки...
Ответить может только... Зоткин!
Он знает все не понаслышке!
И слышу я в ответ: «Ледышка».

Догадку осложнили вести,
Что вещество нашли на месте! –

Хондритом названо паденье.
Иное у меня решение:

Кометы синтез и хондрита!
Вот суть того метеорита!

17.09.2016