

Краткая история астрономии
Владимир Моисеев



Том 7
Солнце и звезды

Аннотация

В седьмом томе «Краткой истории астрономии» рассказано о том, как астрономы изучали Солнце до середины XX века. И как это помогло изучению звезд, когда выяснилось, что Солнце всего лишь одна звезда из многих.

Краткая история астрономии

Том 7

Солнце и звезды

Середина XIX века – середина XX века

Оглавление

Часть 7-1. Наблюдения Солнца. XVII век

Часть 7-2. Наблюдения Солнца XVIII — середина XIX веков

Часть 7-3. Исследования Солнца в период середина 19 века – начало 20 века

Часть 7-4. Магнитное поле Земли и солнечная активность

Часть 7-5. Источники излучения звезд

Часть 7-6. Анализ звездных спектров

Часть 7-7. Спектральные классификации

Часть 7-8. Переменные звезды

Часть 7-9. Двойные звезды

Часть 7-10. Двойные звезды. Начало XX века

Часть 7-1

Наблюдения Солнца. XVII век

Глава 7-1-1. Наблюдения Солнца. XVII век

Глава 7-1-2. Йоханнес Фабрициус

Глава 7-1-3. Христофор Шейнер

Глава 7-1-1

Наблюдения Солнца. XVII век

Открытие в 1610 году Йоханнесом Фабрициусом, Христофором Шейнером и Галилео Галилеем солнечных пятен стало первым шагом в изучении строения Солнца.

Затем, в 1611 году, Фабрициус, наблюдая за перемещениями пятен по солнечному диску, обнаружил, что Солнце вращается вокруг своей оси, почти перпендикулярной к плоскости эклиптики, совершая оборот за 25 – 26 дней.

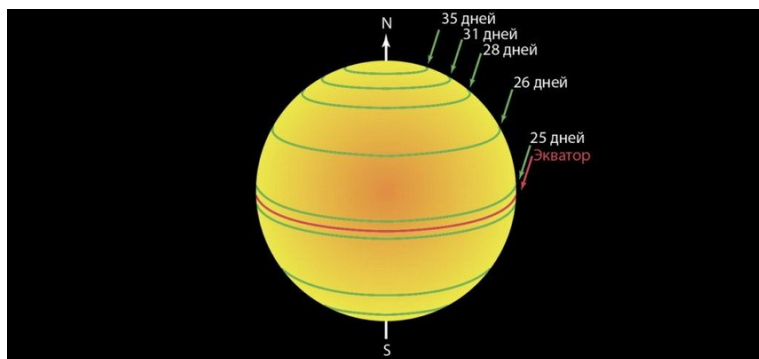


Рис. Вращение Солнца

В 1630 году Христофор Шейнер отметил, что появление пятен ограничено зоной, названной им «царской», простирающейся только на 30° к северу и к югу от экватора. Ему первому удалось наблюдать солнечные факелы. Им же установлено, что вращение различных слоев Солнца зависит от широты.

Важным для изучения физики Солнца стал опыт Исаака Ньютона, впервые получившего солнечный спектр.

Однако наладить систематические наблюдения и собрать больше содержательной информации о поверхности Солнца удалось лишь в XVIII веке.

Проведению систематических исследований мешало отсутствие подходящих инструментов. Однако была еще и важная мировоззренческая проблема. Кажущаяся неправильность явления приводила в отчаяние самых усердных наблюдателей. Согласиться с тем, что на идеальном космическом объекте — Солнце — есть изъяны, было очень сложно. Проще было искать посторонние причины.

Так, в 1620 году, некий Жан Тард, каноник в Сарла, рассуждал так: Солнце — глаз Мира, а глаз Мира не может страдать бельмом; следовательно то, что мы видим, ни в каком случае не сор или грязь на поверхности Солнца, а, конечно, множество небольших планет, пролетающих мимо него. Тард дал этой группе небесных тел имя *Borbonia Sidera* (Бурбонские светила). В 1633 году бельгийский иезуит Малапертиус предпочел приписать те же светила к Габсбургскому дому и окрестил их *Austriaca Sidera*.

Надо отметить, что подобного объяснения солнечных пятен одно время придерживался в своем споре с Галилеем Христофор Шейнер, а позже и Уильям Гаскойн, изобретатель микрометра.

Однако большинство людей, способных обсуждать видимые пятна на Солнце (а их было в те времена еще очень немного), видели в солнечных пятнах облака или мусор, плавающий на поверхности Солнца. Первую гипотезу предложил Галилей, а вторую — Симон Мариус, один из претендентов на право считаться первым ученым, применившим телескоп для изучения астрономических объектов. Это последнее предположение казалось особенно удачным после 1618 года, когда появились три

яркие кометы, а Солнце было вовсе без пятен. Решено было, что пепел и продукты горения великого солнечного огня, которые обычно наблюдаются, как пятна на поверхности Солнца, на этот раз были случайно выброшены в пространство и стали кометами.

Глава 7-1-2

Йоханнес Фабрициус

Йоханнес Фабрициус (8 января 1587 года — около 1615 года) — саксонский астроном. Сын Давида Фабрициуса.



Рис. Йоханнес Фабрициус

Первый (или, по крайней мере, одновременно и вполне независимо от Галилео Галилея и Христофора Шейнера) открыл солнечные пятна (1610/1611 гг.), их перемещение по диску солнца и вращение солнца. Его наблюдения изложены в сочинении «De Maculis in Sole observatis, et

apparente earum cum Sole conversione, Narratio etc.» («Описание наблюдаемых на Солнце пятен, передвигающихся вместе с Солнцем», 1611 г.).

Глава 7-1-3

Христофор Шейнер

Христофор (Кристоф) Шейнер (25 июля 1575 — 18 июля 1650 гг.) — немецкий астроном, физик, механик и математик.



Рис. Христофор Шейнер

Вступив в 1595 году в орден иезуитов, он был профессором еврейского языка и математики во Фрайбургском и Ингольштадтском университетах, а затем стал ректором иезуитского коллегия в Нейссе (Силезия).

Шейнер известен в первую очередь как астроном. Он первым построил телескоп-рефрактор с двумя выпуклыми

стеклами по схеме, разработанной Кеплером, получив перевернутое, но действительное изображение с большим полем зрения. Им же изобретены паралактическая монтировка телескопа (1618 г.) и гелиоскоп (см. комментарии). Он известен как изобретатель и двух чертежных инструментов — прибора для вычерчивания конических сечений и пантографа.

Наблюдения за Солнцем

В 1611 Шейнер, независимо от Г. Галилея и И. Фабрициуса, наблюдал и описал солнечные пятна и факелы на Солнце. Ввиду неприязненного отношения своего орденского начальства к открытию солнечных пятен, он опубликовал сообщение об открытии под псевдонимом «Apelles latens post tabulam». Галилей письмом от 4 мая 1612 г. известил Вельзера (банкира и своего покровителя), что он открыл солнечные пятна еще в середине августа 1610 г. и затем не только многим показывал их, но и занимался изучением их движения и изменений. Шейнер вступил с ним в продолжавшийся десятки лет спор.

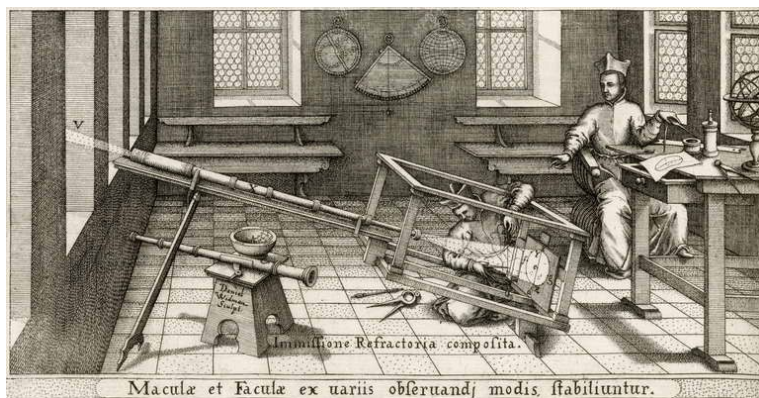


Рис. Гелиоскоп Шейнера.

Шейнер произвел над солнечными пятнами более 2000 наблюдений, причем он не только обратил внимание на пояса солнечной поверхности, в которых появляются

пятна, но и открыл наряду с последними еще факелы. Кроме того, он определил положение солнечного экватора и время вращения Солнца около оси (1630 г).

Его взгляды относительно природы солнечных пятен менялись со временем. В начале для спасения, в угоду своему началству, учения перипатетиков о совершенной чистоте Солнца он высказывал мысль, что пятна — это темные тела, вращающиеся около Солнца.

Позднее он пришел к заключению, что пятна — это впадины на солнечной поверхности. Шейнер опубликовал множество сочинений, посвященных своим наблюдениям над Солнцем. В работе 1617 года «*Refractiones coelestes sive solis elliptici phaenomenon illustratum etc.*» он высказал едва ли не впервые правильную мысль о том, что уменьшение вертикального диаметра Солнца и Луны происходит от рефракции.

Комментарии

Экваториальная (**параллактическая**) монтировка — устройство для установки телескопа так, чтобы одна из его осей была параллельна земной оси и, соответственно, перпендикулярна небесному экватору.

Вследствие вращения Земли, с течением времени, наблюдаемые внеземные объекты смещаются и «убегают» из поля зрения. Экваториальная монтировка призвана скомпенсировать вращение земного шара вращением телескопа в плоскости небесного экватора. Достаточно поворачивать телескоп на один оборот за 24 часа в направлении, противоположном вращению Земли.

Гелиоскоп. Был сконструирован в 1611 году Кристофом Шейнером для наблюдений за пятнами на Солнце. Он осуществил разработанную Кеплером схему телескопа, заменив обычное стекло на цветное. Использовались также гелиоскопы с закопченными стеклами, а позднее — посеребренные стекла и темные светофильтры. Гелиоскопы могли применяться для прямого наблюдения за Солнцем или для проецирования изображения Солнца на экране за окуляром. Такой схемой пользовался Галилео Галилей.

Часть 7-2

Наблюдения Солнца XVIII — середина XIX веков

- Глава 7-2-1. Теория Солнца Александра Вилсона
- Глава 7-2-2. Александр Вилсон
- Глава 7-2-3. Схема строения Солнца Уильяма Гершеля
- Глава 7-2-4. Наблюдения Солнца Джоном Гершелем
- Глава 7-2-5. Первые наблюдения солнечной короны
- Глава 7-2-6. «Четки» Фрэнсиса Бейли
- Глава 7-2-7. Затмение 1842 года

Глава 7-2-1

Теория Солнца Александра Вилсона

В начале XVIII века исследователи Солнца пытались ответить на важнейший вопрос: что собой представляют солнечные пятна. Вильям Дерхем, основываясь на своих наблюдениях 1703 — 1711 годов, предположил, что «пятна на солнце вызваны извержениями чего-то в род солнечных вулканов; сначала такой вулкан выбрасывает громадные массы копоты, дыма и других непрозрачных веществ — мы видим пятна, когда же эта темная материя расплзается и исчезает, а вулкан становится более и более свирепым и полным огня, — пятна пропадают и обращаются в «тени», и, наконец, в факелы».

Альтернативная теория, поддержанная Лаландом, была еще более экстравагантной. Предполагалось, что пятна — горные возвышенности на Солнце, случайно открываемые отливами светоносного океана, полутени же окружающие их — менее глубокие места этого океана, «отмели».

Обе эти гипотезы были понятными попытками объяснить видимые на Солнце явления, отыскав схожие процессы на Земле.

Отметим, что более полутора века астрономам не удавалось добавить новые сведения о Солнце. Оставались известными только факты, установленные еще Галилео Галилеем и Христофором Шейнером после изобретения телескопа в XVIII веке:

- Солнце вращается вокруг оси, которая почти перпендикулярна к плоскости эклиптики;

- период вращения составляет от двадцати пяти до двадцати шести дней, в зависимости от широты места;

- пятна образуются только в зоне, простирающейся только на 30° к северу и к югу от экватора.

Новый этап наблюдений Солнца начался в ноябре 1769 года, когда внимание Александра Вилсона, профессора астрономии из Глазго, привлекло необыкновенно большое солнечное пятно. Он внимательно следил за его перемещением по солнечному диску. Наконец, пятно достигло западного края Солнца. Вилсон, заметил, что полутень пятна со стороны центра диска постепенно сужалась и, наконец, совсем пропала. Когда же, 6 декабря, то же самое пятно показалось из-за восточного края диска Солнца, полутень появилась уже с противоположной стороны пятна (то есть опять со стороны, направленной к центру диска Солнца). Полная же ширина полутени восстановилась лишь, когда оно приблизилось к центру диска. Подобные же эффекты Вилсон заметил и в других пятнах, а потому он счел себя вправе объявить (1774 год), опираясь на чисто геометрические соображения, что явления эти могут быть объяснены лишь существованием обширных впадин на поверхности Солнца.

Надо отметить, что подобные взгляды высказывались еще раньше. Уже последние наблюдения Шейнера давали для них основание. В начале восемнадцатого столетия о подобном явлении говорил Леонард Рост из Нюрнберга. А Жак Кассини в 1719 году замечал, что пятна при приближении к краю диска превращались в «зазубрины».

Но именно Вилсон сформулировал общую «теорию» Солнца. Он задался вопросом:

«Нельзя ли допустить, что великое, изумительное небесное тело сложено из веществ двух родов, совершенно

различных по своим качествам; внутренняя, наибольшая часть Солнца тверда и темна, и этот темный громадный шар окружен покровом из тонкого слоя сверкающего материала, сообщающего Солнцу все его живительное тепло и всю энергию?»

Далее Вилсон указывает, что впадины или пятна могли бы быть вызваны «действием каких-нибудь упругих газов или паров, образующихся в темном внутреннем теле Солнца», а огненное вещество, достаточно жидкое, повинувшись силе тяжести, стекает вниз и расстилается по всему темному ядру.

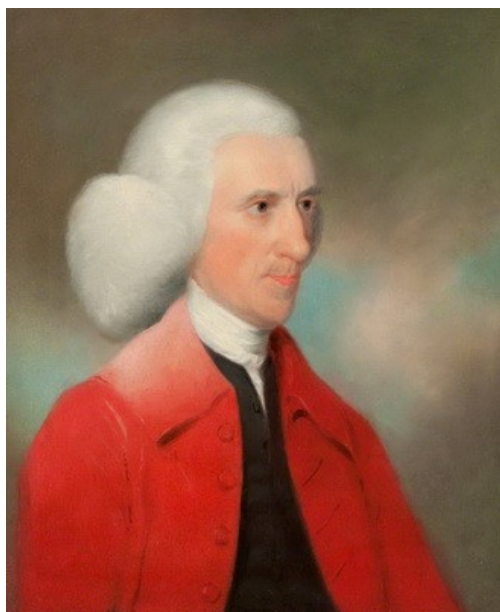
Глава 7-2-2

Александр Вилсон

Александр Вилсон (1714 — 16 октября 1786 гг.) — шотландский хирург, астроном, математиком и метеорологом. Он был первым ученым, использовавшим воздушных змеев в метеорологических исследованиях. Член Эдинбургского философского общества.

Соучредитель Эдинбургского королевского общества (1783 год) .

Родился в Сент-Эндрюсе, в семье Патрика Вилсона, городского клерка. Образование получил в Университете Сент-Эндрюс, где в 1733 году, в возрасте 18 лет, окончил магистратуру. Сначала он поступил в ученики к врачу в Сент-Эндрюсе, где приобрел опыт изготовления стеклянных ртутных термометров. В 1737 году он уехал в Лондон и устроился на работу ассистентом к французскому хирургу и аптекарю. В это время он познакомился с лордом Арчибальдом Кэмпбеллом, который, как и Вилсон, интересовался астрономией. Вильсон изготавливал для лорда инструменты.



Александр Вилсон

В 1739 году Вилсон вернулся в Сент-Эндрюс, где вместе с другом открыли типографию. Вилсон создал несколько новых шрифтов. В 1748 году он был назначен типографом Университета Глазго. До сих пор используются шрифты, созданные на основе его разработок: Fontana, Scotch Roman и Wilson Greek.

В 1749 году Вилсон впервые зарегистрировал использование воздушных змеев в метеорологии. С их помощью измеряли температуру воздуха на разных высотах.

В 1760 году, по протекции лорда Кэмпбелла, Вилсон был назначен профессором практической астрономии в новой обсерватории университета Глазго (обсерватория Макфарлейна, названная так в честь торговца и рабовладельца из Кингстона, завещавшего университету инструменты).

Главным его достижением стали исследования за солнечными пятнами. Наблюдая за изменением ширины полутени пятна возле лимба, он пришел к выводу, что

пятна были впадинами в в целом сферической фотосфере. Это явление называется эффектом Вилсона.

18 февраля 1772 года Датская королевская академия наук и литературы наградила Вилсона золотой медалью за его работу о солнечных пятнах.

Глава 7-2-3

Схема строения Солнца Уильяма Гершеля

Идеи Александра Вилсона оказали большое влияние на Уильяма Гершеля, который дополнил их собственными наблюдениями и различными, как ему казалось, правдоподобными фантазиями. Гершель выработал схему строения Солнца, которая держалась в науке до тех пор, пока не был изобретен спектральный анализ.

Солнце, по его мнению, представляет собой холодный, темный, твердый шар, горы и долины которого покрыты богатейшей растительностью и «обильно снабжена живыми существами». Для того, чтобы этот мир стал реальностью, он должен был быть прикрыт тяжелыми облаками от невыносимого зноя светонесной области, выделяющий запасы света и тепла, дающие жизнь всей солнечной системе.

Гершель так объяснял свою теорию:

«Этот взгляд на Солнце и его атмосферу уничтожает великую рознь между строением центрального светила и строением других больших тел солнечной системы. Солнце, так истолкованное, является ничем другим, как планетой, громадной и сияющей, наибольшей среди остальных, и даже, строго говоря, единственной планетой, так как остальные просто его спутники. А полное сходство Солнца с планетами, выраженное в одинаковой прочности и твердости, одинаковой атмосфере, в веселом пейзаже поверхности, во вращении вокруг оси, в свойстве притягивать весомые тела — такое сходство ведет к заключению, что по всей вероятности Солнце, подобно всем остальным планетам, населено живыми существами, организмы которых, конечно, приспособлены к особенностям условий жизни на этом громадном шаре».

Дальнейшие исследования Солнца опровергли теории Уильяма Гершеля. Но некоторые его представления все же оставили глубокий след в науке.

После долгого изучения явлений, происходящих на Солнце, Гершель сумел предугадать взгляды об излучении Солнцем энергии.

Он описал рябой вид фотосферы, напоминающий, как он выражался, шероховатую кожу апельсина. Показал, что факелы возвышаются над фотосферой. Гершель отверг теории, по которой пятна считались продуктами избытка сияющих извержений. Он предполагал (совершенно так же, как Вилсон), что некий «чудесный» газ, зарождающийся в самом теле Солнца, вырывается оттуда, вследствие своей легкости. Пока этот газ выделяется в небольшом количестве, он пробивает себе путь в фотосфере через поры, — малые ответвления, рассеянные подобно темным точкам по всему диску Солнца. Если же скопится много газа, то «он разрывает планетарный слой облаков и там образуются большие отверстия». Затем этот газ расстилается над ними и образует широкие впадины (полутени), а, смешиваясь постепенно с другими газами в верхних оболочках Солнца, он тем самым вызывает и поддерживает усиленное образование внешних светоносных наслоений.

И все-таки теория Гершеля принесла значительную пользу науке. Она явилась первой серьезной попыткой объяснить явления, наблюдаемые на Солнце, в рамках логичной системы, сгруппировать все собранные факты в одно связное целое, придумать механизм, который мог бы работать подобно Солнцу.

Глава 7-2-4

Наблюдения Солнца Джоном Гершелем

В конце 1833 года Джон Гершель отправился в южное полушарие и обосновался в обсерватории на мысе Доброй Надежды, где вёл наблюдения в течение четырёх лет. Кроме основных направлений работы: составления каталога Южного полушария, исследования двойных и переменных звезд и наблюдения туманностей Джон

Гершель занимался тщательным наблюдением солнечных пятен. В конце 1836 и в начале 1837 года наблюдалось особое обилие пятен, и Гершель отметил, что пятна были замечательны как по своей форме и распределению, так и по числу и размерам. Одна группа, измеренная Гершелем 29 марта 1837 года, покрывала громадную площадь в пять квадратных минут или 10000 миллионов квадратных километров.

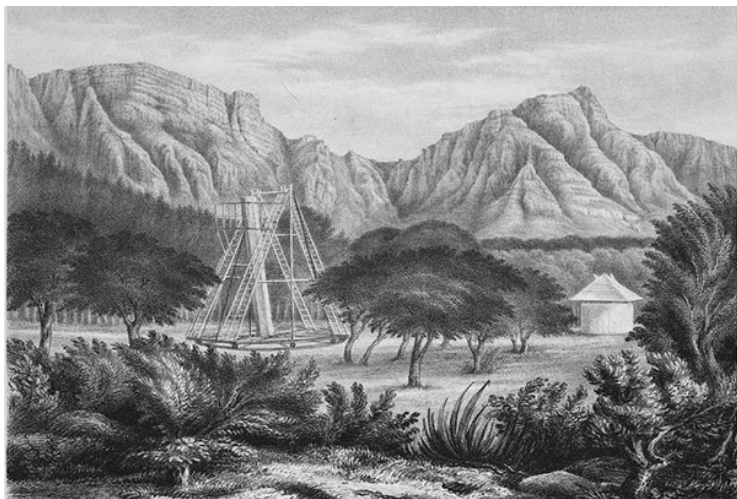
Джон Гершель представил свое объяснение феномену солнечных пятен. Известное уже раньше распределение пятен в двух зонах, параллельных экватору Солнца, указывало на их тесную внутреннюю связь с вращением Солнца и давало повод думать, что причина возникновения пятен кроется в круговоротах жидкой или газообразной материи, аналогичных земным пассатам и антипассатам.

Такой подход показался Джону Гершелю естественным.

«С этой точки зрения пятна могут быть приравнены к таким областям земли, где в данное время господствуют ураганы и вихри. Внешняя оболочка Солнца по временам падает вниз, смещает и разрывает своим натиском два нижних светонесущих слоя, причем верхний слой, конечно, разрывается больше, чем нижний, и таким образом почти, или совершенно, обнажает внизу часть темной поверхности самого ядра Солнца. Такое явление неизбежно сопровождается вихрями, которые затем, будучи предоставлены самим себе, постепенно затихают и исчезают. Движение замирает в нижних слоях раньше, чем в верхних, во-первых, вследствие большого сопротивления, которое там развивается, во-вторых, вследствие большого удаления от очага первичной силы, который лежит несомненно в верхних слоях. Таким образом, центры ураганов (совершенно подобно тому, что происходит в наших водоворотах — ураганах в миниатюре) при затихании возвращаются понемногу выше и выше. Все это совершенно согласно с тем, что мы видим в пятнах при их разрушении: пятна как бы заливаются светонесущей материей, бока их сдвигаются все ближе и ближе, полутень понемногу закрывает ядро пятна, а затем исчезает и сама».

Но для объяснения подобных процессов, необходимо было предложить механизм возникновения разности

температур на Солнце, аналогичный тому, что вызывает потоки в земной атмосфере. По гипотезе Джона Гершеля тепло в экваториальной зоне накапливалось в силу небольшой экваториальной выпуклости и небольшого сжатия атмосферы Солнца.



На мысе Доброй Надежды

Излучение Солнца

В 1837 году Джон Гершель провел очень важное исследование. Он решил измерить мощность прямого нагрева солнечных лучей. Для этого он использовал специальный прибор — актинометр, который изобрел в 1825 году.

Найденная Гершелем величина излучаемой Солнцем энергии, полученная им, оказалась близка к результатам измерений, производившимся в то же самое время во Франции Клодом Пулье (1791 — 1868 гг.). В обоих случаях измерена была теплота, получаемая данной площадью земной поверхности в данный промежуток времени от прямого действия солнечных лучей. После учета поглощения солнечных лучей при прохождении через атмосферу оба ученых определили полное количество

теплоты, ежегодно получаемой Землей. А следовательно и полную величину солнечного излучения, из которого только $1/2000000$ достигает Земли.

Позднее выяснилось, что оценка количества теплоты, поглощаемой нашей атмосферой, была недостоверной, и позднейшие работы, особенно доктора Лангеля (1880 — 1881 гг.), показывают, что и Гершель, и Пулье оценили его слишком низко. По вычислениям Гершеля теплоты, ежегодно получаемой землей от солнца (считая и ту, которая задерживается атмосферой), было бы достаточно, чтобы растопить слой льда толщиной в 120 футов, покрывающей всю землю; по вычислениям Лангеля, ее хватило бы и на толщину в 160 футов.

Глава 7-2-5

Первые наблюдения солнечной короны

До середины XIX века на Солнце изучались только явления, которые удавалось наблюдать при помощи телескопов на солнечной поверхности. Важным шагом в развитии наблюдательной астрономии стало понимание того, что прямое изучение поверхности Солнца вовсе не единственный способ изучения его строения. Оказалось, что наблюдения затмений Солнца Луной позволяет замечать явления, скрытые от глаз астрономов в обычное время. Если раньше затмения использовали лишь для проверки и внесения поправок в принятые теории движения Солнца и Луны, для чего с возможной точностью отмечались моменты их наступления, то теперь стали обращать внимание на сопутствующие явления.

Следует отметить, что внимательные наблюдатели отмечали необычные эффекты во время затмения и раньше. Но крайне мало. Например, Плутарх говорил о каком-то «блеске», который появлялся при всех полных затмениях и опоясывал скрытое луной Солнце. Первый научный анализ наблюдений солнечных затмений сделал Иоганн Кеплер. Сам он не был очевидцем ни одного полного солнечного затмения, но собрал и сравнил отчеты очевидцев. По его мнению, кольцо «огненного сияния»,

видимое при затмениях, вызвано отражением солнечных лучей от какого-то вещества, сгустившегося или вблизи Солнца, или вблизи Луны. Кеплер считал, что корона часть Солнца, но доказать этого не мог.

В первый раз явления, сопровождавшие затмение Солнца, профессионально наблюдались 12 мая 1706 года в южной Франции. Джованни Кассини, директор Парижской обсерватории, предположил, что «венеч бледного света», который он заметил, имеет ту же природу, что и «зодиакальный свет». Мнение Кассини однако не привлекло к себе внимания.

Через девять лет, 3 мая 1715 года, затмение можно было наблюдать в Лондоне. Эдмунд Галлей так описывает это событие:

«Было девять часов утра. Затмение достигло десяти дюймов когда цвет неба начал меняться. Чистая лазурная синева принимала мрачный багровый оттенок, точно туда впустили багряной краски... За несколько секунд перед тем, как Солнце исчезло совершенно, вокруг Луны появилось светящееся кольцо шириной в одну десятую часть диаметра Луны. Цвет его был похож на цвет жемчуга, бледный, белесоватый, как мне казалось, слегка переливавшийся цветами радуги. Кольцо было концентрично с Луной, из чего я и заключил, что это была атмосфера Луны. Однако большая ширина кольца, далеко превосходящая высоту земной атмосферы, замечания некоторых наблюдателей, которые утверждали, что ширина кольца увеличивалась с западной стороны по мере того, как приближался конец затмения, и противоположные взгляды людей, мнение которых я привык уважать (всего вероятнее, что здесь Галлей намекает на Ньютона), все это заставляет меня меньше доверяться моему собственному выводу, особенно же в виду того, что я не отнесся к явлению, сознаюсь в этом, со вниманием, которого оно заслуживало бы».



Затмение. Хромосфера. Корона

В конце концов Галлей уклоняется от решения вопроса, которому из двух светил, Солнцу или Луне, принадлежит та озаренная светом «атмосфера», на которую по всем признакам так похоже наблюдаемое сияние.

Более определенно высказался французский астроном Делувиль. Он посчитал, что корона связана с атмосферой Луны. Эта гипотеза была опровергнута наблюдением Маральди в 1724 году, отметившим, что Луна скользила по светлomu кольцу, и оно вовсе не следовало за Луной.

В 1715 году Делиль и Лагир предложили новое объяснение, подкрепленное опытами, казавшимися в то время убедительными. Ореол около затмившегося Солнца, говорили они, есть просто результат дифракции, то есть кажущегося искривления лучей Солнца, идущих над поверхностью Луны. Эта теория имела успех среди людей науки даже еще после того, как Брюстер показал, что дифракции не могла быть заметна на таком расстоянии.

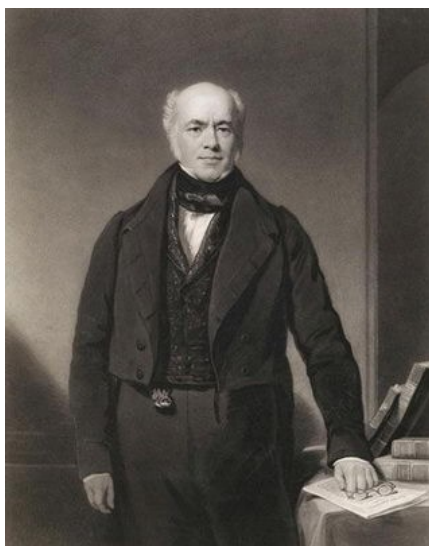
Глава 7-2-6

«Четки» Фрэнсиса Бейли

Фрэнсис Бэйли (28 апреля 1774 — 30 августа 1844 гг.) — английский астроном. Прославился наблюдением и описанием «чёток Бейли», оптического эффекта во время полного солнечного затмения 15 мая 1836 года, получившего его имя.

Фрэнсис Бейли родился в Ньюбёри, в Беркшире. В четырнадцать лет поступил на службу в контору в Сити. Затем, благодаря знакомству с Пристли, в нем пробудилась любовь к науке, не покидавшая его уже в течение всей жизни.

В 1799 году, после двухлетнего путешествия по Северной Америке, Бейли стал маклером на Бирже, где за двадцать пять лет усердной работы заслужил репутацию высоко честного и умелого дельца, а также успел приобрести большое состояние.



Френсис Бейли

В 1820 году, при содействии Бейли, было основано Лондонское Астрономическое Общество. Три года Бейли работал там секретарем, после чего решил окончательно посвятить свою жизнь астрономии, которой до сих пор мог уделять только часы досуга. В 1825 году он удалился от дел, приобрел дом и устроил небольшую обсерваторию. По своим наклонностям он был больше вычислитель, чем наблюдатель. Большая часть его работ была связана с так называемой «археологией практической астрономии», как называл подобную деятельность Джон Гершель. Бейли переработал и переиздал звездные каталоги Птолемея, Улугбека, Тихо Браге, Гевелия, Флэмстида, Лакайля и Майера. Вычислил даты затмений, наблюдаемых Фалесом и Агафоклом.

Бейли занимался распространением новых методов обработки наблюдений, разработанных Фридрихом Бесселем. Он использовал их при составлении звездного каталога Лондонского Астрономического Общества (1827 год).

Известность Бейли еще более упрочилась после повторения им, при помощи улучшенных приборов, опытов Кавендиша по определению плотности земли. На основании 2153 опытов, которые он произвел в 1838 — 1842 годах, Бейли заключил, что вес земли в 5,66 раз более веса одинакового объема воды.

В 1842 году Бейли закончил громадный труд новой обработки большого каталога Лаланда, предпринятый им по поручению Британской Ассоциации наук, и уже взялся за чтение корректур, как был сражен смертельной и вероятно первой серьезной в жизни болезнью. Он нашел еще в себе силы присутствовать на юбилее Оксфордского Университета 2 июля 1844 года, где ему вместе с Эри и Струве поднесен был почетный титул доктора обычного права, но после этого Бэйли быстро угас. Он скончался 30 августа того же года, семидесяти лет от роду, оплакиваемый всеми знавшими его

Исследования Солнца

15 мая 1836 года на севере Англии было видимо кольцообразное затмение Солнца. Во время наблюдений

Бейли заметил интересное явление, которое благодаря его живому описанию стало известным под именем «чётки» Бэйли».

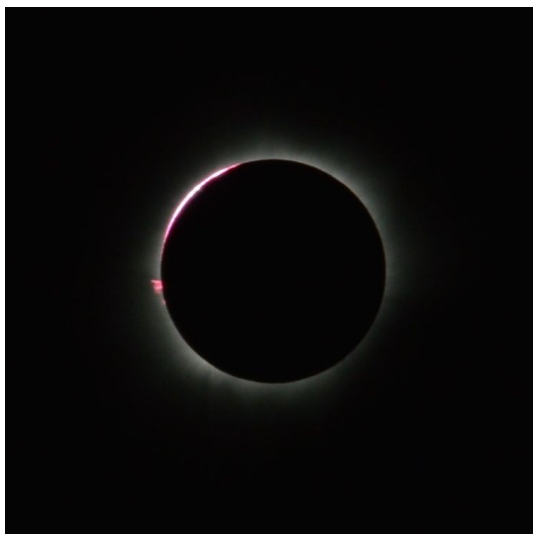


Рис. Четки Бейли

Вот как он описывает свое открытие:

«Когда между остриями серпа Солнца оставалось уже не более 40° , внезапно, вокруг края Луны, который вот-вот должен был вступить и вырисоваться на диске Солнца, появился ряд светящихся точек, похожих на нитку ярких бус или чётки, неравных между собой по величине и насаженных на неравных расстояниях. Появление этих чётки было так быстро, что получилось впечатление, точно они вспыхнули, были подожжены какой-то пороховой ниткой. Между тем Луна понемногу передвигалась далее по диску Солнца, и вот, темные промежутки между чётками вытянулись в длинные, черные, широкие ниши, которые соединяли края дисков Солнца и Луны. В начале, при своем образовании, эти темные промежутки имели вид высоких гор на Луне, а потом эти горы точно не могли оторваться от края Солнца. Вдруг черные нити лопнули все разом, края

дисков Солнца и луны в этом месте сделались такими же вполне гладкими и круглыми, как и по всему ободку, а Луна оказалась уже значительно подвинувшейся на диске Солнца».

Это интересное явление не было однако вполне новостью. Вебер в 1791 году, а фон Цах в 1820 году видели такие чётки; с своей стороны Ван Свинден говорил о каких-то «нитях» или «полосах». Такие нити аналогичны «черной капле», наблюдавшейся при прохождении Венеры по диску Солнца в 1761 и 1769 годах.

Подобные явления обусловлены иррадиацией. Яркий предмет расплывается, его края заходят на соседние предметы. Но чем лучше атмосферные условия, чем совершеннее оптические средства, тем менее значительны эффекты иррадиации.

Комментарий

Чётки Бейли — оптический эффект, возникающий в начале или в конце максимальной фазы полного солнечного затмения непосредственно после второго или непосредственно перед третьим касанием. Чётки Бейли — это последовательность ярких пятен вдоль лунного лимба, возникающих, когда солнечный диск почти полностью скрыт лунным, но всё же проглядывается между лунными горами или углублениями в центрах лунных кратеров, оказавшихся на тот момент на краю лунного диска. Выглядят как точки ослепительно рубиново-красного цвета. Хорошо видны только в бинокль или телескоп.

Глава 7-2-7

Затмение 1842 года

Сообщение Фрэнсиса Бейли об открытых им на Солнце «четках» пробудило у астрономов живейший интерес к солнечным затмениям, к исследованию физической стороны явления. Никогда еще событие этого рода не ожидалось с таким нетерпением, никогда к нему не готовились так усердно, как к полному затмению, видимому в Центральной и Южной Европе 8 июля 1842

года. Астрономы отправились в города, где затмение должно было наблюдаться наилучшим образом. Эйри в Турин., Бейли в Павию. Отто Струве в Липецк. Шумахер в Вену. Араго в Перпиньян. Зрелище, которое они увидели, превзошло самые пылкие их ожидания.

Вот как описывает затмение Фрэнсис Бейли, расположившийся со своим ахроматическим телескопом в одной из комнат верхнего этажа университета в Павии:

«Я был поражен оглушительным взрывом аплодисментов, раздавшихся внизу на улице. Тотчас и я сам был наэлектризован видом открывшегося зрелища, одного из самых блестящих и великолепных, какие только можно себе представить. Действительно, как раз в этот момент вокруг темного тела луны внезапно загорелась какая-то корона, какое-то яркое сияние, похожее и по размерам и по виду на венец, на ту «славу», которую изображают вокруг голов святых и к которой лучше всего подходит французское слово ореол. И вот, когда наступило полное затмение Солнца, когда солнечный свет мгновенно потух, единодушный крик вырвался у всех созерцателей, крик, который «пронесся по всей подлунной» и на мгновение отвлек мое внимание. Несомненно, я предвидел появление светлого кольца вокруг луны при полной фазе затмения, но ни в каком отчете о прежних затмениях, какие мне только приходилось читать, не было описано ничего подобного, и я вовсе не ожидал увидеть великолепие, находившееся у меня теперь перед глазами... Ширина короны, считая от окружности диска луны, на мой взгляд была равна примерно половине лунного диаметра. Она казалась составленной из ярких лучей. Свет ее был точно «гуще» (ярче) около самого края луны, а по мере удаления от нее лучи короны делались все слабее, тоньше; ослабление света шло совершенно плавно вместе с увеличением расстояния. Корону можно было представить себе в виде пучков прямых светлых лучей; внешние концы их расходились веером; лучи были неравной длины. Нигде, ни в одной части короны я не мог подметить какого-либо правильного хорошо обозначенного контура, который составил бы внешний край короны. Мне кажется, что Солнце приходилось как раз в ее центре, но у меня не

было средств произвести какие либо измерения, чтобы точно определить положение центра короны. Цвет короны не был ни жёлтый, ни красноватый, не походил на цвет жемчуга; она была совершенно белого цвета; ее лучи точно переливали или мерцали; подобное впечатление, должно быть, делало бы газовое пламя, если бы ему была придана такая же форма».

«Однако, наиболее удивительной подробностью всей картины нужно признать появление трех больших выступов (протуберанцев), которые словно выросли из края луны, но составляли очевидно часть короны. Все три выступа имели одинаковый розоватый оттенок, резко выделявшийся на блестящем, чистом, белом сиянии короны. Выступы различались между собой только по величине... Все три выступа целиком были видны до последнего момента полной фазы затмения; по крайней мере я ни на мгновение не терял их из вида. Но как только прорвался первый луч самого Солнца, выступы вместе с короной пропали бесследно и сразу восстановилось яркое дневное освещение».

Протуберанцы наблюдали и другие астрономы.

Эйри видел пылающие выступы даже невооруженным глазом. Он написал:

«Их формы напоминают зубцы круговой пилы, наклоненные так, что пилить пришлось бы, вращая пилу по направлению движения часовой стрелки... Их цвет был цвет крап-лака, а блеск несомненно превосходил блеск всех других частей кольца».

По оценке Араго высота этих удивительных предметов достигала двух минут дуги, то есть их величина была не меньше 86000 километров. Их форма не менялась в течение трех минут полного затмения, хотя на вид она была совершенно неустойчивой. Араго сравнивал выступы с горами, «готовыми разлететься вдребезги»; вершины их свешивались в сторону и тяжестью своей должны были, казалось, нарушить равновесие.

Наблюдения короны, сделанные на различных стадиях привели к большим разногласиям как относительно ее вида, так и размеров. Но это объяснялось различием атмосферных условий в местах наблюдений.



Рис. Протуберанец

Джон Гершель, в письме к своей почтенной тетке, рассказывает, как утром 8 июня 1842 года, едва только яркое красное пламя выступов загорелось из-за черного диска луны, население Милана, с обычной для черни непоследовательностью, принялось кричать: «Молодцы астрономы!»! А по правде сказать, никто не был меньше приготовлен к явлению выступов, чем те люди, на долю которых выпали похвалы за чудное зрелище. И это произошло в известной мере по их собственной вине; они оставляли без внимания множество отдельных намеков, даже прямых указаний наблюдателей прежних времен на то, что подобные световые «видения» могут сопровождать затмение Солнца.

Дальнейшие обсуждения касались физической природы протуберанцев. Нужно было исследовать их строение, их происхождение. Обычно их принимали за облака на Солнце. Араго думал, что они сияют отраженным светом, но аббат Пейताल правильно высказался за собственный свет выступов. В своей статье, напечатанной 16 июля 1842 года в одной из газет в Монпелье, он объявил, что теперь доказано существование третьей, внешней солнечной оболочки. Эта оболочка, продолжает Пейताल, составлена из вещества, пылающего ярко-розовым пламенем; оно

образует «горы» громадной высоты, совершенно аналогичные по виду с нашими земными облаками, когда те кажутся нам точно нагроможденными на горизонте.

Комментарий

Протуберанцы (от лат. *protubero* — вздуваюсь) — плотные конденсации относительно холодного вещества, которые поднимаются и удерживаются над поверхностью Солнца магнитным полем.

Спокойные протуберанцы. Вещество движется медленно. Время существования — недели и месяцы.

Активные протуберанцы. Потоки вещества движутся от протуберанца к фотосфере и от одного протуберанца к другому с довольно большой скоростью.

Эруптивные протуберанцы. Напоминают громадные фонтаны высотой до 1,7 млн км над поверхностью Солнца.

Часть 7-3

Исследования Солнца в период середина 19 века – начало 20 века

Глава 7-3-1. Наблюдения Солнца после 1842 года

Глава 7-3-2. Первые дагерротипы Солнца

Глава 7-3-3. Алексей Павлович Ганский

Глава 7-3-4. Спектральный анализ

Глава 7-3-5. Спектрографы

Глава 7-3-6. Открытие гелия

Глава 7-3-7. Короний

Глава 7-3-8. Серии спектральных линий

Глава 7-3-9. Магнитное поле Солнца

Глава 7-3-10. Спектрогелиограф. Спор о приоритете

Глава 7-3-11. Джордж Эллери Хейл

Глава 7-3-12. Анри Александр Деландр

Глава 7-3-13. Утрехтский Атлас

Глава 7-3-14. Марсел Гиллес Йозеф Миннарт

Глава 7-3-1

Наблюдения Солнца после 1842 года

В 1904 году Герберт Тернер (1861 — 1930 гг.) вручил золотую медаль Королевского астрономического общества Джорджу Эллери Хэйлу за его метод фотографирования поверхности Солнца и другие работы в области астрономии. Произнесенная по этому поводу речь Тернера начиналась следующими словами:

«Как писал сам профессор Хэйл в недавней работе, «не будет слишком частым повторение того факта, что Солнце является единственной звездой, у которой все явления могут быть детально изучены». Мы тоже присоединяемся не только к этому высказыванию, но и к очевидному выводу, что солнечным явлениям должно быть уделено

особое внимание; и все же, как видно из истории астрономии, это утверждение, сколь ни часто повторяемое, проходило мимо ушей».

По мнению Отто Струве «за редкими исключениями, этот призыв оставался гласом вопиющего в пустыне почти до конца XIX столетия. Только примерно в 1890 году начался период интенсивного и детального изучения, солнечных явлений, главным образом благодаря усилиям Хейла в Соединенных Штатах и Деландра во Франции».

Но так ли это. В 1851 году было опубликовано открытие Ламонта — шотландца, работавшего в Мюнхене. Он установил, что нерегулярные нарушения покоя магнитной стрелки, т. е. магнитного поля Земли, попеременно то усиливаются, то ослабевают также с периодом в 10 лет. То же самое справедливо и для связанных с ними северных сияний. Себайн в Англии и Вольф в Берне сразу же констатировали, что изменения магнитных бурь на Земле очень хорошо и точно следуют изменению солнечных пятен и что даже появление отдельных больших пятен на Солнце сопровождается магнитными бурями и северными сияниями на Земле.

В это время с помощью проектирования изображения Солнца на экран фиксировалось не только количество солнечных пятен, но и их положение и движение. Прежде всего (как и у планет) удалось провести точное исследование вращения Солнца вокруг оси.

В 1853 — 1861 годах Кэррингтон нашел, что период вращения возрастает по мере удаления от экватора Солнца. Следовательно, пятна не могли быть участками твердого тела Солнца.

После изобретения фотографии она была немедленно применена для изучения Солнца. прежде всего потому, что позволяла в любой день быстро и точно регистрировать все пятна, факелы и другие образования.

В 1858 г. в Кью был установлен фотогелиограф конструкции Варрена Деларю, позднее перевезенный в Гринвич, где с тех пор регулярно проводилось фотографирование и измерение изображений Солнца.

По фотоснимкам можно было вывести количество, полную поверхность, форму, положение и движение этих образований. При этом интересное применение нашли

фотографии, снятые одна за другой, когда Солнце немножко повернулось. При рассматривании их в стереоскоп Солнце выглядело как шар с высоко лежащими образованиями — факелами и глубже расположенными пятнами.

Глава 7-3-2

Использование фотографии для изучения Солнца

Одним из пеовых астрономических объектов, привлечших внимание фотографов, стало Солнце.

Уже 8 июля 1842 года, во время знаменитого полного солнечного затмения, которое можно было наблюдать в Центральной и Южной Европе, австрийский астроном Джан Алессандро Майокки (1795 – 1854 гг.) получает первую фотографию фазы солнечного затмения на дагерротипе с 2-минутной экспозицией.

Получить фотографию полного солнечного затмения ему не удалось. Позже он представил раскрашенный рисунок, отчет о работе и полученные им дагерротипные фотографии, на которых написал:

«За несколько минут до и после полного облучения йодированная пластина экспонировалась в камере под светом тонкого полумесяца. Было получено отчетливое изображение, но другая пластина, освещенная светом короны в течение двух минут во время полной обработки, не показала ни малейшего проявления света. Никаких фотографических изменений не было вызвано светом короны, сконденсированной линзой в течение двух минут, в течение всего времени на листе бумаги, приготовленном с бромидом серебра».

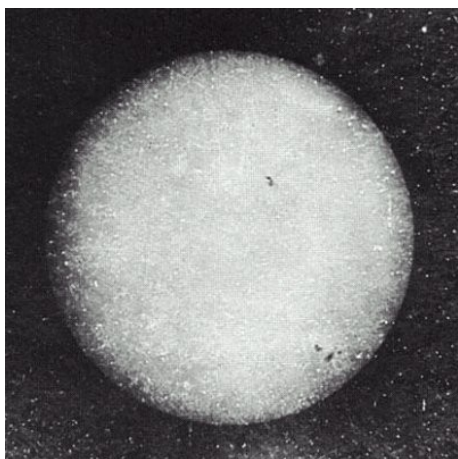


Рис. Дагерротип фазы солнечного затмения Джана
Алессандро Майокки

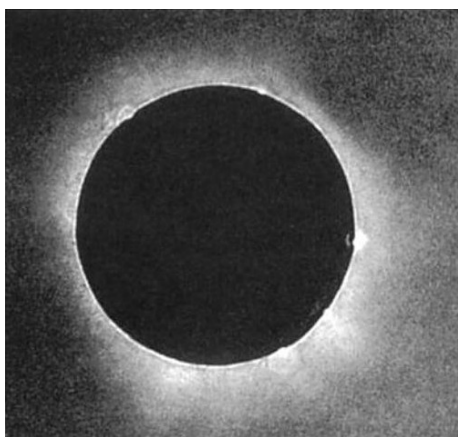
В 1845 году, в Парижской обсерватории, были предприняты попытки получить фотографии Солнца вне затмения. По словам Франсуа Араго, большое количество дагерротипов Солнца было получено Арманом Ипполитом Луи Физо (1819 – 1896 гг.) и Жаном Бернаром Леоном Фуко (1819 – 1868 гг.). Одна из этих фотографий, сделанная 2 апреля 1845 года, сохранилась до сих пор.

В 1851 году в Риме Анджело Секки (1818 – 1878 гг.) делает дагерротипы частичных фаз солнечного затмения с 6,5-дюймовым (16,2 см) рефрактором с фокусным расстоянием 8 футов (2,5 м). Более удачные фотографии получились спустя 6 лет.

28 июля 1851 года. Директор Кенигсбергской обсерватории Август Людвиг Буш поручил местному дагеротиписту Иоганну Берковски сфотографировать затмение. Сам Буш не присутствовал в это время в Кенигсберге, предпочитая наблюдать за затмением из близлежащего Риксхофта.



Дагерротип Солнца. 2 апреля 1845 года.

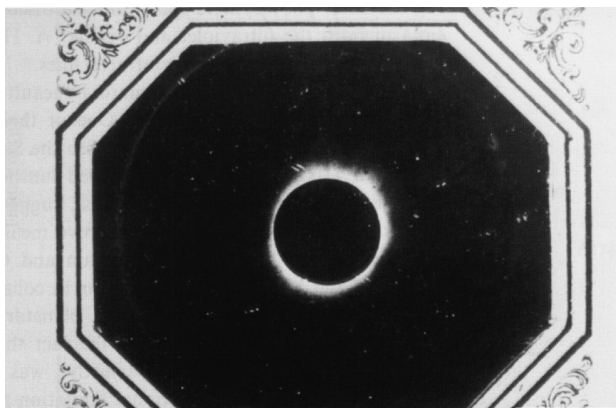


Дагерротип солнечного затмения Берковского

Первая фотография полного солнечного затмения, сделанная в Кёнигсбергской обсерватории 28 июля 1851 года дагерротипистом Берковским. Телескоп, который использовал Берковски, был прикреплен к гелиометру 6,5

дюйма (17 см) Кенигсберга и имел апертуру всего 2,4 дюйма (6,1 см) и фокусное расстояние 32 дюйма (81 см).

Более качественные фотографические исследования Солнца были выполнены британским астрономом Уорреном Де ла Рю начиная с 1861 года.



Фотография Уоррена Де ла Рю

Дальнейшее усовершенствование фотографической техники позволило в любой день быстро и точно регистрировать все пятна, факелы и другие образования на поверхности Солнца. По фотоснимкам можно было вывести количество, полную поверхность, форму, положение и движение этих образований. А при рассматривании последовательно снятых фотографий в стереоскоп Солнце выглядело как шар с высоко лежащими образованиями — факелами и глубже расположенными пятнами.

Кроме того, стао возможным изучать детали пятен и грануляционной структуры поверхности фотосферы между пятнами. На фотографиях детали получались менее резко, чем визуальном наблюдении, но все же фотографии были документом. К тому же они позволяли проследить быстрые изменения пятен от их появления до исчезновения. Такие наблюдения не требовали рассмотрения тонких деталей. Иначе обстояло дело с тонкой структурой мельчайших элементов солнечной поверхности — зерен или гранул.

Только в 1905 году Алексею Ганскому, астроному из Пулковской обсерватории, после сравнения множества последовательных снимков Солнца удалось установить, что средняя продолжительность жизни отдельных гранул составляет 2—5 минут. Затем они распадаются и заменяются новыми.

Глава 7-3-3

Алексей Павлович Ганский

Алексей Павлович Ганский (8 (20) июля 1870, село Николаевка (Ганское) (ныне Одесская область), Ананьевского уезда Херсонской губернии — 29 июля (11 августа) 1908, Симеиз, Ялтинский уезд, Таврическая губерния) — российский астроном, геодезист и гравиметрист.



Алексей Павлович Ганский

Ганский происходит из дворянского рода Ганских (герб Газдава). Родители — Павел Петрович Ганский (1837 — 1910 гг.) и Елена Алексеевна Зимницкая. Один из братьев — художник Пётр Ганский. Сестра Софья была замужем за авиатором В. П. Быстрицким.

Учился в Ананьевской гимназии (1883 — 1886 гг.), затем — в Ришельевском лицее (1886 — 1890 гг.), окончив который поступил на физико-математический факультет Новороссийского университета по отделению математических наук. В 1891 году перешёл в Московский университет, но в начале 1892 года по семейным обстоятельствам вернулся в Новороссийский, который и окончил в 1894 году. Затем, с 1897 года, учился в Сорбонне по классу астрономии, математики и физики. Работал в Медонской обсерватории под Парижем.

С 1905 года — сотрудник Пулковской обсерватории. Инициатор создания Симеизского отделения Пулковской обсерватории (1908 г.).

Трагически погиб в Симеизе 29 июля (11 августа) 1908 года. Как указал Г. А. Тихов в 1908 году «однажды Алексей Павлович пошёл купаться на море. При сильном прибое его ударило головой о камень. Он потерял сознание и утонул».

Похоронен на Поликуровском кладбище в Ялте.

Основные научные исследования Алексея Павловича Ганского связаны с физикой Солнца. Участвовал в экспедициях на Новую Землю, в Испанию и в Среднюю Азию для наблюдения полных солнечных затмений.

В 1897 — 1905 годах совершил 9 восхождений на Монблан для определения солнечной постоянной, внезатменных наблюдений солнечной короны, наблюдений Венеры. В 1897 году указал на изменения формы солнечной короны в 11-летнем солнечном цикле. Участвовал в российско-шведских экспедициях на Шпицберген (1899, 1901 гг.) для градусных и гравиметрических измерений.

Получил исключительные по качеству фотографии солнечных пятен, обнаружил зависимость формы солнечной короны от количества пятен. В 1905 году установил, что средняя продолжительность жизни отдельных фотосферных гранул составляет 2-5 минут, затем они распадаются и заменяются новыми.

Вице-президент Русского астрономического общества, секретарь Русского отделения Международной солнечной комиссии.

Награждён медалью и премией государя Николая II, вручаемой от имени Русского астрономического общества (1901 г.), премией и медалью им. П. Ж. С. Жансена Парижской академии наук (1904 г.), орденом Почётного легиона Франции. Его именем назван лунный кратер Ганский (Ganskiy (англ.)) и малая планета (1118 Hanskya), открытая С. И. Белявским и Н. Ивановым 29 августа 1927 года в Симеизской обсерватории.

Глава7-3-4

Спектральный анализ

После того, как в 1859 — 1862 гг., благодаря трудам Кирхгофа и Бунзена, появился спектральный анализ. Стоксу, Фуко, Ангстрему и другим астрономам удалось установить, что двойная фраунгоферова линия D в желтой части солнечного спектра совпадает с яркой желтой эмиссионной линией любого пламени или источника света, содержавшего натрий. Вывод о том, что натрий должен быть на Солнце, стал очевидным.

Стокс писал, что свет определенной длины волны, который частички газа поглощают из света какого-нибудь источника, они затем излучают. Густав Кирхгоф (1824 — 1887), выдающийся физик-теоретик, тогда впервые дал твердые научные основы спектрального анализа. Он вывел, что для каждой определенной длины волны соотношения излучения и поглощения у всех тел — одно и то же; оно равно излучению «абсолютно черного тела» (поглощающего все падающее на него излучение).

Было установлено, что раскаленный газ, поглощающий в какой-нибудь определенной длине волны, порождает резкую темную линию в спектре источника. Но он и сам будет излучать в той же самой длине волны. Значение фраунгоферовых линий солнечного спектра стало теперь совершенно ясным: они указывали на присутствие на Солнце поглощающих свет частиц. Кирхгоф измерил положение нескольких тысяч фраунгоферовых линий в

спектре Солнца и установил их совпадение с эмиссионными линиями десятков земных элементов, а следовательно эти химические элементы встречаются в атмосфере Солнца.

В 1858 г. в Кью был установлен фотогелиограф конструкции Варрена Деларю, позднее перевезенный в Гринвич, где с тех пор регулярно проводилось фотографирование и измерение изображений Солнца.

По фотоснимкам можно было вывести количество, полную поверхность, форму, положение и движение этих образований. При этом интересное применение нашли фотографии, снятые одна за другой, когда Солнце немножко повернулось. При рассматривании их в стереоскоп Солнце выглядело как шар с высоко лежащими образованиями — факелами и глубже расположенными пятнами. Подробнее о фотографировании Солнца можно прочитать в главах 5-0-0 и 5-0-0.

В 1859 — 1862 годах, благодаря трудам Кирхгофа и Бунзена, появился спектральный анализ. То, что двойная фраунгоферова линия D в желтой части солнечного спектра совпадала с яркой желтой эмиссионной линией любого пламени или источника света, содержавшего натрий, — было замечено Стоксом, Фуко, Ангстремом и другими. Вывод о том, что натрий должен быть на Солнце, стал очевидным.

Кирхгоф измерил в произвольной шкале положение нескольких тысяч фраунгоферовых линий в спектре Солнца и установил их совпадение с эмиссионными линиями десятков земных элементов. Отсюда он смог сделать заключение, что эти химические элементы встречаются в атмосфере Солнца, где они поглощают определенные длины волн в непрерывном спектре, излучаемом телом Солнца.

В 1868 году Ангстрем ввел для эмиссионных линий естественную шкалу длин волн. Используемая им единица, равная одной десятиллионной миллиметра, осталась в употреблении и позднее была названа его именем. В этих единицах (ангстремах) обычные длины волн выражались числами из четырех цифр (красные лучи 6500 Å, зеленые 5000 Å, фиолетовые 4000 Å).

Глава 7-3-5

Спектрогелиограф. Спор о приоритете

Спектрогелиограф — это щелевой спектрограф, в котором непосредственно перед фотографической пластинкой имеется вторая щель, предназначенная для выделения света какой-либо одной линии солнечного спектра. При синхронном движении обеих щелей (одной — через изображение диска Солнца, а другой — по фотографической пластинке) можно получить полное изображение Солнца в лучах выбранной линии спектра.

Подобный метод с двумя щелями обсуждался еще в XIX веке французом Пьером Жансеном (1824 – 1907 гг.) и другими астрономами, но они никогда не пытались применить его на практике.

Попытки изготовить спектрогелиограф предприняли Чарлз Юнг (1834 – 1908 гг.) в Принстонском университете и Вильгельм Лозе (1845 – 1915 гг.) в Потсдаме (Германия), но потерпели неудачу.

По-видимому, Джордж Хейл (1868 – 1938 гг.) не был знаком с этими исследованиями и экспериментами.

В спектрорегистраторе скоростей, который он создал, используется широкая щель, совершающая небольшие скачкообразные движения между экспозициями. На фотопластинке получается спектрорегистрограмма, представляющая собой большое количество снимков исследуемой спектральной линии, относящихся к разным частям изображения солнечного диска. По искривлениям этой линии, вызываемым эффектом Доплера, можно измерять лучевые скорости движений атомов соответствующего элемента.

С помощью своего спектрорегистратора Хейл сделал несколько важных открытий. Но оказалось, что о таких же открытиях одновременно объявил Анри Деландр (1853 — 1948 гг.). В результате чего возникли споры о приоритете.

Принято считать, что в 1891 году Хейл и Деландр изобрели спектрогелиограф независимо друг от друга. Однако, сами изобретатели болезненно воспринимали притязания друг друга.

В 1905 году Деландр на специальной дискуссии по вопросу о приоритете говорил:

«Мне были известны достоинства спектрогелиографа, которым я постоянно пользовался для регистрации спектров паров; об этом сообщалось в моих первых заметках в августе 1891 года и в феврале 1892 года, о которых Хейл всегда умалчивает. Я пользовался не только спектрогелиографом... но даже спектрорегистратором скоростей. Я не считал этот инструмент... [спектрогелиограф] ни особенно новым, ни особенно трудным для изготовления... Кроме того, спектрогелиограф... подчиняется определенным простым оптическим законам, которые я первый сформулировал в 1893 г. ... и которых мне вполне достаточно для получения ясного и полного изображения. Впоследствии этими законами руководствовались все, и в частности Хейл в своих последних исследованиях 1903 года».

Хейл отвечал:

«До 1893 года, когда Деландр тоже построил спектрогелиограф... он уделял особое внимание изучению линии К в последовательных участках солнечного диска. Спектрограф, применявшийся для этой цели, сдвигался на небольшое расстояние в промежутках между экспозициями, но сами экспозиции производились в то время, когда инструмент был неподвижен, и получающиеся фотографии были фотографиями спектров,... а принцип непрерывного относительного движения изображения Солнца и щели, на котором основан спектрогелиограф, не использовался...».

Справедливую оценку ситуации сделал Дайсон, когда в 1913 году вручил золотую медаль Королевского астрономического общества и Деландру за исследования солнечных явлений:

«...впервые спектрогелиограф был применен на практике Хейлом, однако Деландр не только внес большой вклад в его усовершенствование, но также построил другой инструмент — спектрорегистратор скоростей, который имеет такое же, а может оказаться — и большее значение. Благодаря этому открытию мы можем

наблюдать и изучать изменяющиеся движения солнечной атмосферы, а также формы различных слоев».

Глава 7-3-6

Джордж Эллери Хейл

Джордж Эллери Хейл (George Ellery Hale; 29 июня 1868, Чикаго, Иллинойс – 21 февраля 1938, Пасадина (штат Калифорния) — американский астроном, изобретатель спектрогелиографа.



Рис. Джордж Эллери Хейл

Член Национальной академии наук США (1902 г.), иностранный член Лондонского королевского общества (1909 г.), иностранный член-корреспондент Российской академии наук (1924 г.).

Родился в Чикаго. В 1890 году окончил Массачусетский технологический институт. В 1888 – 1891 годах проводил наблюдения в собственной небольшой Кенвудской

обсерватории. В 1892 – 1905 годах работал в Чикагском университете (с 1897 — профессор, в 1895 – 1905 годах — первый директор Йеркской обсерватории в Уильямс-Бэй близ Чикаго). В 1904 году Хейл организовал обсерваторию Маунт-Вилсон (штат Калифорния) института Карнеги в Вашингтоне и до конца 1923 года был её директором (с 1923 — почётным директором).

Работы Хейла посвящены физике Солнца и звёзд. В 1889 году Хейл изобрёл спектрогелиограф — прибор, позволяющий фотографировать хромосферу Солнца вне затмений. В 1892 году впервые с помощью этого прибора получил фотографии протуберанцев и кальциевых флоккулов. Исследовал их на разных уровнях атмосферы Солнца с целью изучения циркуляционных процессов. Высказал предположение о наличии сильных магнитных полей в солнечных пятнах, а затем доказал их наличие с помощью опытов по зеемановскому расщеплению спектральных линий (1908 г.). Это было первым открытием внеземного магнитного поля. Выполнил первые эксперименты, связанные с обнаружением общего магнитного поля Солнца.

Большое значение для развития астрономии в США имела организационная деятельность Хейла. Он убедил чикагского трамвайного магната Чарлза Йеркса (прототип главного героя трилогии Т. Драйзера «Финансист» — «Титан» — «Стоик») финансировать строительство самого крупного в мире 40-дюймового рефрактора. Строительство рефрактора и обсерватории (названной Йеркской) было завершено в 1897 году.

В 1904 году Хейлу удалось получить от Института Карнеги в Вашингтоне средства для создания солнечной обсерватории на горе Вилсон в Калифорнии. Обсерватория Маунт-Вилсон, как и Йеркская, основывалась на новом для астрономии принципе — она была не только наблюдательным учреждением, но и крупной физической лабораторией. Уже в 1905 году в обсерватории Маунт-Вилсон был установлен первый солнечный телескоп и построена небольшая лаборатория; в 1908 году построен 60-футовый, в 1912 — 150-футовый башенные солнечные телескопы. В 1928 году Хейл начал активно осуществлять идею создания 200-дюймового телескопа. Строительство этого рефлектора на горе

Паломар вблизи обсерватории Маунт-Вилсон было завершено в 1948 году, и он был назван именем Хейла.

Хейл был инициатором создания Калифорнийского технологического института, ставшего одним из самых известных учебных и научно-исследовательских центров США.

В 1895 году вместе с Джеймсом Килером основал журнал *The Astrophysical Journal* и был его редактором до 1935 года.

В честь Хейла назван астероид (1024) Хейл, открытый в 1923 году.

Комментарий

Флоккулы (от лат. *floccus* — «кочок»; также употребляется термин «хромосферные факелы») — волокнистые образования в хромосфере Солнца, имеющие большую яркость и плотность, чем окружающие их участки. Являются продолжением фотосферных факелов в хромосферу.

Глава 7-3-7

Анри Александр Деландр

Анри Александр Деландр (фр. *Henri Alexandre Deslandres*; 24 июля 1853, Париж — 15 января 1948, Париж) — французский астроном.

Анри Деландр родился в Париже, в 1874 году окончил Политехническую школу в Париже. Работал в физических лабораториях Политехнической школы и Парижского университета, в 1889 — 1897 годах — в Парижской обсерватории, в 1897 — 1929 годах — в Медонской обсерватории (с 1908 года — директор).

Основные труды связаны с физикой Солнца и лабораторной спектроскопией молекул. В 1886 — 1891 годах, изучая спектры молекул азота, циана, воды, пришел к выводу о наличии гармонических колебаний в молекулах и открыл два эмпирических закона, описывающих связи между волновыми числами отдельных линий внутри одной полосы и между

волновыми числами различных полос одной системы. Эти законы носят имя Деландра. Позднее они были объяснены в рамках квантовомеханической теории строения молекул.

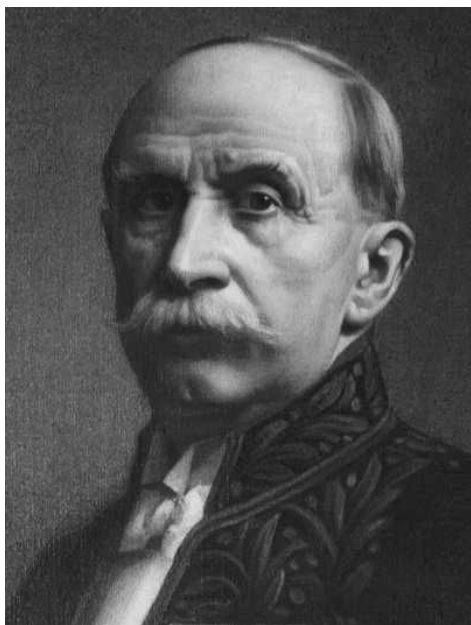


Рис. Анри Александр Деландр

В последние годы жизни Деландр искал общую теоретическую интерпретацию молекулярных спектров, которая бы не основывалась на квантовой механике.

Выполнил разносторонние исследования Солнца. Независимо от Дж. Э. Хейла изобрел в 1891 году спектрогелиограф — прибор, позволяющий получать изображение диска Солнца в монохроматических лучах. Открыл (также независимо от Хейла) центральные обращения в линиях H и K иона кальция в солнечном спектре.

В дискуссиях по многим вопросам солнечной физики, проходивших в начале XX в., Деландр стоял на правильных позициях, считая, что солнечная активность имеет электромагнитную природу. Неоднократно высказывал предположение о существовании радиоизлучения Солнца, хотя первые грубые эксперименты Ш. Нордмана в 1902 году не обнаружили его (оно впервые наблюдалось лишь в 1942 году).

Член Парижской Академии наук (1902 г.), её президент в 1920 году, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1914 г.), иностранный член Лондонского королевского общества (1921 г.), член многих академий наук и научных обществ.

Награды

Золотая медаль Королевского астрономического общества (1913 г.).

Медаль Генри Дрейпера (1913 г.).

Медаль Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1921 г.).

В его честь назван кратер на Луне и астероид № 11763.

Глава 7-3-8

Спектрографы

Благодаря высокому развитию искусства изготовления инструментов и техники обработки стекла вскоре удалось организовать производство все более совершенной спектральной аппаратуры для самых разнообразных целей и обстоятельств. При этом фотография, которая, кроме того, сделала доступной всю ультрафиолетовую область между 4000 Å и 3000 Å, все больше стала занимать место визуального наблюдения, и «спектрографы» стали вытеснять спектроскопы.

Выдающимся достижением в этом развитии было изготовление Г. А. Роуландом из Балтимора в 1887 году вогнутых решеток. Вогнутое металлическое зеркало создает резкое изображение щели, причем свет не

проходит через линзы. На такое вогнутое зеркало наносилась сетка из топких параллельных штрихов (100000 штрихов на протяжении 10 сантиметров), из-за чего возникал дифракционный спектр (или, вернее, ряд таких спектров), с большой дисперсией и высокой разрешающей силой. Многие годы Роуланд разрабатывал конструкцию машины, которая бы с полной точностью автоматически наносила на металл штрихи, расположенные на совершенно равных расстояниях друг от друга. При этом были получены спектры, которые в течение десятков лет оставались непревзойденными.

При помощи этой решетки Роуланд сфотографировал спектр Солнца и издал эти снимки в 1888 г. в виде атласа в масштабе 3 мм/Å. В таком масштабе весь спектр от 3000 Å до 6900 Å представлялся полосой длиной в 13,5 метра. Он содержал в себе более 20 000 фраунгоферовых линии, начиная с очень сильных, имевших вид черных, темных полос, до едва заметных тоненьких линий. На основании измерения снимков Роуланду удалось в 1896 году составить каталог этих линий с их длинами волн (до 3 десятичных знаков, следовательно, из семи цифр) и числами, характеризующими значение интенсивности. Роуланду удалось также установить существование на Солнце тридцати шести земных элементов. В последующие годы благодаря пересмотру, проведенному в 1928 г. Сент Джоном на Маунт Вилсон, это число возросло до пятидесяти одного.

Следующим достижением явилось опубликование в 1940 году Миннартом и его сотрудниками Утрехтского фотометрического атласа солнечного спектра, где вместо спектра с линиями давалась идущая по всему спектру кривая интенсивности. Таким образом, стало возможным составить представление не только о положении, но также и о ширине и распределении интенсивности, о характере и форме профиля каждой линии.

Глава 7-3-9

Открытие гелия

18 августа 1868 года французский учёный Пьер Жансен, находясь во время полного солнечного затмения в индийском городе Гунтур, впервые исследовал хромосферу Солнца. Жансену удалось настроить спектроскоп таким образом, чтобы спектр короны Солнца можно было наблюдать не только при затмении, но и в обычные дни. На следующий же день спектроскопия солнечных протуберанцев наряду с линиями водорода — синей, зелёно-голубой и красной — выявила очень яркую жёлтую линию, первоначально принятую Жансеном и другими наблюдавшими её астрономами за линию D натрия. Жансен немедленно написал об этом во Французскую академию наук. Впоследствии было установлено, что ярко-жёлтая линия в солнечном спектре не совпадает с линией натрия и не принадлежит ни одному из ранее известных химических элементов.

Спустя два месяца, 20 октября, английский астроном Норман Локьер, не зная о разработках французского коллеги, также провёл исследования солнечного спектра. Обнаружив неизвестную жёлтую линию с длиной волны 588 нм (более точно — 587,56 нм), он обозначил её D3, так как она была очень близко расположена к фраунгоферовым линиям D1 (589,59 нм) и D2 (588,99 нм) натрия. Спустя два года Локьер совместно с английским химиком Эдуардом Франклендом, в сотрудничестве с которым он работал, предложил дать новому элементу название «гелий» (от др.-греч. — «солнце»).

Интересно, что письма Жансена и Локьера пришли во Французскую Академию наук в один день — 24 октября 1868 года, однако письмо Локьера, написанное им четырьмя днями ранее, пришло на несколько часов раньше. На следующий день оба письма были зачитаны на заседании Академии. В честь нового метода исследования протуберанцев Французская академия решила отчеканить медаль. На одной стороне медали были выбиты портреты Жансена и Локьера над скрещёнными ветвями лавра, а на другой — изображение мифологического бога света Аполлона, правящего в колеснице четвёркой коней, скачущей во весь опор.

В 1881 году итальянец Луиджи Пальмьери опубликовал сообщение об открытии им гелия в вулканических газах

фумарол. Он исследовал светло-жёлтое маслянистое вещество, оседавшее из газовых струй на краях кратера Везувия. Пальмьери прокаливал этот вулканический продукт в пламени бунзеновской горелки и наблюдал спектр выделявшихся при этом газов. Учёные круги встретили это сообщение с недоверием, так как свой опыт Пальмьери описал неясно. Спустя многие годы в составе фумарольных газов действительно были найдены небольшие количества гелия и аргона.

Только через 27 лет после своего первоначального открытия гелий был обнаружен на Земле — в 1895 году шотландский химик Уильям Рамзай, исследуя образец газа, полученного при разложении минерала клевеита, обнаружил в его спектре ту же ярко-жёлтую линию, найденную ранее в солнечном спектре. Образец был направлен для дополнительного исследования известному английскому учёному-спектроскописту Уильяму Круксу, который подтвердил, что наблюдаемая в спектре образца жёлтая линия совпадает с линией D3 гелия. 23 марта 1895 года Рамзай отправил сообщение об открытии им гелия на Земле в Лондонское королевское общество и Французскую академию.

Шведские химики П. Клеве и Н. Ленгле смогли выделить из клевеита достаточно газа, чтобы установить атомный вес нового элемента.

В 1896 году Генрих Кайзер, Зигберт Фридлендер, а в 1898 году Эдвард Бэли окончательно доказали присутствие гелия в атмосфере.

Глава 7-3-10

Короний

Во время наблюдения в Северной Америке полного солнечного затмения, произошедшего 7 августа 1869 года, Уильям Харкнесс и Чарльз Янг (Юнг) независимо друг от друга обнаружили спектральную линию излучения слабой интенсивности с длиной волны, определенной сначала в 5315 Å, но впоследствии оказавшейся равной 5303 Å.

Оказалось, что эта линия не встречается ни в одном из известных спектров. Было высказано предположение об обнаружении на Солнце нового химического элемента, названного в 1887 году Грюнвальдом коронием.

Гипотеза о существовании корония получила широкое признание благодаря триумфу спектрального анализа — открытию на Солнце спектральным методом гелия (на 27 лет ранее, чем на Земле: 1868 и 1895 годы соответственно). Однако многочисленные попытки обнаружить короний в земной атмосфере, минералах и вулканических газах оказались безуспешными или ошибочными, так, в 1898 году, предполагаемый элемент был ошибочно обнаружен в вулканических газах, испускаемых Везувием, группой итальянских химиков во главе с Рафаэлло Насини.

Позже на Солнце были обнаружены другие неидентифицированные спектральные линии, что привело к «открытию» ещё нескольких гипотетических элементов.

Короний просуществовал в научной и учебной литературе до опубликования в 1939 году работы астрофизиков Бенгта Эдлена и Вальтера Гротриана с доказательством, что спектральная линия 5303 \AA принадлежит тринадцатикратно ионизированному железу (Fe^{13+} , в спектроскопических обозначениях $[\text{Fe XIV}]$). Другие спектральные линии также были идентифицированы с другими запрещёнными переходами в многократно ионизированных атомах других металлов, например Ni^{14+} . Так как для столь высокого уровня ионизации требуется недостижимая в земных лабораториях очень высокая температура, это стало одним из подтверждений экстремальной температуры солнечной короны.

Глава 7-3-11

Серии спектральных линий

Вскоре для регистрации спектров была применена фотография, которая вытеснила непосредственное наблюдение. В фотографическом спектре протуберанцев

и хромосферы Хеггинс в 1875 году впервые открыл замечательно правильно располагавшийся ряд линий, которые (как продолжение в ультрафиолет четырех визуальных водородных линий от H_α до H_δ) все плотнее примыкали друг к другу и наконец сливались у границы с длиной волны около 3700 Å.

Регулярное фотографирование протуберанцев привело к новому методу их исследования. Яркие линии водорода или кальция были видны не только за пределами солнечного края, но также и в различных областях сильных возмущений на солнечном диске, главным образом вблизи солнечных пятен. Считалось, что эти линии возникают из-за того, что в верхних слоях атмосферы Солнца находятся светящиеся газовые массы.

В 1885 году И. И. Бальмер из Базеля опубликовал знаменитую формулу для определения длин волн четырех известных водородных линий. Их удалось точно представить, умножая число 3645,6 на $9/5$; $16/12$; $25/21$ и $36/32$, т. е. на дробь $n^2/(n^2 - 4)$, где буквой n обозначалась последовательность чисел: 3, 4, 5, 6. Полученные Хеггинсом и Дрэпером снимки правильного ряда ультрафиолетовых линий в спектрах Веги и хромосферы Солнца по своим особенностям и численным значениям полностью соответствовали этой формуле (при $n = 7, 8, 9$ и т. д.). Длины волн линии уменьшались с уменьшением интервалов между ними, постепенно сближаясь до тех пор, пока совсем не сливались у предельной длины волны 3645,6 Å. После этого Кайзер и Рунге, а впоследствии — еще более удачно — Ридберг вывели однотипные, но немного более сложные формулы для расчета серий спектральных линий других элементов.

Спектры элементов имели много закономерностей и численных соотношений. Дублеты, триплеты, квадруплеты и другие мульти-плеты, в которые группировались линии, зависели от положения элементов в периодической системе.

Глава 7-3-12

Магнитное поле Солнца

В 1890—1891 гг. Деландр в Париже и Дж. Е. Хейл в Чикаго несколькими различными путями сконструировали инструмент, получивший название «спектрогелиограф». В нем щель спектрографа скользила вдоль изображения Солнца, а вторая неподвижная щель, поставленная позади призмы, пропускала только одну эмиссионную линию и давала изображение Солнца в свете этой линии. Такие снимки Солнца в свете одной длины волны были получены сначала в Чикаго и на Йеркской обсерватории. Для проведения более глубоких исследований Хейл основал «Солнечную обсерваторию» на Маунт Вилсон. Изучение полученных снимков позволило обнаружить обилие замечательных образований, особенно около солнечных пятен, напоминающих спиральные ветви, завитки и вихри, иногда связывавшие два соседних пятна кривыми, похожими на магнитные силовые линии вокруг двух магнитных полюсов.

Уже в 1866 году Локьер нашел, что более темный цвет возникает из-за того, что большинство фраунгоферовых линий становится темнее и появляется множество новых тонких линий поглощения. После 1920 года такие фотографии с высокой дисперсией были получены на обсерватории Маунт Вилсон. Каталог спектральных линий солнечных пятен был опубликован Шарлоттой Мур в 1933 году. По своей полноте этот каталог приближался к каталогу солнечного спектра Роуланда. При детальном их сравнении ясно выступили интересные различия, особенно в интенсивности линий. Так называемые «высокотемпературные» линии металлов в спектре пятен были слабее, чем в спектре фотосферы, тогда как «низкотемпературные» линии в спектре пятен усиливались. Кроме того, появилось много сильных полос, принадлежавших различным молекулам. Все это ясно показывало, что области пятен имеют более низкую температуру, чем фотосфера.

В середине большинства линий металлов спектра пятен эмиссионная линия разделяла темную на два компонента. Однако в 1908 году Хейл на Маунт Вилсон открыл, что все это следует объяснять совершенно иначе, а именно как магнитное раздвоение линий из-за эффекта Зеемана. Оба

компонента оказались поляризованными по кругу в противоположных направлениях. Это доказывало, что в области солнечных пятен действовали сильные магнитные поля. Замечательно, что два соседних пятна, следующих одно за другим часто имели противоположные направления в структуре вихрей, всегда обнаруживали также и противоположные магнитные поля. Еще более замечательным было то, что последовательность полярностей такой пары в северном полушарии была обратной южному, что в некоторой степени аналогично земным циклонам, имеющим противоположные направления вращения к северу и югу от экватора. Вихревые вращения электрически заряженных частиц — электронов и ионов, которые возбуждали эти магнитные поля, должны были, по мнению Хейла, иметь у соседних, связанных друг с другом пятен, противоположные направления, как будто бы они были выходящими на поверхность противоположными концами одной и той же вихревой трубки, лежащей в глубине.

Эти открытия породили новые проблемы и новые точки зрения. Они получили еще более удивительный аспект, когда после минимума солнечных пятен в 1912 году оказалось, что у заново возникающего ряда солнечных пятен полярность северного и южного полушарий стала противоположной прежней. Во время наступившего затем минимума 1922 года произошло новое изменение. Таким образом, следует сказать, что действительный период солнечных пятен, особенно в отношении повторения их магнитных и вихревых явлений, составлял не 11 лет, а 22 года.

Глава 7-3-13

Утрехтский Атлас

В 1940 году, незадолго до вторжения немецких войск в Нидерланды, был опубликован Утрехтский атлас солнечного спектра. Это был подробный перечень в графической форме спектральных линий, наблюдаемых при солнечном свете в обсерватории Сонненборг. Он был

составлен Марселом Миннартом и его учениками Малдерсом и Хаутгастом.

Атлас содержит кривые интенсивности, охватывающие полный спектр солнечной энергии от λ 3612 Å до λ 8771 Å, основанные на фотографиях, сделанных в Обсерватория Маунт-Вильсон вместе с приложением, охватывающим область от λ 3332 Å до λ 3637 Å, исследуемую в Утрехте .

Видимый спектр составляет примерно от λ 3900 Å до λ 8771 Å, так что атлас имеет некоторое покрытие инфракрасного и ультрафиолетовый спектр солнечного света.

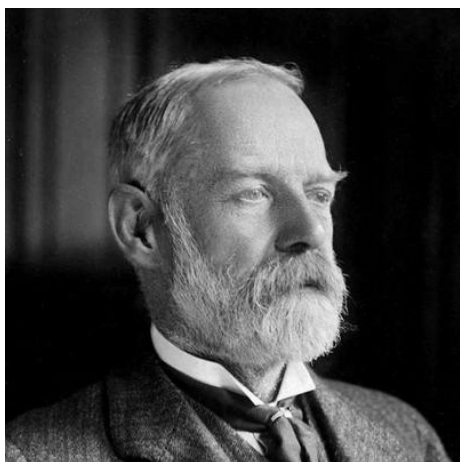
Масштаб длины волны составляет около 20 миллиметров на ангстрем , так что спектр представлен на карте длиной около 360 футов. Кривые напечатаны черным цветом на миллиметровой бумаге с синими линиями. Шкала интенсивности такова, что вертикальный диапазон в 100 миллиметров соответствует разнице между нулевой интенсивностью и непрерывным фоном.

Глава 7-3-14

Марсел Гиллес Йозеф Миннарт

Марсел Гиллес Йозеф Миннарт (12 февраля 1893, Брюгге, Бельгия — 26 октября 1970, Утрехт, Нидерланды) — голландский астроном бельгийского происхождения, член Амстердамской, Брюссельской и многих других академий наук, почётный доктор Московского университета, сооснователь Центра математики и информатики в Амстердаме.

В 1914 году окончил Гентский университет по специальности биология, затем изучал физику и математику в Лейденском университете. В 1916 — 1918 годах преподавал физику в Гентском университете. С 1920 года работал в обсерватории Утрехтского университета (в 1937 — 1963 гг. — профессор астрономии университета и директор обсерватории). В 1942 — 1944 годах был узником фашистского концлагеря.



Марсел Гиллес Йозеф Миннарт

Во время Первой мировой войны Миннарт был сторонником Фламандского сообщества и принял замену французского языка нидерландским в период немецкой оккупации. В связи с этим после окончания войны он был вынужден бежать из Бельгии.

В 1918 году Миннарт стал работать в Утрехтском университете в Нидерландах, там он проводил фотометрические исследования. В Утрехте он заинтересовался астрономией и изучением Солнца, специализировался на спектроскопии и изучении звёздных атмосфер.

Миннарт был разносторонне развитым человеком и помимо всего прочего интересовался пузырями и музыкальной природой звуков, извлекаемых проточной водой. В 1933 году он решил задачу об акустической частоте резонанса отдельного пузыря в воде (так называемый резонанс Миннарта).

В 1937 году Миннарт был назначен директором звёздной обсерватории Сонненборг в Утрехте и профессором астрономии в университете. В 1940 году он издал свой знаменитый Атлас солнечного спектра Утрехта, а в 1941 году вывел функцию Миннарта, которая используется для оптических измерений небесных тел.

В период немецкой оккупации Нидерландов во Второй мировой войне Миннарт был заключён в тюрьму из-за своих антифашистских взглядов. Во время заключения он преподавал физику и астрономию другим заключенным. После окончания войны стал одним из основателей математического центра в Амстердаме.

Основные научные работы относятся к солнечной физике. Выполнил ряд исследований линейчатого и непрерывного спектра Солнца, результатом которых явились изданный в 1940 фундаментальный фотометрический атлас солнечного спектра для области длин волн 3332-8771 Å (совместно с Д. Мюлдерсом и Я. Хаутгастом) и таблицы солнечных фраунгоферовых линий для области 2935-8770 Å (совместно с Ш. Мур-Ситтерли и Я. Хаутгастом).

Разработал метод количественного анализа атмосфер Солнца и звезд по их спектрам с помощью кривых роста, которые связывают число атомов, участвующих в образовании линии поглощения, с интенсивностью линии. Этот метод впервые позволил получить количественные оценки химического содержания элементов в атмосферах звезд и некоторые физические параметры атмосфер.

Выполнил количественный анализ непрерывного спектра короны и спектра хромосферных вспышек.

Одной из областей исследований Марселя Миннарта являлось воздействие атмосферы на свет и образы. Его классическая книга по этой теме была выпущена под названием «Свет и цвет в природе» в 1954 году.

Автор ряда широко известных научно-популярных книг по астрономии и физической метеорологии. На русский язык переведены «Свет и цвет в природе» (1-е изд. 1959, 2-е изд. 1969) и «Практическая астрономия» (1971).

Особого признания заслуживает деятельность Миннарта по укреплению дружественных связей между астрономами различных стран; на протяжении многих лет он возглавлял комиссию Международного астрономического союза по обмену между астрономами.

Награды:

Золотая медаль Лондонского королевского астрономического общества (1947 г.)

Медаль им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1951 г.)

Премия им. П. Ж. С. Жансена Французского астрономического общества (1966 г.).

В его честь назван астероид 1670 Minnaert и кратер на Луне.

Часть 7-4

Магнитное поле Земли и солнечная активность

- Глава 7-4-1 (том-часть-глава). Самуэль Генрих Швабе.
11-летний цикл солнечной активности
Глава 7-4-2. Рудольф Вольф. Число Вольфа
Глава 7-4-3. Ричард Кристофер Кэррингтон
Глава 7-4-4. Кэррингтоновская система координат
Глава 7-4-5. Геомагнитная буря 1859 года
Глава 7-4-6. Иоганн Ламонт
Глава 7-4-7. Минимум Маундера
Глава 7-4-8. Эдвард Уолтер Маундер
Глава 7-4-9. Густав Фридрих Вильгельм Шпёер

Глава 7-4-1

Самуэль Генрих Швабе 11-летний цикл солнечной активности

Самуэль Генрих Швабе (25 октября 1789 — 11 апреля 1875 гг.) — немецкий астроном и ботаник. Открыл одиннадцатилетний цикл солнечной активности.

Родился в Дессау в семье врача, в 1806 — 1809 гг. принимал участие в семейном аптечном бизнесе, а в 1810 — 1812 гг. получил образование фармацевта в Берлинском университете. После окончания университета вернулся в Дессау, где продолжал работать в аптеке. После продажи аптеки в 1829 году посвятил себя естественным наукам. Ещё в годы учебы в университете Швабе увлекся астрономией, и на протяжении 17 лет — с 1826 по 1843 гг. каждый ясный день проводил наблюдения за Солнцем. Первоначально он стремился обнаружить гипотетическую интрамеркуриальную планету (орбита которой

расположена ближе к Солнцу, чем орбита Меркурия), для которой было придумано имя Вулкан. В 1831 году вёл также наблюдения красного пятна Юпитера.



Самуэль Генрих Швабе

В 1843 году, анализируя многолетние наблюдения, Швабе обнаружил, что количество солнечных пятен на Солнце меняется по определенной закономерности. Например, в 1828 и 1829 годах, точно так же, как и в 1836 — 1839 годах, Солнце ни на один день не оставалось без пятен, тогда как в 1833 и 1843 годах в течение половины всех дней наблюдений на нем не было пятен. В 1828 году Швабе насчитал на Солнце 225 пятен, в 1833 — всего 33, в 1837 — 333, а в 1843 — лишь 34 пятна. Таким образом минимумы и максимумы числа пятен повторялись примерно через 10 лет.

Результаты своих наблюдений Швабе опубликовал в труде «Наблюдения Солнца 1843 года». Эта работа не привлекла широкого внимания научного сообщества, но на директора Бернской обсерватории Рудольфа Вольфа она произвела столь значительное впечатление, что он организовал у себя в обсерватории регулярные наблюдения солнечных пятен. Несколько позже Вольф

уточнил период появления пятен на Солнце — 11 лет. Когда А. Гумбольдт в третьем томе своего фундаментального труда «Космос», изданном в 1851 году, привел статистику солнечных пятен с 1826 года, открытие Швабе стало общепризнанным.

За своё открытие Швабе получил в 1857 году Золотую медаль Королевского астрономического общества Великобритании, а в 1868 был избран иностранным членом Лондонского королевского общества. После смерти Швабе 31 том его астрономических наблюдений был сдан на хранение в Королевское астрономическое общество и находится ныне в архиве Общества в Лондоне.

Наряду с астрономией, Швабе занимался также ботаникой. В 1838 он выпустил «Flora Anhaltina» — обширный труд о флоре своей родины, а также собрал гербарии растений ряда стран и парков Дессау.

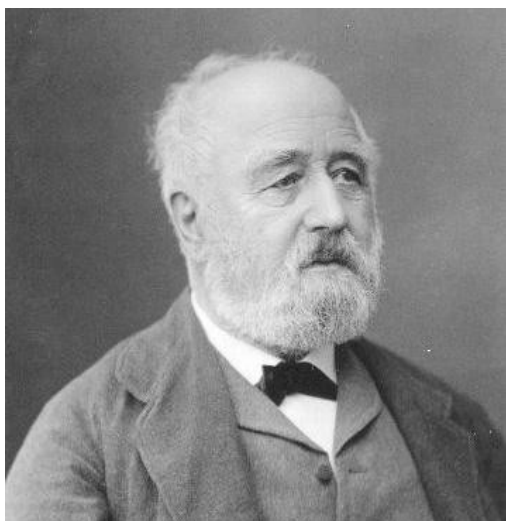
Глава 7-4-2

Рудольф Вольф. Число Вольфа

Иоганн Рудольф Вольф (7 июля 1816 — 6 декабря 1893 гг.) — швейцарский астроном и математик, известный своими исследованиями солнечных пятен.

Член-корреспондент Французской академии наук (1885 год).

Вольф родился в Фелландене, недалеко от Цюриха. Он учился в университетах Цюриха, Вены и Берлина. Одним из его учителей был Иоганн Франц Энке. В 1844 году Вольф стал профессором астрономии в Бернском университете, в 1847 — директором Бернской Обсерватории. В 1855 он занял должности профессора астрономии в Университете и Высшей технической школе Цюриха



Иоганн Рудольф Вольф

Вольф чрезвычайно заинтересовался открытой Генрихом Швабе периодичностью количества солнечных пятен. Он не только проводил собственные наблюдения, но и собрал все доступные данные о солнечной активности с 1610 года и вычислил их периодичность, которая оказалась равной 11,1 годам. В 1848 году он предложил метод расчёта числового показателя солнечной активности. Число Вольфа используется до сих пор. В 1852 году Вольф был одним из четырёх учёных, открывших связь между солнечным циклом и геомагнитной активностью.

Число Вольфа

Число Вольфа («международное число солнечных пятен», «относительное число солнечных пятен», «цюрихское число») — числовой показатель солнечной активности, связанный с количеством солнечных пятен. Названо в честь швейцарского астронома Рудольфа Вольфа. Является одним из самых распространённых показателей солнечной активности.

Число Вольфа W для данного дня вычисляется по формуле:

$$W = k(f + 10g), \text{ где}$$

f — количество наблюдаемых пятен;

g — количество наблюдаемых групп пятен;

k — нормировочный коэффициент.

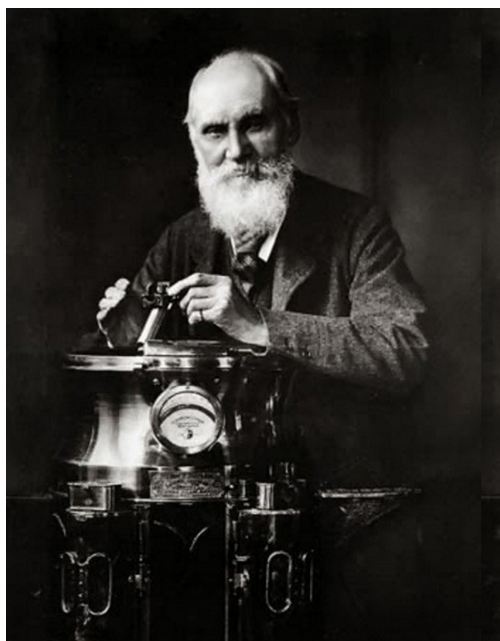
Нормировочные коэффициенты k выводятся для каждого наблюдателя и телескопа, что даёт возможность совместно использовать числа Вольфа, найденные разными наблюдателями. За международную систему приняты числа Вольфа, которые в 1849 году начала публиковать Цюрихская обсерватория, и для которых коэффициент k принят равным 1. В настоящее время определением среднемесячных и среднегодовых значений чисел Вольфа занимается Центр анализа данных по влиянию Солнца (Бельгия).

Глава 7-4-3

Ричард Кристофер Кэррингтон

Ричард Кристофер Кэррингтон (26 мая 1826 — 27 ноября 1875 гг.) — английский астроном-любитель.

Занимался астрометрией и исследованиями Солнца. Наблюдал положения звёзд, малых планет и комет. В 1857 году опубликовал каталог точных положений 3735 близполюсных звезд ярче 11-й величины. В 1863 году после длительных и тщательных наблюдений движения солнечных пятен Кэррингтон определил положение оси вращения Солнца и периоды вращения на разных гелиографических широтах, установил закономерности в распределении пятен по диску. Предложил условный начальный меридиан для отсчёта гелиографических долгот: соответствующая кэррингтоновская система гелиографических координат названа его именем.



Ричард Кристофер Кэррингтон

Ричард Кэррингтон родился в Лондоне (Челси). Его отец владел большой пивоварней в Брентфорде. В 1844 году поступил в Тринити-колледж в Кембридже. В 1849—1852 — работал наблюдателем в обсерватории Даремского университета. Результаты некоторых его наблюдений малых планет и комет были опубликованы в «Ежемесячных уведомлениях» и «*Astronomische Nachrichten*». Его заслуги как наблюдателя были признаны, и 14 марта 1851 года Кэррингтона приняли в члены Королевского астрономического общества.

В 1853 – 1861 годах Кэррингтон работал в собственной обсерватории в Редхилле. Он занимался составлением каталога близполярных звезд. В 1857 году каталог, содержащий координаты 3735 звезд был напечатан за государственный счет.

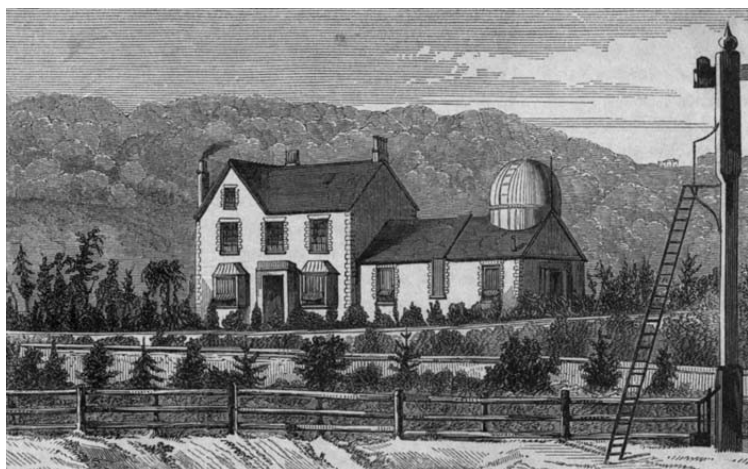


Рис. Дом и обсерватория Ричарда Кэррингтона

Сообщения о существовании одиннадцатилетнего солнечного цикла и о том, что период этого цикла совпадает с периодичностью магнитных явлений на Земле, чрезвычайно заинтересовали Кэррингтона. Он решил тщательно и методично исследовать следующий одиннадцатилетний цикл, ограничив свою задачу определением истинного периода вращения Солнца и наблюдением за числом и перемещениями пятен. Методика его наблюдений была проста: изображение Солнца проектировалось на экран, расположенный на таком расстоянии от окуляра $4\frac{1}{2}$ -дюймового телескопа, чтобы диаметр диска составлял от 12 до 14 дюймов. В фокусе телескопа, который был жестко зажат, были размещены две полосы сплюсненной золотой проволоки, прикрепленные под прямым углом друг к другу и наклоненные примерно на 45° по обе стороны от меридиана. Это позволяло Кэррингтону точно отмечать гелиоцентрическое положение солнечных пятен. Таким образом, за семь с половиной лет было проведено 5290 наблюдений над 954 отдельными группами, многие из которых он изображал на рисунках.

Однако из-за внезапной смерти его отца в июле 1858 года и последующей передачи Кэррингтону управления

пивоварней полное выполнение его исследовательского проекта было сорвано. Некоторое время он продолжал наблюдения, но в марте 1861 года он был вынужден закрыть серию. Однако результаты работы под названием «Наблюдения пятен на Солнце с 9 ноября 1853 г. по 24 марта 1861 г., сделанные в Редхилле» были опубликованы в 1863 году на грант Королевского общества. Современники отметили, что этот труд послужил революционному преобразованию идей в физике Солнца.

Попытки установить истинную скорость вращения Солнца были затруднены «собственными движениями» пятен. Кэррингтон показал, что единого периода не существует. Из наблюдений следовало, что период вращения возрастает по мере удаления от экватора Солнца. Следовательно, пятна не могли быть участками твердого тела Солнца. Пятно, находящееся у экватора, завершало это обращение за 25,0 дней, на широте 20° за 25 дней 18 часов, на широте 30° за 26 дней 11 часов и на широте 45° за 27 дней 12 часов. Но, правда, здесь пятна появлялись очень редко.

Результаты Кэррингтона в 1860 — 1873 годах были подтверждены работой Шперера, немецкого любителя астрономии из Анклама (Померания). Оба наблюдателя заметили тогда еще одну особенность. В годы обилия солнечных пятен они от года к году встречались все ближе к солнечному экватору, широта их уменьшалась в среднем от 25° до 10° . Затем на широте около 5° они исчезали, в то время как в высоких широтах, на 25° — 30° , уже появлялись первые пятна нового цикла, которые в следующие годы становились еще многочисленней и переходили в более низкие широты.

Кэррингтону удалось эмпирически вывести формулу движения точки на любой гелиографической широте. Но он не попытался объяснить это явление. Однако его исследования помогли Фэю (1865 год) создать теорию о Солнце как о газообразном теле, пронизанном вертикальными токами, что в конечном итоге вытеснило идею Гершеля об охваченном пламенем, но прохладном, темном и даже пригодном для жизни шаре.

1 сентября 1859 года, вместе со своим другом Ходжсоном, Кэррингтон стал свидетелем необычайно сильной солнечной вспышки. Сейчас она известна под

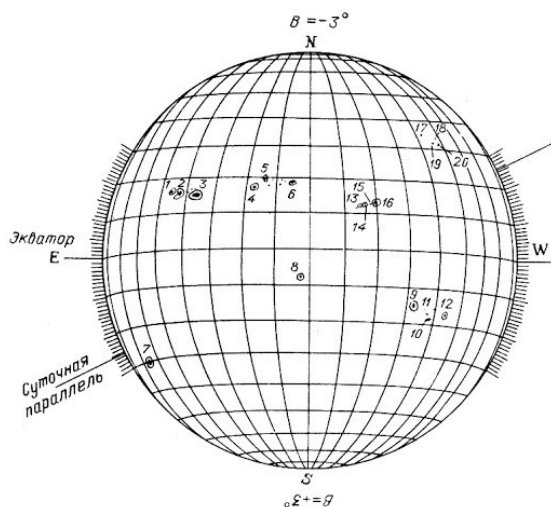
названием «Событие Кэррингтона». Его отчет о наблюдении, памятном в истории солнечной физики, содержится в «Ежемесячных уведомлениях» за ноябрь 1859 года.

В начале 1860-х годов Ричардом Кэррингтоном была предложена система координат, названная его именем, в которой долготы отсчитывались от специально определённого меридиана, вращающегося вместе с Солнцем.

К сожалению, тяжелый приступ болезни в 1865 году навсегда подорвал его здоровье. В возрасте сорока девяти лет он умер от кровоизлияния в мозг.

Глава 7-4-4

Кэррингтоновская система координат



Кэррингтоновская система координат

Долготы, отсчитываемые от центрального меридиана, удобны в измерении. Однако, Солнце вращается и

измеренная подобным образом долгота объекта, расположенного на поверхности Солнца, будет меняться.

Чтобы частично избавиться от этого недостатка, в начале 1860-х годов Р. Кэррингтоном была предложена система координат, в которой долготы отсчитывались от специально определённого меридиана, вращающегося вместе с Солнцем. Такой меридиан называется «кэррингтоновским», соответствующий элемент системы координат — «кэррингтоновской долготой», а систему координат — «кэррингтоновской системой координат».

Очевидно, что, ввиду изменчивости солнечной фотосферы, такой меридиан невозможно привязать к какому-либо фиксированному объекту на поверхности Солнца. Кроме того, на разных широтах Солнце вращается с различными периодами обращения. Поэтому за нулевой Кэррингтон произвольно выбрал меридиан, совпадавший с центральным меридианом Солнца 9 ноября 1859 года около 9:39 по гринвичскому времени, когда он начал новую серию наблюдений, и вращающийся с сидерическим периодом (период обращения относительно звезд) 25,38 земных суток. Соответствующий синодический период (период обращения относительно Земли) слегка варьируется в течение года (в связи с неравномерностью движения Земли по орбите), его среднее значение равно 27,2753 земных суток (т. н. «кэррингтоновский период»). Этот период удобен тем, что примерно соответствует скорости вращения Солнца на широтах $\pm 16^\circ$, на которые в среднем приходится максимальное количество солнечных пятен.

Затем точка отсчёта долгот кэррингтоновской системы была переопределёна, и каноническим нулевым меридианом стал считаться меридиан, проходивший через восходящий узел солнечного экватора в гринвичский полдень 1 января 1854 года. Выбранный Кэррингтоном нулевой меридиан проходил этот узел 12 часами раньше, в гринвичскую полночь. Таким образом, начало первого кэррингтоновского оборота также сместилось на 12 часов вперёд и стало приходиться примерно на 21:39 UT.

Глава 7-4-5

Геомагнитная буря 1859 года

Важным для понимания воздействия Солнца на Землю стало открытие Ламонта (1805 — 1879 гг.) — шотландца, работавшего в Мюнхене. В 1851 году он установил, что нерегулярные нарушения покоя магнитной стрелки, т. е. магнитного поля Земли, попеременно то усиливаются, то ослабевают с периодом в 10 лет, как и изменения количества солнечных пятен. То же самое оказалось справедливо и для связанных с ними северных сияний. Себайн (1788 — 1883 гг.) в Англии и Вольф в Берне сразу же подтвердили совпадение обоих периодов.

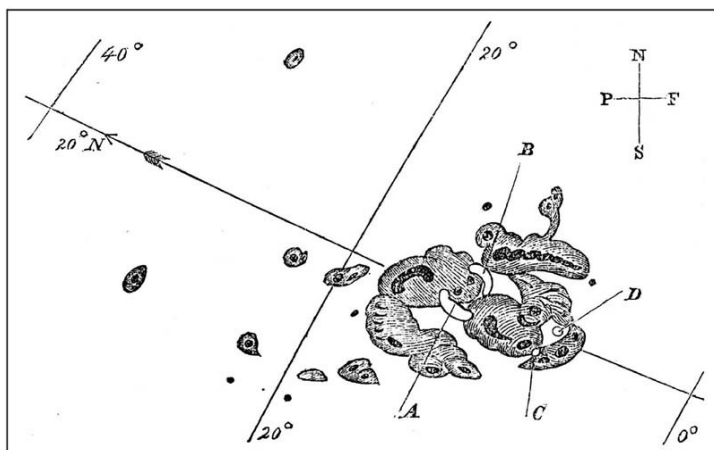
Оказалось, что изменения магнитных бурь на Земле очень хорошо и точно следуют изменению солнечных пятен и что даже появление отдельных больших пятен на Солнце сопровождается магнитными бурями и северными сияниями на Земле. Так проявилось глубокое влияние на земные явления происходящих на Солнце возмущений

А уже в 1859 году произошла мощнейшая за историю наблюдений геомагнитная буря. Комплекс событий, включающий в себя как геомагнитную бурю, так и вызвавшие её мощные активные явления на Солнце, называют «Событием Кэррингтона» или «Солнечным суперштормом».

С 28 августа по 2 сентября 1859 года на Солнце наблюдались многочисленные пятна и вспышки. Сразу после полудня 1 сентября британский астроном Ричард Кэррингтон наблюдал наибольшую вспышку, которая вызвала крупный корональный выброс массы. Он устремился к Земле и достиг её через 18 часов, что очень быстро, так как это расстояние обычно проходит выбросом за 3 – 4 дня. Выброс двигался так быстро потому, что предыдущие выбросы расчистили ему путь.

1 – 2 сентября началась крупнейшая за всю историю регистрации геомагнитная буря, вызвавшая отказ телеграфных систем по всей Европе и Северной Америке. Северные сияния наблюдались по всему миру, даже над Карибами; также интересно, что над Скалистыми горами они были настолько яркими, что свечение разбудило

золотоискателей, которые начали готовить завтрак, думая, что наступило утро.



Зарисовка солнечных пятен 1 сентября 1859 года,
сделанная Ричардом Кэррингтоном

Интенсивность геомагнитной бури обычно описывается индексом Dst (англ. Disturbance Storm Time Index). С ростом интенсивности бури индекс Dst уменьшается. Так, умеренные бури характеризуются Dst от -50 до -100 нТл, сильные — от -100 до -200 нТл и экстремальные — выше -200 нТл. (Тесла — единица индукции магнитного поля. Нанотесла (нТл) — единица напряжённости магнитного поля, равная 10^{-9} тесла или 10^{-5} гаусса).

По оценкам, Dst-индекс геомагнитной активности во время События Кэррингтона достигал -1760 нТл. Считается, что такие бури происходят на Земле не чаще 1 бури в 500 лет.

Глава 7-4-6

Иоганн Ламонт

Иоганн фон Ламонт (13 декабря 1805 — 6 августа 1879 гг.) — немецкий астроном.



Рис. Иоганн фон Ламонт

Родом из Шотландии, сын управляющего имениями графа Файфа, близ Бальморала. В 1817 году родителей Ламонта уговорили отпустить сына в Регенсбургский бенедиктинский монастырь, основанный для поддержания католичества в Шотландии, и с тех пор Ламонт уже не возвращался на родину. Природные дарования развивались быстро и в 1827 году Ламонт переселился в Мюнхен, где поступил в Богенхаузенскую обсерваторию сначала в качестве ассистента Зольднера, а через некоторое время был назначен и директором обсерватории. В этой должности он оставался до самой смерти.

Ламонт вёл наблюдения и теоретические изыскания в области астрономии, метеорологии и земного магнетизма. Наблюдая звезды по зонам, Ламонт, среди прочего, определил два раза положение Нептуна раньше, чем эта планета была открыта.

Ламонт считался признанным авторитетом в исследованиях земного магнетизма. Он избрёл

несколько магнитных приборов и способов наблюдения склонения, наклонения и напряжения.

В 1852—1855 он сам провёл магнитные наблюдения на 420 пунктах баварской территории, а затем провёл наблюдения также на многих пунктах за границей. Его «Руководство по земному магнетизму» (1849 г.) приобрело заслуженную известность.

В частной жизни Ламонт был совершенным отшельником. Не имея родственников в Германии и будучи крайне бережливым, Ламонт, несмотря на своё скудное содержание, ещё при жизни пожертвовал 50 тыс. марок для выдачи стипендий студентам Мюнхенского университета, посвятившим себя астрономии, физике или чистой математике. По завещанию к этой сумме он прибавил ещё 100 тыс. марок.

Ламонт был членом многих академий и научных обществ и, среди прочих, с 1852 года — Лондонского королевского общества.

Глава 7-4-7

Минимум Маундера

Минимум Маундера (Маундеровский минимум; англ. Maunder Minimum) — период долговременного уменьшения количества солнечных пятен примерно с 1645 по 1715 годы. Получил название по имени английского астронома Эдварда Уолтера Маундера (1851 — 1928 гг.), обнаружившего это явление при изучении архивов наблюдения Солнца.

По подсчётам Маундера, за этот период наблюдалось всего около 50 солнечных пятен вместо обычных 40-50 тысяч. При этом подавляющее большинство пятен возникало в южном полушарии Солнца. В дальнейшем падение солнечной активности в указанный Маундером период было подтверждено анализом содержания углерода-14, а также некоторых других изотопов, например бериллия-10, в ледниках и деревьях. Такой анализ позволил выявить 18 минимумов активности Солнца за последние 8000 лет, включая минимум

Шпёра (1450—1540) и минимум Дальтона (1790—1820). Также, по некоторым данным, во время Маундеровского минимума наблюдалось падение интенсивности полярных сияний и скорости вращения Солнца.

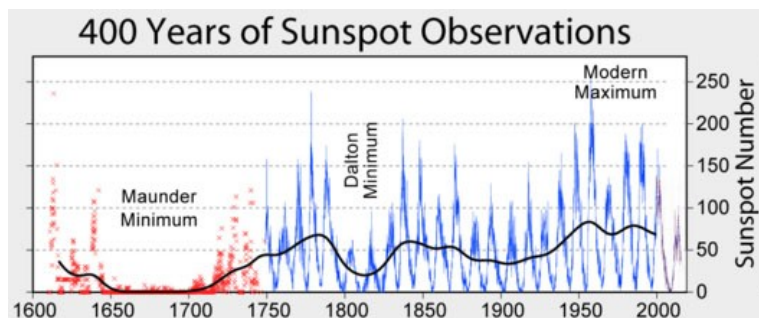


Рис. Минимум Маундера в 400-летней истории наблюдения солнечных пятен

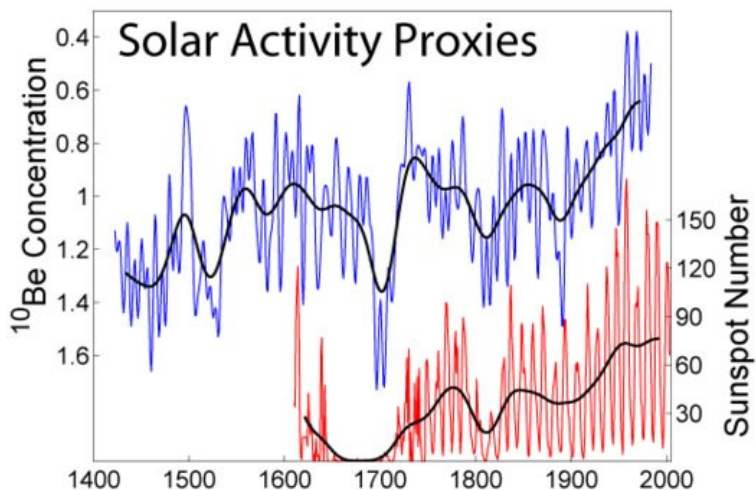


Рис. Динамика активности Солнца, восстановленная по концентрации бериллия-10

Минимум Маундера совпадает по времени с наиболее холодной фазой глобального похолодания климата, отмечавшегося в течение XIV—XIX веков (так называемый малый ледниковый период). Однако непосредственная связь между двумя этими событиями оспаривается — многие учёные считают, что незначительный уровень падения солнечной активности не позволяет объяснить глобальное похолодание только этой причиной.

Глава 7-4-8

Эдвард Уолтер Маундер

Эдвард Уолтер Маундер (12 апреля 1851 — 21 марта 1928 гг.) — английский астроном, получил известность благодаря работам, посвящённым изучению солнечной активности. Открытый им период долговременного уменьшения количества солнечных пятен получил название Минимум Маундера.

Родился в 1851 году в Лондоне. Учился в Лондонском Королевском Колледже, работал в банке, чтобы оплачивать своё обучение. С 1873 года занимался спектроскопическими наблюдениями в Королевской обсерватории в Гринвиче, а также фотографированием солнечных пятен.

В ходе многолетних наблюдений выявил, что широта появления пятен на солнечном диске меняется в течение 11-летнего цикла. В 1904 году опубликовал полученные данные в виде диаграммы (так называемые Бабочки Маундера). Изучая архивные данные, обнаружил, что примерно с 1645 по 1715 годы пятна на Солнце появлялись крайне редко. Несмотря на несовершенство телескопов того времени, наблюдения Солнца проводились, и появление каждого пятна фиксировалось. Этот период получил название Минимум Маундера. Интересно, что его время практически совпадает со средней фазой так называемого малого ледникового периода, в течение которого отмечалось относительное похолодание. Однако связь между этими двумя событиями окончательно не выяснена.



Рис. Эдвард Уолтер Маундер

Маундер также занимался наблюдениями комет, туманностей и планет, в том числе Марса. В отличие от многих других астрономов он придерживался точки зрения, что марсианские каналы являются оптической иллюзией, а не искусственными сооружениями марсиан. В 1903 году им был поставлен убедительный эксперимент, в ходе которого испытуемым показывали изображения с беспорядочным набором пятен, вместо которых многие из них видели «каналы».

Глава 7-4-9

Густав Фридрих Вильгельм Шпёерер

Густав Фридрих Вильгельм Шпёерер (1822—1895 гг.) — немецкий астроном.

Окончил Берлинский университет в 1843 году, защитил диссертацию по комете 1723 года. После получения сертификата учителя работал учителем математики и естественных наук в Быдгоще, и с 1849 года в городской гимназии в Анкламе.



Рис. Густав Фридрих Вильгельм Шпёерер

С 1844 года работал в Берлинской обсерватории, где директором был Энке. С 1860 года вёл астрономические наблюдения в Анкламе на Пороховой башне, в 1868 году получил телескоп в качестве подарка от наследного принца Фридриха Вильгельма. В 1874 году возглавил Потсдамскую астрофизическую обсерваторию и занимал этот пост до 1894 года.

Исследовал солнечную активность и солнечные пятна, его труды часто упоминаются вместе с трудами Э. Маундера. Шпёерер первым отметил период низкой активности солнечных пятен в период с 1645 по 1715 (так называемый минимум Маундера) и в 1460 — 1550 годах (минимум Шпёерера).

Часть 7-5

Источники излучения звезд

- Глава 7-5-1. Источники излучаемой Солнцем энергии
- Глава 7-5-2. Первые модели звезд
- Глава 7-5-3. Джонатан Гомер Лейн
- Глава 7-5-4. Поиски источников звездной энергии
- Глава 7-5-5. Антуан Анри Беккерель
- Глава 7-5-6. Джинс, Джеймс Хопвуд
- Глава 7-5-7. Ядерные реакции в звездах
- Глава 7-5-8. Артур Стэнли Эддингтон
- Глава 7-5-9. Ханс Альбрехт Бете
- Глава 7-5-10. Научные достижения Ханс Альбрехт Бете
- Глава 7-5-11. Карл Фридрих фон Вайцзекер
- Глава 7-5-12. Мартин Шварцшильд
- Глава 7-5-13. Сэр Фред Хойл

Глава 7-5-1

Источники излучаемой Солнцем энергии

К середине 19-го века закон сохранения энергии стал общепринятым. Одним из его следствий является то, что должен существовать источник энергии, который мог бы обеспечить свечение Солнца на продолжительное время.

Но тело, излучающее свет и тепло в пространство, подобно Солнцу, безвозвратно теряет энергию. А потому, или оно должно получать энергию из внешнего источника для возмещения потерь, или же запас его энергии иссякает.

В 1848 году Роберт Майер выдвинул метеоритную гипотезу, согласно которой Солнце нагревается благодаря бомбардировке метеоритами. Однако при таком

количестве метеоритов сильно нагревалась бы и Земля; кроме того, земные геологические напластования состояли бы в основном из метеоритов. Кроме того должна была расти масса Солнца, и это сказалось бы на движении планет.

Во второй половине XIX века многими исследователями наиболее правдоподобной считалась теория, выдвинутая Гельмгольцем (1853 году) и количественно разработанная лордом Кельвином, которые предположили, что Солнце сжимается и освобождающаяся при этом потенциальная энергия переходит в тепловую. Этот процесс медленного гравитационного сжатия получил название «механизм Кельвина — Гельмгольца».

Согласно этой гипотезе выделялось больше энергии, чем могли бы дать падающие метеориты, но все же ее было недостаточно для того, чтобы объяснить продолжительность свечения Солнца, которую можно было вычислить альтернативным способом, изучая данные геологии. Основанные на этом механизме расчёты оценивали максимальный возраст Солнца в 20 миллионов лет, а время, через которое Солнце потухнет — не более чем в 15 миллионов, поскольку во время этого процесса звезда должна постепенно остывать. Однако эта гипотеза противоречила геологическим данным о возрасте горных пород, которые указывали на намного большие цифры. Так, например, Чарльз Дарвин отметил, что эрозия вендских отложений продолжалась не менее 300 млн лет.

К 70-м годам XIX века относятся первые работы по теоретическому исследованию сферических образований, состоящих из газа, то есть, по существу, моделей звезд. При этом использовались установленные принципы термодинамики и закон всемирного тяготения. Предполагалось, что это позволит лучше понять процесс выделения звездой энергии в результате медленного гравитационного сжатия или «механизма Кельвина — Гельмгольца».

Глава 7-5-2

Первые модели звезд

В 1870 году американский физик Дж. Лейн показал, что излучающий за счет сжатия шар из идеального газа может находиться в равновесии только в том случае, если его температура возрастает к центру шара. должен разогреваться, и лишь перестав быть таковым, и только достигнув достаточной плотности, начнет остывать.

При одновременном возрастании температуры и плотности газа давление внутри шара увеличивается настолько, что может противостоять весу более далеких от центра масс и обеспечить равновесие. В такой модели звезды центральная температура должна быть обратно пропорциональна радиусу шара.

Поскольку начальное состояние «протозвезды» или молодой звезды можно было сравнить с идеальным газом, теория Лейна позволяла продлить сроки жизни звезды с источником энергии Кельвина — Гельмгольца.

Теория Дж. Лейна, заставила астрономов искать объяснение механизмов, приводят к нагреву центральных областей звезды. В качестве возможной причины, приводящей к нагреву шара, рассматривали сжатие туманности, из которой образовался газовый шар, и происходящее при этом преобразование потенциальной энергии газа в тепловую.

Таким образом, в 80-е годы XIX века сложились отчетливые, хотя и неполные, представления о внутренней структуре звезд, а значит и Солнца, как сферических тел, состоящих из самогравитирующего идеального газа. Что же касается источников энергии, обеспечивающих наблюдаемое стационарное (устойчивое) состояние таких шаров (звезд), то их природа выяснилась только в 30 - 40-х годах XX века.

Сейчас считается, что основным источником звездной энергии является термоядерный синтез. Однако и механизм Кельвина — Гельмгольца, описывающий астрономические процессы, происходящие при остывании поверхности звезды или планеты, нашел применение в ряде случаев. Остывание приводит к падению давления, из-за чего планета или звезда сжимается, что в свою очередь приводит к разогреванию ядра. Этот механизм замечен на Юпитере, Сатурне и коричневых карликах, где температура ядра недостаточна

для прохождения термоядерной реакции. По оценкам, этот механизм позволяет Юпитеру излучать больше энергии, чем он получает от Солнца, однако для Сатурна это может быть неверно.

Глава 7-5-3

Джонатан Гомер Лейн

Джонатан Гомер Лейн (9 августа 1819 г., Дженесео, Нью-Йорк — 3 мая 1880 г., Вашингтон) — американский астрофизик и изобретатель.

Джонатан Гомер Лейн учился в Академии Филлипса в Эксетере, штат Нью-Гэмпшир. В 1846 году он закончил Йельский университет и устроился на работу в Патентном ведомстве США. Уже в 1851 году стал главным экспертом. В 1869 году он поступил на работу в Управление мер и весов, подразделение Министерства финансов, которое позже стало Национальным бюро стандартов.

В свободное время Лейн занимался астрономией. В 1870 году американский физик Джонатан Гомер Лейн показал, что излучающий за счет сжатия шар из идеального газа может находиться в равновесии только в том случае, если его температура возрастает к центру шара и должен разогреваться. И только потеряв свойства идеального газа и достигнув достаточной плотности, начнет остывать.

Его исследования показали, что газ внутри Солнца подчиняется принципам термодинамики, что позволяет определить отношения между давлением, температурой и плотностью газа внутри звезд. Работы Джонатана Лейна стали основой будущей теории звездной эволюции (см. Уравнение Лейна-Эмдена).

Саймон Ньюкомб в своих мемуарах описывает Лейна как «странного на вид и со странными манерами маленького человечка, довольно умного с виду, который внимательно слушал других, но сам никогда не говорил ни слова». Ньюкомб отмечает: «Очень странно, что человек такой проницательности не старался добиться чего-нибудь более значимого».

Кратер Лейн на Луне назван его именем.

Глава 7-5-4

Поиски источников звездной энергии

В 1896 году Антуан Анри Беккерель (1852 — 1908 гг.) открыл новые физические процессы на атомном уровне — радиоактивность. Для астрофизики особую роль сыграло открытие в 1903 году Пьером Кюри (1859 — 1906 гг.) и его сотрудником А. Лабордом явления самопроизвольного выделения тепла радиоактивными элементами. Появилась возможность вывести проблему источников звездной энергии из тупика. Это сделал в начале XX века выдающийся английский физик-теоретик и астрофизик Дж. Х. Джинс (1877 — 1946 гг.), выдвинувший правильную идею внутриатомной природы источника звездной энергии.

Сначала Джинс экстраполировал на звездную Вселенную идею излучения за счет радиоактивности (около $1/4000$ массы вещества переходило в излучение). Это обеспечивало существование звезды типа Солнца не более чем в течение 10^{11} лет. Между тем подсчеты Джинсом возраста звезд из динамических соображений (по времени установления в Галактике равномерного распределения кинетической энергии звезд) указывали на продолжительность их жизни в 10^{13} лет.

В 1904 году Джинс предложил в качестве механизма высвобождения внутриатомной энергии в звездах аннигиляцию при встрече электрона и протона и таким образом постепенное полное уничтожение всего вещества звезды и перехода его в излучение. Однако после установления в 1906 году Эйнштейном количественного закона превращения вещества в излучение ($E = mc^2$) Джинс подсчитал, что этот механизм мог бы обеспечить излучение Солнца в течение 10^{13} лет.

Предположение об аннигиляционном механизме выделения звездной энергии в дальнейшем под давлением новых фактов было отвергнуто. Но гениальная мысль Джинса о внутриатомном характере источника звездной энергии легла в основу всех последующих теорий эволюции звезд. Позднее Перрен и Эддингтон предложили

другой внутриатомный источник энергии — синтез атомов гелия из атомов водорода, при котором в излучение переходит около 1/130 массы вещества (вес одного атома гелия немного меньше суммарного веса четырех атомов водорода). Это обеспечивало продолжительность жизни звезды порядка 10^{11} лет, что оказалось правильнее оценки Джинса (10^{13} лет).

Вместе с тем этот новый механизм высвобождения внутризвездной энергии вплоть до начала 1940-х гг. оставался гипотезой. Быть может, поэтому Эддингтон и сам в те годы более реалистичной считал гипотезу Джинса (аннигиляции).

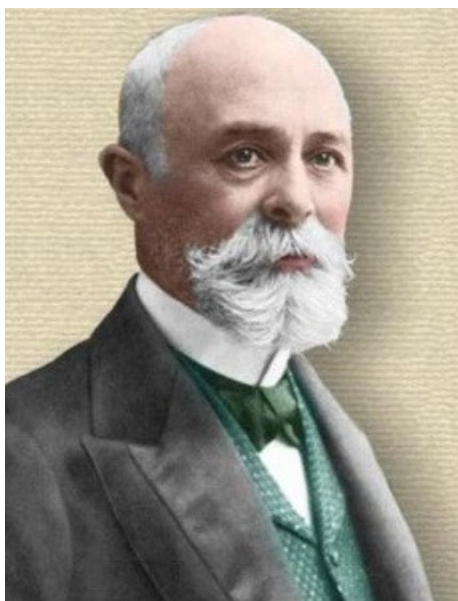
Комментарий

Пьер Кюри (1859 — 1906 гг.) — французский учёный-физик, один из первых исследователей радиоактивности. В 1903 году Шведская королевская академия наук присудила Пьеру и Марии Кюри Нобелевскую премию по физике за 1903 год. Пьер и Мария Кюри получили половину награды «в знак признания ... их совместных исследований явлений радиации, открытых профессором Анри Беккерелем».

Глава 7-5-5

Антуан Анри Беккерель

Антуан Анри Беккерель (фр. Antoine Henri Becquerel; 15 декабря 1852 — 25 августа 1908) — французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике и один из первооткрывателей радиоактивности. В честь него названа единица измерения активности радиоактивного источника в Международной системе единиц (СИ) — беккерель.



Антуан Анри Беккерель

Родился в семье учёных, которая дала четыре поколения учёных и к которой принадлежали — дед Антуан Сезар (1788 — 1878 гг.), отец Александр Эдмон (1820 — 1891 гг.) и сын Жан (1878 — 1953 гг.).

После окончания лицея Людовика Великого, где одним из его преподавателей был известный математик Гастон Дарбу, Анри Беккерель получил научное образование в Политехнической школе и инженерное образование в Национальной школе мостов и дорог.

27 мая 1886 года его избрали в Академию наук, где он занял место неперменного секретаря физического отделения, сменив на этом посту Марселена Бертло. В 1888 году защитил докторскую диссертацию посвящённую исследованиям о различиях спектров поглощения в кристаллах и вёл вместе с отцом разностороннюю научную деятельность. В начале своей карьеры Беккерель также изучал магнитные поля Земли.

В 1892 году он стал третьим человеком из их семьи, который возглавил кафедру физики в Национальном

музее естественной истории. В 1894 году он стал главным инженером в управлении мостов и дорог.

В 1896 году Беккерель случайно открыл радиоактивность во время работ по исследованию фосфоресценции в солях урана. Исследуя работу Рентгена, он завернул флюоресцирующий материал — уранилсульфат калия — в непрозрачный материал вместе с фотопластинками, с тем, чтобы подготовиться к эксперименту, требующему яркого солнечного света. Однако ещё до осуществления эксперимента Беккерель обнаружил, что фотопластинки были полностью засвечены. Это открытие побудило Беккереля к исследованию спонтанного испускания ядерного излучения.

К маю 1896 года, после других экспериментов с нефосфоресцентными солями урана, он пришёл к правильному объяснению, а именно, что проникающее излучение исходило от самого урана, без необходимости возбуждения внешним источником энергии. Интенсивное исследование радиоактивности привело к тому, что он опубликовал семь статей по этому вопросу в 1896 году.

Беккерелю также удалось сделать ещё одно «случайное» крупное открытие, относящееся к радиоактивности. В апреле 1902 года для публичной лекции ему понадобилось радиоактивное вещество, он взял его у супругов Кюри и положил пробирку с ним в жилетный карман. Прочтя лекцию, он вернул пробирку с хлоридом радия (RaCl_2) владельцам, а на следующий день обнаружил на теле под жилетным карманом покраснение кожи в форме пробирки, на месте которого позже образовалась язва. Беккерель рассказал об этом Пьеру Кюри, и тот поставил на себе опыт: в течение десяти часов носил привязанную к предплечью пробирку с радием. Через несколько дней у него тоже появилось покраснение, перешедшее затем в тяжелейшую язву, от которой он страдал в течение двух месяцев. Так впервые было открыто биологическое действие радиоактивности. Анри Беккерель в своей лаборатории

Академические звания

Беккерель был избран членом Французской академии наук в 1889 году. В 1908 году (в год смерти) он занял пост пожизненного секретаря Французской академии наук, заняв этот пост после смерти Берто.

В 1908 году избран иностранным членом Лондонского королевского общества.

Награды

Медаль Румфорда (1900 г.)

В 1903 году он получил совместно с Пьером и Марией Кюри Нобелевскую премию по физике «В знак признания его выдающихся заслуг, выразившихся в открытии самопроизвольной радиоактивности».

Медаль Барнарда (1905 г.)

Медаль Гельмгольца (1906 г.)

В его честь названы кратер на Луне и кратер на Марсе.

Его имя внесено в список величайших учёных Франции, помещённый на первом этаже Эйфелевой башни.

Глава 7-5-6

Джеймс Хопвуд Джинс

Джеймс Хопвуд Джинс (англ. James Hopwood Jeans; 11 сентября 1877, Лондон, Великобритания — 16 сентября 1946, Доркинг, Великобритания) — британский физик-теоретик, астроном, математик. Член Лондонского королевского общества (1906).

В 1900 окончил Тринити-колледж Кембриджского университета, затем с 1901—1905 и с 1910—1912 годы преподавал там математику. С 1905 по 1909 год работал профессором прикладной математики в Принстонском университете. После этого оставил преподавательскую деятельность и посвятил себя исследовательской работе. В 1923—1944 годах — сотрудник обсерватории Маунт-Вилсон в США, в 1935—1946 годах — профессор астрономии Королевского института в Лондоне.

Научная работа

Сделал важный вклад в нескольких областях физики, включая квантовую теорию, теорию теплового излучения и эволюции звёзд. Джеймс Джинс считается одним из основателей космологии в Великобритании наряду с Артуром Эддингтоном.

В 1905 году установил закон распределения энергии в длинноволновой части спектра излучения абсолютно чёрного тела (закон излучения Рэлея — Джинса), который связывает плотность энергии излучения абсолютно чёрного тела с температурой источника эмиссии.



Джеймс Хопвуд Джинс

Его анализ эволюции вращающихся позволил опровергнуть теорию Лапласа о формировании Солнечной системы из одиночного газового облака. В 20—30 годах XX века была популярна его собственная приливная теория создания Солнечной системы, в которой предполагалось, что планеты были сформированы из вещества, исторгнутого Солнцем, в результате катастрофической близости проходящей мимо звезды. Редкость создания планетарных систем

объяснялась малой вероятностью встречи двух звёзд. Хотя теория была опровергнута в середине 30-х годов, приливное взаимодействие продолжает рассматриваться как один из механизмов развития галактик и звёздных скоплений.

В 1929 была опубликована работа о поведении газовых уплотнений под действием сил тяготения, ставшая основой для теории гравитационной неустойчивости (неустойчивость Джинса), объясняющей происхождение структурных элементов Вселенной. Критические величины возникающих под воздействием сил тяготения возмущений в веществе получили названия длина волны Джинса и масса Джинса.

Умер 16 сентября 1946 года в Доркинге (Суррей).

Основные работы

Его книга «Динамическая теория газов» (1904), посвящённая идее о радиоактивной природе источника звёздной энергии, в течение 20 лет неоднократно переиздавалась.

В 1917 году предложил приливную теорию образования Солнечной системы.

С 1928 года публикует ряд научно-популярных книг: «Загадочная Вселенная» (1930), «Эос, или Космогония в широком смысле» (1929), «Звезды и их судьбы» (1931), «Вселенная вокруг нас» (1929), в которых рассказывает о революционных идеях физики и астрономии своего времени.

В более поздних книгах «Новые основания науки» (1933) и «Физика и философия» (1942) Джинс исследует окружающий мир с точки зрения науки и философии.

Награды и премии

С 1906 года — член Лондонского королевского общества, в 1919—1929 годах в должности почётного секретаря.

В 1923—1924 годах — президент Королевского астрономического общества.

Награждён медалями и премиями: Королевская медаль Лондонского королевского общества (1919), Золотая медаль Королевского астрономического общества (1922),

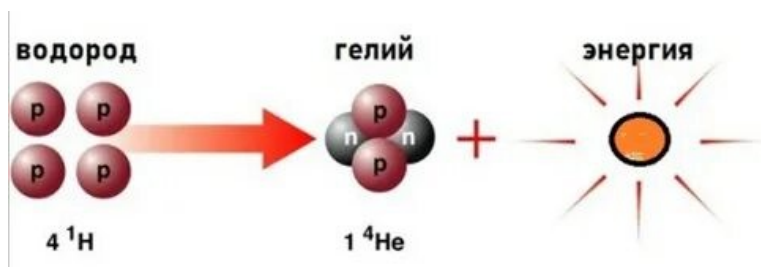
медаль Франклина Института им. Б. Франклина (1931), премия им. Дж. К. Адамса Кембриджского университета. В 1928 году посвящён в рыцари.

Кратер Джинс на Луне и кратер Джинс на Марсе названы в его честь.

Глава 7-5-7

Ядерные реакции в звездах

В 1920 году верный механизм энергосвободы — превращение водорода в гелий — предложил Артур Эддингтон. На тот момент уже было известно, что масса покоя четырёх протонов на 0,7 % превышает массу ядра гелия и что при такой реакции эта разность масс могла бы переходить в энергию — этот механизм позволил объяснить срок жизни Солнца.



Первоначально гипотеза Эддингтона была безупречной. Во-первых, рассчитанные температуры в центрах звёзд, как казалось, были слишком малы, чтобы частицы преодолевали кулоновский барьер и формировали более тяжёлые ядра. Эта проблема была разрешена в 1929 году применением туннельного эффекта к веществу в недрах звёзд. Кроме того, не было известно, каким именно образом может происходить такое превращение, поскольку столкновение сразу четырёх протонов и двух электронов очень маловероятно.

К 1939 году Ханс Бете, Карл Вайцзеккер и Чарльз Критчфилд независимо друг от друга открыли два пути превращения водорода в гелий: pp-цикл и CNO-цикл, которые в действительности проходят в звёздах.

В 1941 году Мартин Шварцшильд рассчитал модель Солнца с термоядерным источником энергии и смог теоретически предсказать некоторые наблюдаемые свойства Солнца — таким образом, теория термоядерного синтеза в недрах звёзд подтвердилась. Позже были открыты и другие возможные реакции в звёздах, но проблема их основного источника энергии уже была в целом разрешена.

В 1946 году Георгий Гамов и Фред Хойл независимо друг от друга опубликовали две научные статьи, в которых рассматривали вопрос возникновения химических элементов во Вселенной. Гамов утверждал, что химические элементы в первую очередь возникли вскоре после возникновения Вселенной при первичном нуклеосинтезе, а Хойл считал, что химические элементы в основном возникают в звёздах. До начала 1950-х годов гораздо большей поддержкой пользовалась теория Гамова — возникновение тяжёлых элементов в звёздах казалось маловероятным, поскольку для их синтеза требовались температуры на два порядка больше, чем в звёздах главной последовательности. Однако впоследствии и в теории Гамова обнаружились проблемы: наблюдаемый химический состав Вселенной был слишком неоднороден для такого повсеместного нуклеосинтеза, кроме того, отсутствие стабильных ядер с массовыми числами 5 и 8 делало практически невозможным синтез элементов с большими массовыми числами — в действительности при первичном нуклеосинтезе сформировались лишь некоторые лёгкие ядра.

В последующие годы становились известными различные возможные ядерные реакции в звёздах: например, в 1952 году Эдвин Солпитер открыл возможность тройного альфа-процесса, а в 1953—1954 годах было открыто ядерное горение углерода и кислорода. Наконец, в 1957 году была опубликована статья, известная как B²FN по фамилиям её авторов: это были Маргарет и Джеффри Бербидж, Уильям Фаулер и Фред Хойл. В этой обзорной работе были сведены разрозненные

данные о ядерных реакциях в звёздах и было с хорошей точностью объяснено происхождение большинства химических элементов. Статья В²FN стала одной из важнейших и наиболее цитируемых статей по астрофизике.

Дальнейшее изучение ядерных реакций в звездах

Ядерные реакции в звёздах и их эволюция продолжали изучаться, а теоретические модели становились точнее. Так, например, ещё в 1940-х годах обсуждалась возможность наблюдения нейтрино, а в 1968 году был проведён первый эксперимент по наблюдению солнечных нейтрино. Оказалось, что количество таких частиц, излучаемых Солнцем, было меньше, чем предсказывалось теоретически. Эта проблема, известная как проблема солнечных нейтрино, разрешилась в 2002 году: тогда были обнаружены нейтринные осцилляции, в результате которых нейтрино могут переходить из одного типа в другой, не все из которых были доступны для наблюдения. Таким образом, наблюдаемое расхождение удалось объяснить нейтринными осцилляциями, а данные о ядерных реакциях в Солнце оказались верными.

Комментарии

Протон-протонный цикл (pp-цикл) — совокупность термоядерных реакций, в ходе которых водород превращается в гелий в звёздах, находящихся на главной звёздной последовательности; основная альтернатива CNO-циклу. Протон-протонный цикл доминирует в звёздах с массой порядка массы Солнца или меньше, на него приходится до 98 % выделяемой энергии.

Конечным продуктом цепочки pp-цикла, доминирующей при температурах от 10 до 14 миллионов градусов, является ядро атома гелия, возникшее в результате слияния четырёх протонов с выделением энергии, эквивалентной 0,7 % массы этих протонов. Цикл включает в себя три стадии. Вначале два протона, имеющие достаточно энергии, чтобы преодолеть кулоновский барьер, сливаются, образуя дейтрон,

The diagram illustrates the proton-proton chain reaction in two parallel paths. Each path starts with two protons (^1H) fusing to form a deuterium nucleus (^2H), releasing a positron (ν). The deuterium then fuses with another proton (^1H) to form Helium-3 (^3He), releasing a gamma ray (γ). Two Helium-3 nuclei then fuse to form Helium-4 (^4He), releasing two protons (^1H).

The diagram illustrates the CNO cycle, a series of nuclear fusion reactions. It begins with a ^{12}C nucleus (6 protons, 6 neutrons). A ^1H nucleus (1 proton, 0 neutrons) is added, releasing a γ ray and forming a ^{13}C nucleus (6 protons, 7 neutrons). A second ^1H nucleus is added, releasing a γ ray and forming a ^{14}C nucleus (6 protons, 8 neutrons). A third ^1H nucleus is added, releasing a γ ray and forming a ^{15}C nucleus (6 protons, 9 neutrons). The ^{15}C nucleus then decays into a ^{15}N nucleus (7 protons, 8 neutrons) by emitting an electron (represented by a small black dot). A fourth ^1H nucleus is added to the ^{15}N nucleus, releasing a γ ray and forming a ^{16}O nucleus (8 protons, 8 neutrons). A fifth ^1H nucleus is added, releasing a γ ray and forming a ^{17}O nucleus (8 protons, 9 neutrons). The ^{17}O nucleus then decays into a ^{14}N nucleus (7 protons, 7 neutrons) by emitting a positron (represented by a small white dot). Finally, a sixth ^1H nucleus is added to the ^{14}N nucleus, releasing a γ ray and forming a ^{15}N nucleus, which then decays back into the initial ^{12}C nucleus by emitting an alpha particle (^4He , 2 protons, 2 neutrons). A legend at the bottom identifies the symbols: a red circle for Proton, a grey circle for Neutron, a small black dot for Positron, a small white dot for Neutrino, and the Greek letter gamma (γ) for Gamma Ray.

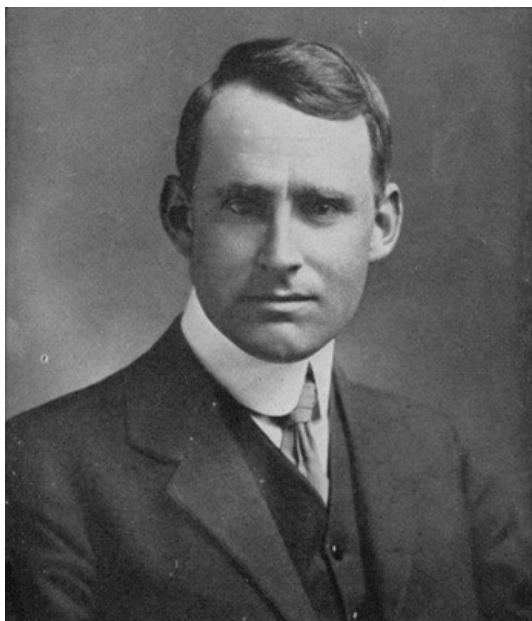
CNO-цикл — термоядерная реакция превращения водорода в гелий, в которой углерод, кислород и азот выступают как катализаторы. Считается одним из основных процессов термоядерного синтеза в массивных звёздах главной последовательности. CNO-цикл — это совокупность трёх сцепленных друг с другом или, точнее, частично перекрывающихся циклов. Самый простой из них — CN-цикл (цикл Бете, или углеродный цикл) — был предложен в 1938 году Хансом Бете и независимо от него Карлом Вайцзеккером.

Глава 7-5-8

Артур Стэнли Эддингтон

Артур Стэнли Эддингтон (англ. sir Arthur Stanley Eddington; 28 декабря 1882, Кендал, Уэстморленд (ныне Камбрия), Великобритания — 22 ноября 1944, Кембридж, Великобритания) — английский астрофизик.

Член Лондонского королевского общества (1914 г.), иностранный член-корреспондент Российской академии наук (1923 г.), иностранный член Национальной академии наук США (1925 г.).



Артур Стэнли Эддингтон

Артур Стэнли Эддингтон родился 28 декабря 1882 года в Кендале.

В 1906—1913 гг. работал в Гринвичской обсерватории.

С 1913 года — профессор Кембриджского университета. С 1914 — директор астрономической обсерватории в Кембридже.

Его учениками были С. Чандрасекар, С. Х. Пейн-Гапошкина.

В 1919 год совместно с Фрэнком Дайсоном организовал две экспедиции для наблюдения солнечного затмения 29 мая 1919 года в город Собрал в Бразилии и на португальский остров Принсипи в Африке (сам Эддингтон наблюдал затмение на Принсипи), результаты которых подтвердили предсказание общей теории относительности Эйнштейна об отклонении света в поле тяготения Солнца.

В 1921 — 1923 годах — президент Королевского астрономического общества.

В 1924 году создал теорию белых карликов.

В 1930 — 1932 годах Артур Эддингтон являлся президентом Лондонского общества физиков.

В 1938 году Эддингтон был избран президентом Международного астрономического союза.

С 1920-х вплоть до своей смерти, он всё больше сосредотачивается на том, что он называл «фундаментальной теорией», предназначенной для объединения квантовой теории, теории относительности, космологии и гравитации. Сначала он двигался «традиционным» путём, но затем стал всё чаще обращаться к почти нумерологическому анализу безразмерных отношений фундаментальных констант.

Его основным подходом было объединить несколько фундаментальных констант с целью получения безразмерной величины. Во многих случаях это может привести к числам, близким к 10^{40} . Он был убеждён, что масса протона и заряд электрона являются естественной и полной спецификацией для построения Вселенной и что их значения не случайны. Один из первооткрывателей квантовой механики Поль Дирак также следовал в этом направлении, что стало известно как Гипотеза больших чисел Дирака и некоторые учёные даже сегодня считают, что такой подход имеет под собой основания.

Разрушительные для его имиджа заявления, сделанные им в защиту этих концепций, были связаны с постоянной тонкой структуры (α). В то время её измерения давали

результат, очень близкий к $1/136$, и Эддингтон утверждал, что значение на самом деле должно быть точно $1/136$, исходя из эпистемологических причин. Более поздние измерения дали значение гораздо ближе к $1/137$, после чего он сменил логику своих рассуждений, утверждая, что единица должна быть добавлена к степеням свободы, так что значение должно быть точно $1/137$, «число Эддингтона». Шутники в то время начали называть его «Артур Добавь-один» (Артур Эддингван). Такое изменение мнения снизило авторитет Эддингтона в физическом сообществе. Текущее значение постоянной тонкой структуры оценивается в $1/137,035\ 999\ 074(44)$.

Эддингтон считал, что нашёл алгебраическую основу фундаментальной физики, которую он назвал «Е-числа» (составляющие определённую группу — алгебру Клиффорда). Они, по сути, включали пространство-время в структуру большей размерности. Хотя его теория давно рассматривается физическим сообществом как несостоятельная, похожие алгебраические понятия легли в основу многих современных попыток теории великого объединения. Более того, значения фундаментальных констант и, в частности, безразмерные величины, получаемые из них, которым Эддингтон уделял особое внимание, в настоящее время являются одной из центральных проблем физики.

Эта линия его исследований осталась незавершённой из-за смерти Эддингтона в 1944 году. Его труд под названием «Фундаментальная теория» остался незаконченным и был опубликован только посмертно в 1946 году.

Научная деятельность

Эддингтон был одним из первых учёных, кто, оценив важность специальной и общей теории относительности (ОТО), начал интересоваться ими и публиковать статьи по этой теме. В 1916 году Эддингтон прочитал лекцию о теории на съезде Британской ассоциации, а в 1918 году сделал доклад для Физического общества.

В 1919 году Эддингтон возглавил экспедицию на остров Принсипи в Западной Африке. Целью этой экспедиции было наблюдение отклонений лучей света во

время солнечного затмения 29 мая 1919 года и подтверждения, таким образом, эффектов, описанных ОТО. В марте 1919 года Эддингтон отплыл на корабле из Англии, а в середине мая установил оборудование для наблюдения на острове Принсипи. Затмение ожидалось 29 мая 1919 года в 14 часов, однако наблюдения затрудняли утренний шторм и сильный дождь. Эддингтон писал:

«... Дождь окончился около полудня и примерно в 1:30 мы увидели Солнце. Мы приготовили наши фотоаппараты, надеясь на случай. Я не видел самого затмения, будучи очень занят меняя фотопластинки, кроме одного взгляда, чтобы удостовериться, что оно началось, и полу-взгляда, чтобы оценить количество облаков. Мы получили 16 снимков, на которых Солнце получилось со всеми деталями, но облака закрывали звёзды. На последних нескольких снимках было несколько изображений звёзд, которые дали нам то, что нам было нужно...

Эддингтон остался на острове с целью проявить снимки и измерить отклонения положения звёзд. Качество снимков из-за облаков было низким, в результате чего измерения проходили с трудом. 3 июня 1919 года Эддингтон написал в своей записной книжке: «на одной пластинке измерения дали результат, предсказанный Эйнштейном». Некоторые исследователи утверждают, что результаты Эддингтона страдают от систематических ошибок, а неопределённости при измерении настолько велики, что не позволяют сделать какое-либо определённое заключение, хотя современный повторный анализ данных подтверждает правоту Эддингтона.

В 1920 году в статье «Внутреннее строение звёзд» Эддингтон впервые сформулировал гипотезу о том, что источником энергии звёзд являются термоядерные реакции с превращением водорода в гелий.

В 1924 году Эддингтон показал, что сингулярность Шварцшильда — не физическое явление, а математический артефакт, связанный с системой координат. Эддингтон нашёл другую систему координат, при которой сингулярность Шварцшильда исчезает.

Награды и премии

член Лондонского королевского общества (1914 г.)

премия Жюль Жансена (1928 г.)

Королевская медаль (1928 г.)

медаль Кэтрин Брюс (1924 г.)

медаль Генри Дрейпера (1924 г.)

Бейкеровская лекция (1926 г.)

Мессенджеровские лекции (1933 г.)

В 1930 году Артур Эддингтон был посвящён в рыцари за научные заслуги.

Комментарии

Предел Эддингтона (эддингтоновский предел) — величина мощности электромагнитного излучения, исходящего из недр звезды, при которой его давления достаточно для компенсации веса оболочек звезды, которые окружают зону термоядерных реакций, то есть звезда находится в состоянии равновесия: не сжимается и не расширяется. При превышении предела Эддингтона звезда начинает испускать сильный звёздный ветер.

Критическая (эддингтоновская) светимость — максимальная светимость звезды или другого небесного тела, определяющаяся условием равновесия гравитационных сил и давления излучения объекта.

Публикации

Эддингтон А. С. Звёзды и атомы. — М.-Л.: Госиздат, 1928. — 152 с.

Эддингтон А. С. Математическая теория относительности. — Х.-К.: ГНТИ Украины, 1933. — 359 с.

Эддингтон А. С. Пространство, время и тяготение. — Одесса: Матезис, 1923. — 216 с.

Эддингтон А. С. Теория относительности. — М.-Л.: ГТТИ, 1934. — 508 с.

Эддингтон А. С. Теория относительности и её влияние на научную мысль. — Одесса: Матезис, 1923. — 56 с.

Глава 7-5-9

Ханс Альбрехт Бете

Ханс Альбрехт Бете (нем. Hans Albrecht Bethe; 2 июля 1906 года, Страсбург, Германия — 6 марта 2005 года, Итака, Нью-Йорк) — американский астрофизик и ядерный физик, лауреат Нобелевской премии по физике (1967). В сферу его интересов также входили квантовая электродинамика и физика твёрдого тела.



Ханс Альбрехт Бете

Член Национальной академии наук США (1944) и Американского философского общества, иностранный член Лондонского королевского общества (1957). Член Леопольдины (1978). Иностранный член Российской

Родился в 1906 году в Страсбурге, который в то время входил в состав Германии, в семье Альбрехта Теодора Юлиуса Бете, приват-доцента физиологии в Страсбургском университете, и Анны (в девичестве — Кюн). Хотя его мать, дочь профессора в Страсбургском университете, была еврейкой, он воспитывался в протестантской традиции, как его отец. Несмотря на это, Бете не был религиозен во взрослой жизни, характеризуя себя как атеиста.

В 1912 году отец Ханса принял должность профессора и руководителя Института физиологии Кильского университета. Изначально Бете учился у частного преподавателя в группе из восьми мальчиков и девочек. В 1915 году Альбрехт стал главой Института физиологии Университета Франкфурта-на-Майне, там Ханс поступил в Гимназию им. Гёте. Его обучение прервалось в 1916 году, когда он подхватил туберкулёз и был отправлен в Бад-Кройцнах на выздоровление. К 1917 году он поправился достаточно для того, чтобы поступить в местное реальное училище, а на следующий год продолжил обучение в ОденвальдшULE, частной школе-интернате с совместным обучением. Бете вернулся в Гимназию им. Гёте в 1922 году, где проучился последние три класса средней школы (до 1924 года).

Сдав выпускные экзамены, Бете поступил во Франкфуртский университет. Обучение физике было посредственным. Ему посоветовали перейти в университет с более сильной школой теоретической физики, а именно Мюнхенский университет Людвиг-Максимилиана, где работал Арнольд Зоммерфельд.

По рекомендации Мейснера Зоммерфельд принял нового студента в апреле 1926 года. Зоммерфельд читал продвинутый курс применения дифференциальных уравнений в физике, который очень понравился Бете. Будучи знаменитым учёным, Зоммерфельд часто получал препринты научных статей, которые он представлял для обсуждения на еженедельных вечерних семинарах. Незадолго до перевода Бете в университет Зоммерфельд получил статьи Эрвина Шрёдингера по волновой механике.

В 1924—1928 гг. обучался в Франкфуртском и Мюнхенском университетах. В последнем получил докторскую степень по физике (1928).

Некоторое время работал у Эвальда в Политехнической школе Штутгарта и у Энрико Ферми в Риме.

Его мать была еврейкой и после прихода к власти нацистов в 1933 году ему пришлось оставить Тюбингенский университет, в который устроился в 1932 году. Зоммерфельд предоставил ему помощь, однако Бете уже не мог оставаться в нацистской Германии. Он эмигрировал в Великобританию, где получил должность преподавателя Манчестерского университета и оставался у Рудольфа Пайерлса, а с 1935 года — в США. С того же года профессор Корнеллского университета (ассистент-профессор до 1937, эмерит с 1975).

В 1941 году получил американское гражданство. В военные годы принимал участие в работах, проводившихся в рамках Манхэттенского проекта, возглавляя теоретический отдел Лос-Аламосской лаборатории. Сыграл ключевую роль в расчетах критической массы для атомных бомб и теоретического обоснования взрывного метода, применявшегося как в испытании «Тринити», так и в атомной бомбардировке Нагасаки бомбой «Голстяк». Спустя годы он напишет: «По сей день меня не покидает чувство, что я поступил неправильно. Но так уж я поступил...». Затем Бете участвовал ещё и в разработке водородной бомбы, хотя к проекту присоединился в надежде доказать, что он не может быть реализован.

Общественная деятельность

После Второй мировой войны выступал за ядерное разоружение и мирное использование ядерной энергетики. Присоединился к основанному Альбертом Эйнштейном Чрезвычайному комитету ученых-атомщиков, боровшемуся против гонки ядерных вооружений. Был одним из главных научных голосов, добившихся подписания в 1963 году Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой, а затем и

Договора об ограничении систем противоракетной обороны 1972 года.

В 1995 году 88-летний Бете написал открытое письмо, призывавшее всех учёных мира не принимать участие в любых работах, связанных с созданием ядерного вооружения. В 2004 году он был в числе 48 нобелевских лауреатов, поддержавших в своём обращении кандидатуру Джона Керри против Джорджа Буша-младшего на выборах президента США, чтобы восстановить «надлежащее место науки в правительстве».

Глава 7-5-10

Научные достижения Ханса Альбрехта Бете

Основные работы посвящены ядерной физике и астрофизике. Открыл протон-протонный цикл термоядерных реакций (1938). Предложил шестиступенчатый углеродно-азотный цикл, позволяющий объяснить процесс протекания термоядерных реакций в массивных звёздах (1938, независимо от К. Вайцзеккера). Бете принадлежит формула для определения потерь энергии заряженной частицей, движущейся в веществе (1934). В 1947 году Бете объяснил лэмбовский сдвиг, введя в квантовую теорию радиационные поправки и положив начало теории перенормировок. В теории элементарных частиц широко применяется уравнение Бете — Солпитера, описывающее систему двух взаимодействующих частиц (1951).

В 1929 году разработал квантовохимическую теорию кристаллического поля, рассматривающую низшие по энергии состояния молекулы как состояния одного атома (иона), находящегося в электростатическом поле, созданном окружающими его атомами или ионами.

Ханс Бете — автор более 250 научных работ, в том числе соавтор (совместно с Эдвином Солпитером) до сих пор широко используемой физиками книги «Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами» (М.: Физматлит, 1960; англ. Hans A. Bethe and Edwin E. Salpeter, Quantum mechanics of one- and two-electron

atoms. — Berlin: Springer, 1957). Продолжал научную деятельность до преклонного возраста. В последние 20 лет жизни работал в основном в области физики нейтрино, в частности опубликовал серию работ, посвящённых проблеме дефицита солнечных нейтрино. Фримен Дайсон, один из его учеников, считал Бете учёным, лучше всех в XX веке решавшим научные проблемы.

Награды и признание

Член Американской академии искусств и наук (1947), Американского астрономического общества и Американского физического общества и президент последнего в 1954 году.

Почётный доктор английских университетов.

1946 — Presidential Medal of Merit

1947 — Медаль Генри Дрейпера

1955 — Медаль имени Макса Планка

1959 — Медаль Франклина

1961 — Медаль Эддингтона Королевского астрономического общества

1961 — Премия Энрико Ферми

1963 — Премия Румфорда

1967 — Нобелевская премия по физике

1975 — Национальная научная медаль США

1976 — Медаль Нильса Бора

1978 — Мемориальные лекции Вейцмана

1981 — Премия Лео Силарда

1985 — Vannevar Bush Award

1989 — Большая золотая медаль имени М. В. Ломоносова за выдающиеся достижения в области физики

1990 — Медаль Оскара Клейна

1992 — Albert Einstein Peace Prize

1993 — Медаль Эрстеда

1993 — Бейкеровская лекция

2001 — Медаль Кэтрин Брюс

2005 — Медаль Бенджамина Франклина[en]
Американского философского общества

В честь Бете названы астероид (30828) Бете и учреждена Премия Ханса Бете.

Глава 7-5-11

Карл Фридрих фон Вайцеккер

Карл Фридрих фон Вайцеккер (нем. Carl Friedrich von Weizsäcker; 28 июня 1912, Киль — 28 апреля 2007) — немецкий физик и философ.

Почётный член Леопольдины (1992), иностранный член французской Академии моральных и политических наук (1974).



Рис. Карл Фридрих фон Вайцеккер

Вайцеккер является выходцем из швабской семьи, давшей многих известных теологов, учёных и военных. Его дед был премьер-министром Вюртемберга, отец Эрнст фон Вайцеккер — дипломатом нацистского периода,

брат — президентом ФРГ в 1984—1994 Рихард фон Вайцзеккер.

Уже в ранние годы Вайцзеккер обнаруживал интерес к астрономии и физике. В 1929—1933 годах изучал физику в Берлине, Геттингене, Копенгагене (у Н. Бора) и Лейпциге (у В. Гейзенберга). Будучи молодым учёным, впервые получил полуэмпирическую формулу для энергии связи атомного ядра, которую назвали в его честь формулой Вайцзеккера. В 1942—1944 годах был профессором теоретической физики в Страссбурге.

В годы Второй мировой войны вместе с В. Гейзенбергом и другими немецкими учёными работал над созданием ядерных технологий для нацистской Германии («Урановый проект»).

В 1946—1957 годах Вайцзеккер руководил отделом в Институте физики Общества Макса Планка (Гёттинген).

В 1956 году Вайцзеккер, обеспокоенный проблемой ядерного вооружения, вместе с другими немецкими учёными-ядерщиками выступил с т. н. «Гёттингенским заявлением» об отказе участвовать в изготовлении, испытании или применении ядерного оружия. С тех пор проблема политической ответственности учёного за общественные последствия своих открытий становится одной из главных тем его размышлений.

В 1957—1969 — профессор философии в Гамбурге;

С 1970 — директор Института физики Общества Макса Планка в Штарнберге.

Философские взгляды

По мнению Вайцзеккера, философия должна создавать априорный фундамент частных наук, а также заниматься проверкой обоснованности лежащих в их основе принципов. Главная задача философии, как он считает, — достижение нового понимания единства природы, что возможно на основе синтеза философии и частных наук. Именно здесь обнаруживается философская значимость фундаментальной физики (под которой Вайцзеккер понимает квантовую физику). Только её аксиомы могут быть положены в основу познания, поскольку лишь они описывают условия возможности опыта и представляют

мир как единое целое. Внимание Вайцзеккера привлекает диалог Платона «Парменид», который позволяет понять условия возможности самой рациональности и сферу её применимости.

По мнению Вайцзеккера, временная структура является условием всякого опыта. При этом прошедшее интерпретируется в категориях действительно-фактического, а будущее в категориях возможности. Высказывания о будущих событиях могут быть сделаны только в форме вероятностных суждений. Опыт квантовой физики показывает, что суждения о будущем в строгой форме (идеал классической физики) невозможны. Это фундаментальное различие между прошлым и будущим выражает 2-й закон термодинамики. Вайцзеккер не выводит из этого закона традиционного следствия о возрастании энтропии: если отказаться от каузальной интерпретации будущего, то данное следствие перестает быть необходимым. На основании 2-го закона следует заключить, скорее, о росте богатства форм (как потенциальной информации). Такому взгляду должна соответствовать не классическая аристотелевская логика, а «квантовая», наделяющая высказывания не значением «истинно»/«ложно», а «необходимо», «возможно» или «невозможно».

Вайцзеккер — автор большого числа статей, посвященных проблемам современного мира и культуры. Одну из причин современного кризиса он видит в особенностях развития «больших» культур, в которых отношения строятся не на основе личного знакомства, как в архаической древности, а на процессах абстрагирования и квантификации взаимных прав и обязанностей в форме власти и денег.

Глава 7-5-12

Мартин Шварцшильд

Мартин Шварцшильд (нем. Martin Schwarzschild; 1912—1997) — американский физик и астрофизик, педагог. Сын Карла Шварцшильда и племянник Роберта Эмдена.

Член Национальной академии наук США (1956), иностранный член Лондонского королевского общества (1996).



Мартин Шварцшильд

Родился 31 мая 1912 года в Потсдаме, Германия.

В 1936 году он уехал из нацистской Германии в Норвегию, а затем в Соединённые Штаты.

В 1936—1937 работал в Институте астрофизики в Осло. С 1937 жил и работал в США. В 1937—1940 работал в Гарвардской обсерватории, в 1940—1947 — в обсерватории Колумбийского университета, с 1947 — профессор астрономии Принстонского университета.

С 1942 по 1945 годы Шварцшильд служил в разведке армии США и получил американское гражданство. За военную службу он был награждён Орденом Почетного легиона и Бронзовой звездой.

Умер 10 апреля 1997 (84 года) в Лангхорне, Пенсильвания, США.

Основные научные труды посвящены структуре и эволюции звёзд. В 1950—1970-х руководил проектами «Стратоскоп» — изучением спектров звезд в оптическом и инфракрасном диапазоне с помощью телескопов, поднятых на воздушных шарах.

В его честь назван астероид 4463 Маршварцшильд.

Награды

Медаль Карла Шварцшильда (1959)

Премия Генри Норриса Рассела (1960)

Медаль Генри Дрейпера (1960)

Медаль Эддингтона (1963)

Медаль Кэтрин Брюс (1965)

Гиббсовская лекция (1966)

Премия имени Дэнни Хайнемана (1967)

Золотая медаль Королевского астрономического общества (1969)

Премия Жюль Жансена (1970)

Лекция Карла Янского (1980)

Премия Дирка Брауэра (1991)

Премия Бальцана (1994)

Национальная научная медаль США (1997), и другие.

Глава 7-5-13

Сэр Фред Хойл

Сэр Фред Хойл (англ. Fred Hoyle; 24 июня 1915 — 20 августа 2001) — известный британский астроном и космолог. Член Лондонского королевского общества (1957), иностранный член Национальной академии наук

США (1969). Автор нескольких научно-фантастических романов.



Рис. Сэр Фред Хойл

Фред Хойл родился 24 июня 1915 года в городке Бингли в Йоркшире. С детства увлекался астрономией, окончил Кембриджский университет с дипломом по математике и теоретической физике и затем работал в нём вместе с Рудольфом Пайерлсом и Полем Дираком.

В конце 1930-х годов работал над теорией эволюции звёзд с Реймондом Литтлтоном. Во время Второй мировой войны работал в Британском Адмиралтействе над созданием противорадарных систем. Преподавал астрономию в Кембридже, Калифорнийском технологическом институте и Корнеллском университете, работал в Паломарской обсерватории и обсерватории Маунт Вилсон. Вместе с Мартином Шварцшильдом разработал теорию эволюции красных гигантов. Теоретически предсказал, впоследствии экспериментально подтверждённое, явление ядерного резонанса в углероде-12 (тройная гелиевая реакция).

В 1948 году вместе Германном Бонди и Томасом Голдом разработал стационарную модель Вселенной, которая постулирует независимость процессов появления материи и расширения Вселенной. Считается, что именно

Хойл впервые употребил быстро ставший расхожим термин «Большой взрыв», обозначив им модель, альтернативную его собственной. Он также являлся убеждённым сторонником теории «панспермии» (распространения жизни во Вселенной через органические «споры», переносимые через межзвёздное пространство).

Был президентом Королевского астрономического общества.

За вклад в науку в 1972 году возведён в рыцарское достоинство Соединённого Королевства.

Сэр Фред Хойл скончался 20 августа 2001 года на 87-м году жизни в Борнмуте, графство Дорсет.

Литературные произведения

Помимо более чем двадцати научных и научно-популярных книг, Фред Хойл написал также несколько научно-фантастических романов — «Чёрное облако» («The Black Cloud», 1957), «Оссианский бег» («Ossian's Ride», 1958), «Первого октября будет поздно» («October the First Is Too Late», 1966), «Комета Галлея» («Comet Halley», 1985). В 1962 году вышла написанная им совместно с Джоном Эллиотом новеллизация телесериала «A for Andromeda», изданная на русском языке под названием «Андромеда» в серии «Зарубежная фантастика» в 1966 году. Несколько романов — «Пятая планета» («Fifth Planet», 1963), «Семь ступеней к Солнцу» («Seven Steps to the Sun», 1970), «В глубины космоса» («Into Deepest Space», 1974) и другие — написаны им в соавторстве с сыном Джеффри Хойлом. В 1967 году был также издан его сборник «Элемент 79» («Element 79»).

Награды

Медаль и премия Гутри (1960)

Мессенджеровские лекции (1960)

Премия памяти Рихтмайера (1964)

Мемориальные лекции Вейцмана (1964)

Бейкеровская лекция (1968)

Премия Калинги от ЮНЕСКО за популяризацию науки (1968)

Золотая медаль Королевского астрономического общества (1968)

Лекция Карла Янского (1969)

Кельвиновская лекция (1970)

Медаль Кэтрин Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1970)

Премия Генри Норриса Рассела (1971)

Королевская медаль Лондонского королевского общества (1974)

Медаль Карла Шварцшильда (1992)

Премия Бальцана (1994)

Премия Краффорда Шведской академии наук «За пионерский вклад в исследование звездной эволюции и ядерных процессов в звездах» (1997)

Часть 7-6

Анализ звездных спектров

Глава 7-6-1. Представление о солнечной атмосфере в 1900-е годы

Глава 7-6-2. Теория строения атмосферы Солнца

Глава 7-6-3. Карл Шварцшильд

Глава 7-6-4. Основные научные труды Карла Шварцшильда

Глава 7-6-5. Сэр Франц Артур Фридрих Шустер

Глава 7-6-6. Структура звёздной атмосферы. Современные представления

Глава 7-6-7. Анализ звездных спектров

Глава 7-6-8. Теория возбуждения и ионизации

Глава 7-6-9. Спектральная последовательность

Глава 7-6-10. Мегнад Саха

Глава 7-6-11. Сесилия Пейн-Гапошкина

Глава 7-6-12. Григорий Абрамович Шайн

Глава 7-6-13. Отто Людвигович Струве

Глава 7-6-14. Научная карьера Отто Струве

Глава 7-6-15. Вращение звезд

Глава 7-6-16. Внутреннее строение звезд

Глава 7-6-17. Эволюция звезд

Глава 7-6-18. Артур Стэнли Эддингтон

Глава 7-6-1

Представление о солнечной атмосфере в 1900-е годы

Спектральный анализ раскрыл удивительную возможность, которая незадолго до этого считалась совершенно невероятной: он позволил установить химический состав далеких, недоступных небесных тел.

Эти новые открытия, конечно, принесли с собой и

новые представления о Солнце. Мысль о холодном и темном солнечном ядре стала теперь совершенно невозможной. Кирхгоф считал Солнце раскаленным шаром очень высокой температуры, окруженным менее горячей атмосферой, содержащей земные элементы в газообразном состоянии. Солнечные пятна он считал более холодными облаками в этой атмосфере. Кирхгоф очень верно говорил, что темный цвет пятен должен свидетельствовать только о более низкой температуре и что часто высказываемое мнение о возможности возникновения этого цвета из-за меньшей излучательной способности масс газа в глубоких слоях противоречит установленному им закону.

Однако это мнение в 1864 году оспорили Секки и Джон Гершель, которые и ядро также считали газообразным, а непрерывный спектр приписывали конденсированным тонким капелькам или частичкам, которые плавали в газовой атмосфере наподобие облаков. Эксперименты показали, что сильно сжатый газ также дает непрерывный спектр. Несмотря на то, что в 1869 году физик Эндрюс открыл «критическое состояние», т. е. тот факт, что любое вещество при температуре выше определенной, «критической», не может больше оставаться жидким, а должно быть лишь газообразным, теория облаков все еще находила многих приверженцев.

Секки, а также французский астроном Фай в разработанной ими теории Солнца, исходили из представления о газе, находящемся в состоянии сильного внутреннего сжатия. Фай говорил, что на месте солнечных пятен происходят истечения нагретого газа к поверхности, которые разрывают облачный покров. Все же эта гипотеза не совпадала с утверждением Кирхгофа о том, что «солнечные пятна холоднее окружающей фотосферы. Фая поразили наблюдавшиеся в пятнах вихри, которые он сравнивал с земными торнадо.

«Почти невозможно сомневаться в том, что фотосфера представляет собой слой облаков» — писал Юнг в 1882 году в своей книге «The Sun» («Солнце»).

В своей книге Юнг дал прекрасное описание солнечной атмосферы, какой она представлялась в 1900-е годы:

«На рисунке показано воображаемое сечение, проходящее через центр, черный диск представляет собой внутреннее ядро, которое недоступно для наблюдений; о его природе и строении можно только строить догадки. Белое кольцо, окружающее его — это фотосфера, или оболочка, в виде раскаленного облака, которая образует видимую поверхность. Глубина, или толщина, этой оболочки абсолютно неизвестна; она может быть во много раз толще, чем показано, а возможно и несколько тоньше. Неизвестно, отделена ли она от внутреннего ядра какой-либо поверхностью или, наоборот, между ними нет четкой границы.

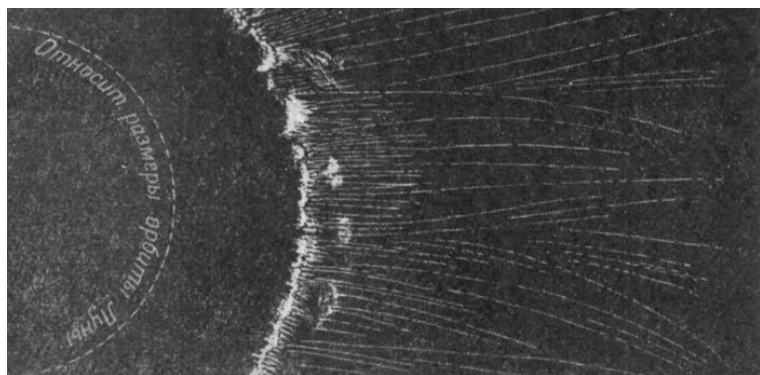


Рис. Солнце. Представление 1900 года

Однако внешняя поверхность фотосферы, безусловно, очерчена довольно резко, хотя граница очень неправильна; она то поднимается в тех местах, где находятся факелы, то понижается в других местах, где есть пятна, как показано на рисунке.

Непосредственно над фотосферой лежит так называемый «обращающий слой», в котором возникают фраунгоферовы линии. Необходимо отметить, однако, что газы, составляющие этот слой, не просто лежат выше фотосферы, но и заполняют все промежутки между фотосферными облаками, образуя атмосферу, в которой они плавают; на рисунке мы попытались отразить это.

Над «обращающий слой» лежит алая хромосфера с протуберанцами разной формы и размеров, вздымающимися высоко над солнечной поверхностью; а еще выше, обнимая все это, находится корональная атмосфера с таинственным свечением облаков и потоков, постепенно усаживающим и сливающимся с окружающей темнотой».

Механизм образования линий поглощения и природа хромосферы были описаны Юнгом следующим образом:

«На внешней поверхности фотосферы... и всюду внутри нее, конечно, находятся несконденсировавшиеся газы, темные по сравнению с капельками и кристаллами, из которых состоят фотосферные облака. Там давление и температура понижены, поэтому пары дают уже не непрерывный спектр, а спектр с яркими линиями всякий раз, когда их можно наблюдать на несветящемся фоне; когда сквозь эти пары проходит более интенсивный свет от жидких и твердых частиц фотосферы, он отнимает у них соответствующие лучи и образует знакомый нам спектр солнечного света с темными линиями.

На внешней поверхности, обращенной к холодному космическому пространству, сильная теплоотдача, несомненно, будет вызывать конденсацию и осаждение таких паров в светящиеся облака, так как их температура кипения выше, чем в холодном пространстве. Эти облака будут плавать в атмосфере, насыщенной парами, из которых они образовались, а также другими парами, которые не сконденсировались; все это и объясняет странные особенности солнечного спектра. С другой стороны, такие газы, которые (подобно водороду) в солнечных условиях не конденсируются в жидкость, поднимутся на большую высоту, чем другие, и образуют над фотосферой хромосферу, которую мы и наблюдаем».

Объяснение возникновения спектра поглощения согласуется с законами излучения Кирхгофа. Но в 1913 г. Фаулер писал, что «...химия и физика фотосферы все еще остаются загадкой».

Было обнаружено, что температура солнечной фотосферы составляет 6000° ; следовательно, все

известные земные вещества должны там превратиться в пар. При исследовании спектров Солнца и звезд многие линии были отождествлены с линиями земных элементов, спектры которых наблюдались в лаборатории. К 1900 г. большинство элементов, обнаруженных на Земле, было отождествлено, и казалось, что вселенная является химически однородной. Таким образом, представлялось невероятным, чтобы какое-либо вещество, не наблюдаемое на Земле, оказалось обильным в звездах; более правдоподобным, хотя и не очень убедительным было бы предположение о существовании некоторого неизвестного процесса, приводящего к конденсации при высоких температурах.

Так как газ при высоком давлении может также давать непрерывный спектр, Аббот из Астрофизической обсерватории Смитсонианского института предположил в 1911 г., что фотосфера не обязательно должна включать в себя твердые или жидкие составляющие, а может быть целиком газовой. Постепенно увеличивающаяся непрозрачность атмосферы, обусловленная рассеянием света, может создать впечатление резкой границы. Однако казалось, что резкость границ фраунгоферовых линий в солнечном спектре противоречит этой теории.

Фаулер отметил, что «Переход газа из состояния, в котором он дает непрерывный спектр, в состояние, в котором он дает резкие линии (как те, что возникают в отражающем слое), должен быть постепенным, и вместо резких линий следовало бы ожидать появления линий гораздо более сложного строения».

Глава 7-6-2

Теория строения атмосферы Солнца

В это время Шустер и К. Шварцшильд уже разработали теорию строения атмосферы и происхождения абсорбционного спектра, которая более сходна с современными представлениями. Эта теория, однако, не была принята всеми, потому что их исследования базировались на многих допущениях, которые тогда не могли быть достаточно обоснованы теоретически. В двух

своих работах (1902 и 1905 гг.) Шустер выдвинул предположение, что во внешних слоях звезды излучение, приходящее из внутренних областей, частично поглощается атомами и затем изотропно переизлучается в тех же самых длинах волн (процесс рассеяния), а частично поглощается атомами и затем переизлучается во всех длинах волн в соответствии с законом Планка (процесс чистого поглощения). В принципе два этих процесса можно различить, наблюдая излучение на краю и в центре диска. На краю диска луч зрения проходит через большую толщину газа, находящегося при сравнительно низкой температуре, поэтому линии поглощения должны исчезать. В случае чистого рассеяния процесс всюду происходит одинаково, независимо от расстояния до центра диска; следовательно, линии поглощения, образующиеся в результате действия этого механизма, должны быть одинаковы на краю и в центре диска. В действительности происходят оба процесса.

В 1906 году Шварцшильд ввел концепцию лучистого равновесия звездной атмосферы: энергия, которая переносится в атмосфере идущими вверх и вниз потоками (конвекцией), пренебрежимо мала по сравнению с энергией, которая переносится излучением. Он совсем не рассматривал облачную фотосферу, но показал, что плотность атмосферы уменьшается настолько быстро при перемещении к наружным слоям, что край диска Солнца должен представляться очень резким. Он также получил для солнечной атмосферы такие значения плотности и температуры, при которых существование облачной фотосферы крайне маловероятно.

В 1924 г. в обширном обзоре, касающемся строения фотосферы и обращаящего слоя, Рессел и американский астроном Стюарт писали:

«Результаты... полностью согласуются со следующей моделью солнечной атмосферы. Снаружи находится глубокий слой — хромосфера, в которой газы поддерживаются давлением излучения, действующим на отдельные атомы. Давление и плотность в слое медленно увеличиваются с глубиной (так как гравитация несколько перевешивает давление излучения) и может составлять 0,0001 мм рт. ст.

Ниже этого уровня преобладающую роль играет гравитация, и давление быстро растет с глубиной; температура остается почти постоянной и примерно равна 5000° до тех пор, пока газы остаются прозрачными. Это обращающий слой.

Когда давление достигает 0,01 атмосферы, из-за общего поглощения газ становится непрозрачным и температура в соответствии с теорией лучистого равновесия. Наблюдаемая эффективная температура фотосферы представляет собой среднюю величину для слоев, от которых приходит излучение.

Спектроскопически верхняя хромосфера должна быть ответственна за яркие линии, видимые на краю диска с небольшими инструментами, и за темные центральные ядра водородных и кальциевых линий в обычном спектре. Спектр вспышки, вероятно, возникает как в нижней хромосфере, так и в верхней части обращающего слоя.

Сильные фраунгоферовы линии должны возникать главным образом в верхних частях обращающего слоя, а нижняя и более плотная его часть ответственна за образование крыльев сильных линий, за слабые линии... и за полосы в спектрах пятен и диска. Все эти рассуждения находятся в великолепном согласии с наблюдениями и в большей своей части не являются новыми».

Вскоре, однако, астрономы признали, что упрощенное представление перехода между совершенно непрозрачными внутренними слоями звезды и прозрачным обращающим слоем в виде резкой границы — фотосферы не способно удовлетворительно объяснить все наблюдаемые свойства профилей линий поглощения. Требовалось найти более точное приближение, в котором была бы отброшена концепция фотосферы и введена мера поглощения непрерывного излучения по всей звездной атмосфере.

Особенно большую роль в решении теоретических проблем, касающихся образования линий поглощения, сыграли работы английского астрофизика-теоретика Эддингтона, который внес большой вклад, в развитие теоретической астрофизики, чем любой другой астроном, работавший в первой половине XX века.

Глава 7-6-3

Карл Шварцшильд

Карл Шварцшильд (нем. Karl Schwarzschild; 9 октября 1873 г., Франкфурт-на-Майне — 11 мая 1916 г., Потсдам) — немецкий астроном и физик, директор Астрофизической обсерватории в Потсдаме (1909 — 1914 гг.), академик Прусской академии наук (1912 г.).

Отец германо-американского астрофизика Мартина Шварцшильда.



Карл Шварцшильд

Шварцшильд, одна из ключевых фигур начального этапа развития теоретической астрофизики, отличался

широтой научных интересов — оставил заметный след в фотографической фотометрии, теории звёздных атмосфер, общей теории относительности и старой квантовой механике. Его именем названо открытое им первое и до сих пор наиболее важное точное решение уравнений Эйнштейна, предсказывающее существование чёрных дыр — решение Шварцшильда.

Родился во Франкфурте-на-Майне в еврейской семье, был старшим из шести детей. Карл был первым в семье, проявившим интерес к естественным наукам. Посещал еврейскую начальную школу, затем Государственную гимназию им. Лессинга во Франкфурте, с этого времени проявлял интерес к астрономии, собирал карманные деньги для покупки линз и сооружения телескопа. Уже в возрасте 16 лет, будучи гимназистом, Шварцшильд опубликовал две небольшие статьи об определении орбит планет и двойных звёзд. Получив аттестат зрелости с отличием, в 1891 — 1893 годах изучал астрономию в Страсбургском университете.

В 1893 году Карл перешёл в Мюнхенский университет и окончил его в 1896 году с большим отличием (*summa cum laude*), получив учёную степень доктора (тема диссертации: «К теории Пуанкаре фигур равновесия во вращающихся однородных жидких массах», научный руководитель — Хуго фон Зеелигер).

С октября 1896 года Шварцшильд работал два года ассистентом в обсерватории Куффнера в Вене. Там он занимался фотометрией звёзд, разработал формулу определения времени выдержки для астрономической фотометрии и обнаружил явление невазимозаместимости в фотографии, позже названное его именем (эффект Шварцшильда).

В 1899 году вернулся в Мюнхенский университет, где получил должность приват-доцента, защитив диссертацию об измерениях блеска звёзд.

В 1900 году, задолго до появления общей теории относительности, Шварцшильд исследовал возможность того, что пространство является неевклидовым, получив нижнее ограничение на радиус кривизны пространства 4 млн а.е. для случая эллиптической геометрии и 100 млн а.е. — для гиперболической геометрии.

В это время он также исследовал движение пылевых частиц в хвостах комет под действием лучевого давления и вывел из наблюдений размеры этих частиц.

В 1901 году Шварцшильд стал экстраординарным (через год, в возрасте 28 лет — ординарным, то есть полным) профессором в Гёттингенском университете и одновременно директором обсерватории. Там он работал с Давидом Гильбертом и Германом Минковским.

11 июня 1909 года был избран в Королевское астрономическое общество (Лондон). Во время работы в Гёттингене Шварцшильд занимался электродинамикой и геометрической оптикой, выполнил большой обзор фотографических звёздных величин и установил различие между фотографическими и визуальными звёздными величинами, изучал перенос излучения в звёздах и фотосфере Солнца и в 1906 году ввёл понятие лучистого равновесия, фундаментальное для моделирования звёздных атмосфер. Участвовал в экспедиции в Алжир для наблюдения полного солнечного затмения 30 августа 1905 года.

В конце 1909 года Карл Шварцшильд стал директором Астрофизической обсерватории в Потсдаме, а в 1912 году был избран членом Прусской академии наук. В этот период он интересовался спектрометрией, исследовал фотографии кометы Галлея, полученные во время её возвращения в 1910 году. Летом 1910 года совершил поездку в США, посетив несколько американских обсерваторий. В 1914 году Шварцшильд пытался (безуспешно) обнаружить предсказанное теорией относительности гравитационное красное смещение в солнечных спектрах.

В начале Первой мировой войны (1914 год) пошёл добровольцем в немецкую армию, несмотря на то, что его возраст превышал 40 лет; служил сначала в Намюре (Бельгия) на военной метеорологической станции, затем, получив чин лейтенанта, был переведён в штаб дивизии дальнобойной артиллерии, дислоцированной сперва во Франции, а позже в России. Был награждён Железным крестом.

18 ноября 1915 года Шварцшильд, будучи в отпуске, присутствовал на лекции Эйнштейна перед Прусской академией наук в Берлине, на которой Эйнштейн

представлял свою статью, объясняющую смещение перигелия Меркурия с помощью общей теории относительности.

На восточном фронте заболел аутоиммунной болезнью пузырчаткой, в то время неизлечимой. Во фронтовом госпитале в России Шварцшильд написал две статьи по общей теории относительности и фундаментальную работу по квантовой теории Бора — Зоммерфельда, содержащую теорию эффекта Штарка для атома водорода. В марте 1916 года Шварцшильд был комиссован по болезни, вернулся в Германию и через два месяца умер.

Глава 7-6-4

Основные научные труды Карла Шварцшильда

Широта охвата тем физики, математики и астрономии в его работах привела к тому, что Артур Стэнли Эддингтон (1882 – 1944 гг.) сравнивал Шварцшильда с Пуанкаре, только более практической направленности. Сам Шварцшильд в своей вступительной речи в Берлинскую академию наук (1913 г.) объяснял это так:

«Математика, физика, химия, астрономия двигаются единым фронтом. Кто отстаёт — того подтягивают. Кто опережает — помогает остальным. Теснейшая солидарность существует между астрономией и всем кругом точных наук. ... С этой точки зрения я могу полагать удачей то, что мои интересы никогда не ограничивались тем, что дальше Луны, но следовали нитям, тянувшимся отсюда к нашему, подлунному знанию; я часто бывал неверен небесам. Это тяга к универсальности, которая была непреднамеренно усилена моим учителем Зеелигером, а затем расцвела благодаря Феликсу Клейну и всему научному кругу Гёттингена. Там популярен девиз, согласно которому математика, физика и астрономия составляют единое знание, которое, подобно греческой культуре, должно восприниматься как идеальное целое».

К основным достижениям Шварцшильда в практической астрономии относят работы по основам точной фотографической фотометрии, начатые в Гёттингене и продолженные затем в Потсдаме. Он разработал технику точной оценки блеска звезд по фотографиям и на практике определил закон связи почернения на фотопластинке со временем экспозиции и блеском звезды (закон Шварцшильда). Так как фотопластинки и глаз отличаются по чувствительности к различным длинам волн электромагнитного спектра, то визуальную и фотографическую шкалы блеска звёзд необходимо связать между собой, установив некое общее начало — нуль-пункт. Разность между визуальной и фотографической звёздной величиной может служить оценкой температуры звезды — и благодаря этому ещё в 1899 году Шварцшильд обнаружил колебания эффективной температуры цефеид.

В Потсдаме в 1910 — 1912 годах он составил точный каталог фотографических звездных величин 3500 звезд ярче 7.5^m со склонениями в пределах от 0° до $+20^\circ$ (так называемая «Гёттингенская актинометрия»), который вместе с визуальными каталогами послужил основой важных статистических исследований по оценке температур звёзд и расстояний до них.

Изучение статистики собственных движений звёзд, толчком к которому послужила теория двух потоков Я. Каптейна, в 1907 году привело Шварцшильда к формулировке альтернативного закона эллипсоидального распределения скоростей звезд в Галактике, затем подтверждённого в рамках теории вращения Галактики.

В 1910 — 1912 годах Шварцшильд разработал и решил в общем виде интегральные уравнения звездной статистики, связывающие абсолютные и видимые характеристики звезд с их пространственной плотностью.

В 1906 году Шварцшильд ввёл в теорию звёздных атмосфер концепцию лучистого равновесия, по которой перенос энергии в атмосфере осуществляется излучением, а конвективный перенос и теплопроводность пренебрежимо малы. На основе закона Вина он создал математическую теорию лучистого равновесия и разработал соответствующую модель строения звездной

атмосферы, которая и сейчас лежит во основе неконвективных моделей звёздных оболочек.

Ряд работ Шварцшильда посвящён теории равновесия малых частиц в поле излучения звёзд и приложению этой теории к кометным хвостам, теории аббераций оптических инструментов, вариационному принципу в электродинамике электрона, теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия, а его последняя работа посвящена теории эффекта Штарка для атома водорода в рамках боровской старой квантовой механики — в ней Шварцшильд впервые ввёл переменные «действие — угол», важные в теории консервативных гамильтоновых систем.

Его работы по теории относительности содержали первые точные решения полевых уравнений общей теории относительности со сферической симметрией — так называемое внутреннее решение Шварцшильда для невращающегося шарообразного тела из однородной жидкости и внешнее решение Шварцшильда для статического пустого пространства вокруг сферически симметричного тела (второе сейчас именуют обычно просто решением Шварцшильда). Решение Шварцшильда было первым точным решением уравнений Эйнштейна с классической чёрной дырой, поэтому несколько терминов из физики чёрных дыр получили его имя, например, радиус Шварцшильда и метрика Шварцшильда.

Известно, что первой реакцией Эйнштейна на работу Шварцшильда было неверие: Эйнштейн полагал, что найти точное внешнее решение для такой сложной системы уравнений невозможно. Только проверив все выкладки самостоятельно, Эйнштейн убедился, что задача действительно решена. Кроме этого, на основании своего точного решения Шварцшильд вывел предсказываемую общей теорией относительности величину эффекта смещения перигелия орбиты Меркурия и отклонения света, подтвердив значения, найденные Эйнштейном ранее на основании приближённого решения уравнений.

На заседании Берлинской академии наук, посвящённом памяти Шварцшильда, Эйнштейн оценил эти его работы следующим образом:

В теоретических работах Шварцшильда особенно поражают уверенное владение математическими методами исследования и та легкость, с которой он постигает существо астрономической или физической проблемы. Редко встречаются столь глубокие математические познания в сочетании со здравым смыслом и такой гибкостью мышления, как у него. Именно эти дарования позволили ему выполнить важные теоретические работы в тех областях, которые отпугивали других исследователей математическими трудностями. Побудительной причиной его неиссякаемого творчества, по-видимому, в гораздо большей степени можно считать радость художника, открывающего тонкую связь математических понятий, чем стремление к познанию скрытых зависимостей в природе».

Признание и память

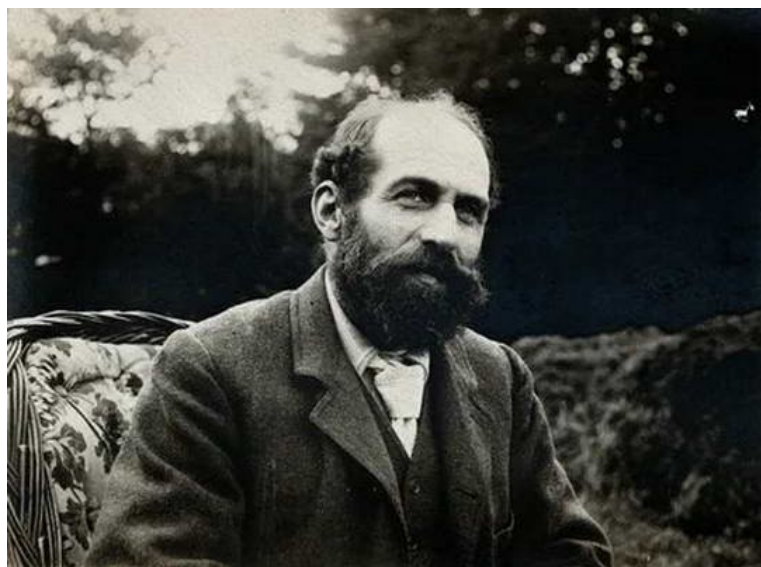
В честь Карла Шварцшильда были названы:
в 1960 году обсерватория в городе Таутенбурге в 10 км от Йены;
открытый в 1916 году астероид (837) Шварцшильда;
кратер на Луне;
открытое им точное решение уравнений Эйнштейна и его характеристики и обобщения — метрика и пространство-время Шварцшильда, радиус Шварцшильда, координаты Шварцшильда;
экспонента и эффект Шварцшильда в фотометрии;
интегральное уравнение Шварцшильда — Милна в теории переноса излучения;
эллипсоидальное распределение Шварцшильда звёздных скоростей;
критерий Шварцшильда конвективной неустойчивости звёздных атмосфер.
С 1959 года ежегодно присуждает медаль Карла Шварцшильда, первым лауреатом стал его сын Мартин.

Глава 7-6-5

Сэр Франц Артур Фридрих Шустер

Сэр Франц Артур Фридрих Шустер (нем. Franz Arthur Friedrich Schuster; 1851—1934) — английский физик.

Член Лондонского королевского общества (1879), вице-президент в 1919—1920, 1922—1924 гг.



Сэр Франц Артур Фридрих Шустер

Артур Шустер родился 12 сентября 1851 года во Франкфурте-на-Майне, в еврейской семье. В 1875 году стал британским подданным и в том же году был назначен руководителем экспедиции в Сиам для изучения затмения солнца.

Продолжал учёбу в Манчестерском университете. В 1876—1881 гг. работал в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета, в 1881—1907 гг. — профессор университета.

Работы по оптике, спектроскопии, изучению прохождения тока через газы, земному магнетизму, калориметрии, радиометрии, сейсмологии.

В 1882 году Артур Шустер поехал наблюдать солнечное затмение в Египет и получил первую фотографию спектра солнечной короны. Доказал, что проводимость газа обусловлена его ионами. Пришёл к выводу, что катодные лучи возникают в результате бомбардировки ускоренными вблизи катода в сильном поле ионами газа. Первый показал, что отношение заряда к массе можно определить по отклонению катодных лучей в магнитном поле (1884).

В 1890 году определил верхний и нижний пределы для отношения заряда к массе частиц катодных лучей. В 1897 году первый предположил существование электрона в атоме. В 1900 году А. Шустер выполнил первые систематические исследования процессов в искре. Построил магнитометр (магнитометр Шустера — Смита).

В 1893 году учёный был награждён Королевской медалью Лондонского королевского общества.

Сэр Артур Шустер умер 17 октября 1934 года в Беркшире.

В честь Шустера назван кратер на Луне.

Глава 7-6-6

Структура звёздной атмосферы. Современные представления

Самая глубокая и холодная часть звёздной атмосферы, которую может видеть внешний наблюдатель, называется фотосферой]. Фотосфера излучает световые волны во всей области видимого непрерывного спектра. Температура этой области растёт с глубиной и для звёзд типа Солнца лежит в пределах от 4500 до 6500 К. Именно в фотосфере появляются так называемые звёздные пятна — холодные области прорыва магнитного поля.

Над фотосферой находится область хромосферы, — тонкий слой звёздной атмосферы (у Солнца он составляет всего лишь около 10000 км, что даже меньше, чем

диаметр Земли), который пронзают нитевидные потоки раскалённого газа — спикулы.

Температура хромосферы поначалу плавно изменяется, увеличиваясь с удалением от границы с фотосферой, а затем в небольшой, переходной области, размером не более 100 км, скачкообразно повышается до температуры в 10 раз больше температуры фотосферы.

Корона — верхняя часть звёздной атмосферы, состоящая из раскалённой плазмы, является наиболее горячей и разрежённой. Её температура достигает нескольких миллионов градусов. Так, температура солнечной короны достигает 2 млн Кельвинов. Столь высокое значение корональной температуры остаётся одной из нерешённых проблем современной астрофизики. Ответ на этот вопрос кроется в магнитных полях, но точный механизм остаётся неясным.

В то время, как наличие переходных областей и корон характерно для всех звёзд главной последовательности, другие типы звёзд могут не иметь подобных областей. Так, похоже, что только некоторые звёзды-гиганты и небольшое число сверхгигантов обладают коронами.

Атмосфера Солнца, как самой близкой к Земле звезды, в настоящее время изучена наиболее глубоко[. Во время полных солнечных затмений, скрывающих её фотосферу от глаз земного наблюдателя, на небольшое время можно увидеть тонкое розоватое кольцо] солнечной хромосферы и впечатляющее гало солнечной короны. Аналогично можно наблюдать хромосферы других звёзд в затменно-переменных системах, когда один компонент затмевает другой.

Глава 7-6-7

Анализ звездных спектров

Успехи в теории звездных атмосфер стали возможны благодаря бурному развитию атомной теории, в частности, появлению в 1913 году теории, разработанной датским физиком Нильсом Бором. Появление в спектре резких спектральных линий объясняла гипотеза

немецкого физика Макса Планка (1900 год), согласно которой энергия излучается или поглощается неделимыми порциями, квантами.

В модели атома Эрнста Резерфорда (1911 год) маленькое, относительно массивное и положительно заряженное ядро с отрицательно заряженными электронами, вращающимися вокруг него по круговым или эллиптическим орбитам.

В модели Бора электроны могут двигаться только по определенным орбитам, каждая из которых характеризуется определенной энергией. В невозмущенном атоме все электроны обладают минимальным запасом энергии. Если поглощается энергия, соответствующая разности энергий двух уровней (в виде энергии излучения или кинетической энергии столкновения), электрон может «перепрыгнуть» на более высокий уровень (в этом случае говорят, что атом «возбужден»). После интервала, который в среднем составляет 10^{-8} сек, испустив то же самое количество энергии (или сразу, или несколькими порциями, если первоначальный прыжок произошел не между двумя соседними уровнями), атом возвращается в первоначальное состояние. Если электрон получит энергию, достаточную для преодоления силы притяжения ядра, электрон может совсем покинуть атом, и последний тогда становится ионизованным. Теория Бора была огромным вкладом в науку, давшим новый толчок изучению звездных атмосфер в различных аспектах.

Глава 7-6-8

Теория возбуждения и ионизации

Наиболее важным приложением теории Бора к астрофизике явилась работа Саха, сделанная в период 1920—1921 гг. Он считал, что состояния возбуждения и ионизации в звездных атмосферах являются функциями температуры и давления в атмосфере. (Согласно сообщению Б. Стремгрена, Бор в неопубликованном исследовании тоже занимался этой проблемой.)

Вначале Саха рассмотрел спектр Солнца:

«А priori не существует причин, по которым на Солнце предпочтение отдавалось бы одним элементам в ущерб другим. Напротив, естественно считать, что Солнце состоит из тех же самых элементов, что и Земля, и содержит все 92 элемента, известные химикам на Земле... Точка зрения, которая отстаивается в настоящей статье, состоит в том, что различные элементы представлены во фраунгоферовом спектре по-разному из-за того, что они по-разному реагируют на условия возбуждения, существующие на Солнце. Условия возбуждения в солнечной атмосфере одни и те же для всех элементов, а именно, температура там составляет примерно 7500°K , но благодаря различному строению атомов, элементы в разной степени будут реагировать на воздействие этих условий».

В процессе развития этой теории, особенно в ее применении к интерпретации спектра солнечной хромосферы, Саха обнаружил также, «...что давление оказывает очень большое влияние на степень ионизации; это трудно было заранее предвидеть». В газе ионизованные атомы и освобожденные электроны движутся хаотически, поэтому свободный электрон случайно может приблизиться к ионизованному атому и будет захвачен им. По прошествии достаточного интервала времени между числом актов ионизации и актов захвата установится равновесие, которое будет сильно зависеть от давления газа. При низком давлении расстояния между отдельными частицами велики. Следовательно, низкое давление будет благоприятствовать ионизации, а высокое давление — замедлять, ее.

Различия в спектрах звезд с весьма разной светимостью (обнаруженные Мори и Герцшпрунгом) и критерии оценки абсолютных звездных величин (разработанные Адамсом и Кольпюттером), таким образом, в основном определяются различиями в плотности. Другие активные факторы, такие, как турбулентность, были открыты позднее. Давление в атмосферах сверхгигантов и гигантов большой светимости гораздо меньше, чем в атмосферах звезд

главной последовательности, и следовательно, здесь достигается большая степень ионизации. Линии ионизованных элементов усилены, в то время как интенсивность линий нейтральных элементов (а также элементов, находящихся на низших стадиях ионизации) ослаблена.

Во многих отношениях работа Саха по ионизации базировалась на фундаменте, заложенном Локьером, который обнаружил различие между искровым и дуговым спектрами элементов, однако личная непопулярность Локьера среди многих ведущих американских ученых, вероятно, препятствовала тому, чтобы многие его творческие идеи принесли те плоды, которые они, несомненно, обещали дать. Интересно также отметить, что Саха сначала представил свою статью, содержащую изложение его теорий, в американский *Astrophysical Journal*, но редактор отклонил ее. В конце концов его теория была опубликована в *Philosophical Magazine*; следующий редактор *Astrophysical Journal* нашел рукопись Саха в ящике, куда складывались отвергнутые статьи. Наряду со многими ничего не стоящими статьями там были работы некоторых других астрономов, которые впоследствии приобрели мировую известность.

Глава 7-6-9

Спектральная последовательность

Саха применил свою теорию для объяснения спектральной последовательности. Он подвел теоретическую базу под идеи, которые интуитивно выдвигались предыдущими исследователями.

После пионерской работы Саха исследование звездных спектров пошло по нескольким линиям. Начался быстрый прогресс в отождествлении спектральных линий. Были исследованы многие факторы, вызывающие различия в контурах линий поглощения.

Большинство теоретических работ, стимулированных теорией Саха об ионизации и возбуждении атомов в звездных атмосферах, было выполнено в 20-х и 30-х годах нашего столетия; это работы Фаулера и Милна в

Великобритании, Рассела в Соединенных Штатах и Унзольда в Германии. Но почти все наблюдательные данные, на которых основывалась эта теория, содержались в Гарвардских каталогах звездных спектров. Стало ясно, что назрела необходимость более тесно связать теоретические исследования с наблюдениями. Это сделала Пейн (впоследствии Пейн-Гапошкина), ученица Милна, которая приехала в Гарвард и там написала свою знаменитую книгу «Звездные атмосферы», за которую ей была присуждена степень доктора философии Радклиффского колледжа. Это, несомненно, самая блестящая докторская диссертация, когда-либо написанная по астрономии. Она была опубликована в самое удачное время и содержала много важной информации, послужившей стимулом для развития новых исследований. Дальнейшая работа в этом направлении привела к появлению в 1930 г. книги того же автора под названием «Звезды высокой светимости».

Глава 7-6-10

Мегнад Саха

Мегнад Саха (6 октября 1893 — 16 февраля 1956) — индийский физик и астрофизик.

Родился в Шеоратали близ Дакки (ныне Бангладеш), в 1915 окончил Калькуттский университет. В 1916—1921 — преподаватель, в 1921—1923 и 1938—1955 — профессор Калькуттского университета. В 1923—1938 — профессор Аллахабадского университета. Основатель Института ядерной физики в Калькутте[англ.] (1943), впоследствии названного в его честь, и его почетный директор. Член Лондонского королевского общества (1927).



Мегнад Саха

Основные труды в области термодинамики, статистической физики, астрофизики, теории распространения радиоволн, ядерной физики. Теория ионизации атомов, разработанная им в 1920—1921, стала одной из фундаментальных основ современной астрофизики. Согласно этой теории, степень ионизации и степень возбуждения атомов в звездных атмосферах являются функцией температуры и давления в них (уравнение Саха). Во многих отношениях его работы по ионизации базировались на фундаменте, заложенном Дж. Н. Локьером, который обнаружил различие между искровым и дуговым спектрами элементов. Саха применил свою теорию для истолкования спектральной последовательности. Интенсивность спектральных линий

стала теперь количественно вычислимой величиной, определяемой физическим состоянием звездных атмосфер. Вслед за Саха его теорию успешно применили для изучения химического состава атмосфер звезд и физических условий в них А. Фаулер, Э. А. Милн, Г. Н. Рассел, С. Х. Пейн-Гапошкина, Д. Г. Мензел и другие исследователи. Ряд его работ посвящён интерпретации спектра солнечной хромосферы, изучению механизмов радиоизлучения Солнца, построению физической теории солнечной короны. Большое внимание уделял разработке проектов новых астрономических учреждений в Индии, созданию национального общеиндийского календаря.

В его честь назван кратер Саха на Луне.

Глава 7-6-11

Сесилия Пейн-Гапошкина



Сесилия Хелена Пейн-Гапошкина

Сесилия Хелена Пейн-Гапошкина (англ. Cecilia Helena Payne-Gaposchkin; 10 мая 1900, Уэндовер, Англия — 7 декабря 1979, Кембридж, Массачусетс, США) — американский астроном. Член Американского философского общества (1936).

Родилась в Уэндовере (Англия), дочь историка Э. Дж. Пэйна, сестра археолога Хэмфри Пэйна. В 1923 году окончила Кембриджский университет, в том же году переехала в США (в Британии было больше преград для женщин в науке) и с тех пор работала в Гарвардском университете в Гарвардской обсерватории. В 1931 году получила гражданство США. Первая женщина, получившая звание профессора и возглавившая кафедру в Гарвардском университете (1956).

Основные труды в области физики звёзд. В книге «Звёздные атмосферы» (1925) впервые рассмотрела физические условия в атмосферах звёзд путём сопоставления наблюдаемых интенсивностей линий в спектрах звёзд разных спектральных классов с интенсивностями, рассчитанными для разных температур на основе теории ионизации и возбуждения атомов, которая незадолго перед этим была разработана М. Саха, А. Фаулером, Э. А. Милном и др. Построила первую шкалу температур, определила химический состав звёздных атмосфер; пришла к выводу, что относительное содержание элементов у большинства звёзд одинаково и не отличается от наблюдаемого на Солнце (ранее считалось, что они состоят преимущественно из железа, она доказала, что их состав — водород и гелий).

В 1934 году вышла замуж за русского эмигранта С. И. Гапошкина. Многие научные работы они выполняли вдвоём. В браке у них было трое детей — Эдвард, Кэтрин и Питер.

Начиная с 1930-х годов, основное место в её работах занимают исследования переменных звёзд, которые она проводила совместно с мужем. Гапошкины организовали в Гарвардской обсерватории изучение переменных по пластинкам гарвардской коллекции, систематизировали этот обширный материал и использовали его для нахождения закономерностей между различными характеристиками переменных многих типов; подробно исследовали все переменные звёзды ярче 10-й звёздной

величины, открыли много новых переменных. В течение длительного времени изучали переменные звёзды в Магеллановых Облаках, выполнили более 2 миллионов определений их блеска по гарвардским пластинкам, обнаружили отличия в распределении цефеид по периодам в разных частях Облаков. Пейн-Гапошкина провела сравнение переменных в галактических шаровых скоплениях, Магеллановых Облаках и галактике Андромеды для пересмотра шкалы абсолютных величин и определения поправки к шкале расстояний. Многочисленные работы Пейн-Гапошкиной по изучению переменных подытожены ею в книгах «Переменные звёзды» (совместно с Гапошкиным, 1938), «Переменные звёзды и строение Галактики» (1954), «Галактические новые» (1957).

В честь Пейн-Гапошкиной назван открытый в 1974 году астероид 2039 Пейн-Гапошкин[англ.].

Глава 7-6-12

Григорий Абрамович Шайн

Григорий Абрамович Шайн (7 [19] апреля 1892, Одесса, Российская империя[1] — 4 августа 1956, Москва, РСФСР, СССР — советский астроном, педагог, академик АН СССР (1939). Лауреат Сталинской премии первой степени (1950).

Родился 7 (19 апреля) 1892 года в Одессе в семье столяра. В возрасте 18 лет опубликовал в «Известиях русского астрономического общества» свою первую научную работу «Определение радианта Персеид». Учился в Юрьевском университете, закончил обучение в Пермском и являлся его штатным преподавателем до 1920 года. С июля 1919 года штат Пермского университета был в эвакуации в Томске, Г. А. Шайн работал в Томском университете. В 1921—1925 годах — в Пулковской обсерватории, в 1925—1945 годах — в её Симеизском отделении, где под его руководством был установлен телескоп-рефлектор с метровым зеркалом.



с. Григорий Абрамович Шайн

С 1944 года руководил организацией КраО и был её директором с 1945 до 1952 года, затем был заведующим отделом физики звёзд и туманностей этой обсерватории.

Унаследовал глубокий интерес к физике Солнца от своего учителя, профессора, астронома К. Д. Покровского, чьим ассистентом был в пермскую пору своей деятельности. При участии Шайна в начале тридцатых годов в СССР создавалась государственная служба Солнца. В июне 1936 года Шайну, участвовавшему в экспедиции по наблюдению солнечного затмения в Сибири, удалось получить необычайно хорошие спектрограммы солнечной короны. Благодаря этим новым данным учёный впервые сделал важный вывод о высокой кинематической температуре короны.

Жена — Пелагея Фёдоровна Шайн, приёмная дочь — Вера Фёдоровна Ключихина, племянница жены, ставшая впоследствии женой астрофизика В. А. Амбарцумяна.

Научная деятельность

Умер 4 августа 1956 года в Москве, похоронен в посёлке Голубой Залив (Крым).

Научные достижения

Основные работы посвящены астрофизике, в частности — звёздной спектроскопии и физике газовых туманностей. Совместно с В. А. Альбицким определил лучевые скорости около 800 звёзд и составил каталог, считавшийся одним из лучших в этой области.

Совместно с О. Л. Струве предложил в 1929 году метод определения скоростей осевого вращения звёзд, показал, что звёзды ранних спектральных классов вращаются в десятки раз быстрее, чем Солнце, указал на значение этого факта для теории звёздной эволюции.

Исследовал содержание изотопов углерода в звёздах спектральных классов N и R и нашёл, что содержание ^{13}C в исследованных им звёздах различно и всего лишь в 2—3 раза ниже, чем содержание ^{12}C , тогда как на Земле оно примерно в 100 раз ниже.

Открыл около 150 новых туманностей, обнаружил особый класс туманностей, у которых значительная часть материи сосредоточена на периферии, и класс очень вытянутых туманностей волокнистой структуры, которые были интерпретированы как результат расширения, происходящего под контролем магнитного поля Галактики. Исследования Шайна показали, что звёзды и туманности образуются в едином процессе, причём существуют системы туманностей, которые должны распадаться за астрономически короткое время (порядка миллионов лет).

В 1952 году опубликовал совместно с В. Ф. Газе «Атлас диффузных газовых туманностей», получивший мировую известность. Исследовал двойные звёзды, малые планеты, солнечную корону и другие объекты. Открыл новую долгопериодическую комету C/1925 F1 (Шайна — Комаса Сола) и несколько десятков спектрально-двойных звезд, переоткрыл комету 16P/Брукса 2.

Награды, премии, звания

Член Лондонского королевского астрономического общества.

Почётный доктор Копенгагенского университета.

Почётный член Американской академии наук и искусств.

Сталинская премия первой степени (1950) — за спектральные исследования звёздных атмосфер, завершившиеся открытием в них аномального содержания тяжёлого изотопа углерода, изложенные в серии статей, опубликованных в журналах «Известия Крымской астрофизической обсерватории» и «Доклады Академии наук СССР» (1948—1949).

Два ордена Ленина (в том числе 10.06.1945)

Память

Именем Шайна названа малая планета (1648 Shajna), открытая П. Ф. Шайн 5 сентября 1935 года в Симеизской обсерватории.

В его честь назван лунный кратер Шайн.

Созданный по его инициативе 2,6-м телескоп-рефлектор, установленный в Крымской астрофизической обсерватории в 1961 году, носит его имя (ЗТШ — «зеркальный телескоп Шайна»). Он оснащён электронными автоматическими устройствами, которые облегчают работу астрономов. С помощью этого телескопа были сфотографированы автоматические станции «Марс-1» и «Луна-4».

Глава 7-6-13

Отто Людвигович Струве

Отто Людвигович Струве (12 августа 1897, Харьков, Российская империя — 6 апреля 1963, Беркли, Калифорния, США) — американский астроном, один из крупнейших астрофизиков XX века. Директор Йеркской обсерватории в 1932—1947 годах.

Член Национальной академии наук США (1937)[4], Лондонского королевского общества (1954)[5].

Президент Американского астрономического общества в 1946—1949 годах. Президент Международного астрономического союза (1952—1955), главный редактор журнала «Astrophysical Journal» (1932-47).



Отто Людвигович Струве

Отец Отто Струве принадлежал к династии астрономов из рода Струве, мать принадлежала к знаменитому роду математиков Бернулли.

Отец — астроном Людвиг Оттович Струве.

Дядя — астроном Герман Оттович Струве.

Дед — астроном Отто Васильевич Струве.

Прадед — астроном, основатель и первый директор Пулковской обсерватории Василий Яковлевич Струве (дед политического деятеля и философа Петра Бернгардовича Струве).

Отто Струве в 1909 году поступил в Третью Харьковскую императорскую гимназию и окончил её с золотой медалью. В 1915 году поступил на первый курс физико-математического факультета Харьковского университета. Его отец, известный астроном Людвиг Струве почти 25 лет возглавлял Харьковскую обсерваторию.

В 1916 году Отто Струве вынужден был прервать своё обучение в университете и по совету отца, не дожидаясь мобилизационной повестки, 1 июня 1916 года поступил на ускоренный курс обучения в Михайловское артиллерийское училище в Петрограде. 15 февраля 1917 года вместе со своим выпуском произведён в прапорщики, со старшинством с 1 ноября 1916 года, с зачислением по полевой лёгкой артиллерии. Отправлен на Турецкий (Кавказский) фронт, куда прибыл 1 марта 1917 года. Зачислен во 2-ю батарею 123-го артиллерийского дивизиона. 20 мая 1917 года перезачислен во 2-ю бригаду этой же части. За боевые заслуги произведён в подпоручики и назначен 15 июня 1917 года командиром отдельного взвода артиллерийской батареи, а 10 ноября 1917 года досрочно произведён в подпрапорщики. В марте 1918 года с подписанием большевиками Брест-Литовского мира демобилизован и возвратился в Харьков.

В Харькове Струве вернулся к прерванному обучению. Он сдал экзамены за полный курс обучения, получил диплом 1-й степени и предложение остаться в университете для подготовки к профессорскому званию. С 26 июня 1919 года состоит преподавателем школы-мастерской точной механики при физико-математическом факультете Харьковского университета.

С приходом в июне 1919 года в Харьков отрядов Добровольческой армии генерала Антона Деникина офицер-артиллерист Струве вступил в её ряды. Позже в своих воспоминаниях, опубликованных в 1959 году, он назовёт этот поступок наибольшим актом самопожертвования в своей жизни.

Отто Струве был эвакуирован из Крыма в составе частей Русской армии в ноябре 1920 года. Осенью 1921 года Отто Людвигович приехал в Нью-Йорк. Работал ассистентом в Йеркской обсерватории, одновременно

учился и в 1923 году получил докторскую степень в Чикагском университете.

В 1927 году стал гражданином США.

С 1932 до 1947 года — профессор астрофизики Чикагского университета.

С 1932 по 1947 год занимал пост главного редактора журнала «Astrophysical Journal» и был одним из его авторов.

С 1932 по 1947 год — директор Йеркской обсерватории. Впоследствии, после проведения кропотливой работы по планировке и строительству обсерватории Макдональд, возглавил и этот научный центр (1939—1947).

В 1944 году награждён Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества, став четвёртым на протяжении 118 лет представителем своей династии, получившим эту награду. Активно поддерживал научные контакты с советскими астрономами.

В 1947 году возглавил астрономическое отделение Калифорнийского университета в Беркли, в 1950—1959 гг. руководил Лейшнеровской обсерваторией при этом университете. Был первым директором Национальной радиоастрономической обсерватории США в Грин-Бэнке.

Вице-президент (в 1948—1952) и президент (в 1952—1955) Международного астрономического союза, член многочисленных зарубежных астрономических обществ и академий наук.

Скончался от цирроза печени (последствия гепатита) в общественном госпитале Алта Бэйтс города Беркли 6 апреля 1963 года, на 66-м году жизни. 8 апреля 1963 года останки О. Л. Струве были кремированы.

Глава 7-6-14

Научная карьера Отто Струве

Основные научные работы Струве относятся к звёздной спектроскопии. На протяжении многих лет учёный занимался изучением спектрально-двойных звёзд. Наиболее известны его работы по звёздам β Лиры, 27 и 29

Большого Пса, ϵ Возничего, VV Цефея, звёздам типов W Большой Медведицы и β Большого Пса. Струве нашёл эмпирическую зависимость «период вращения звезды — амплитуда лучевой скорости», что позволило оценить среднее значение суммы масс этих звезд и получить критерий их отличия от короткопериодических цефеид. В 1929 году совместно с Г. А. Шайном разработал метод определения скорости осевого вращения звезд, нашёл скорости вращения большого количества звёзд. Показал, что у быстро вращающихся звёзд происходит истечение вещества из экваториальных областей, что приводит к образованию оболочек и колец. Совместно с К. Т. Элви установил существование систематической зависимости между спектральным типом звезды и скоростью осевого вращения.

Одним из первых исследовал диффузное вещество в Галактике. Анализируя межзвёздные линии ионизованного кальция, в 1929 году совместно с Б. П. Герасимовичем оценил плотность межзвёздного вещества и установил, что оно принимает участие во вращении Галактики и составляет 1 % полной массы звёзд в единице объёма.

Совместно с К. Т. Элви в 1937—1938 годах разработал и впервые построил в обсерватории Макдональд небулярный спектрограф. С его помощью обнаружил водород в межзвёздном пространстве, сфотографировав слабые межзвёздные эмиссионные линии Бальмера в областях, концентрирующихся к плоскости Млечного Пути.

Совместно с Э. Фростом и С. Д. Барреттом определил параметры движения Солнца среди звёзд по лучевым скоростям 368 В-звёзд.

Подготовил вместе с Маргерит Хак четырёхтомную серию сборников «Звёздная спектроскопия», изданную Хак уже после его смерти. Совместно с Григорием Шайном разработал метод определения скорости осевого вращения звёзд, нашёл скорости вращения большого числа звёзд. В 1952 году Струве выдвинул идею обнаружения экзопланет с помощью доплеровской регистрации колебаний звезды под действием притяжения экзопланет. Метод получил название доплеровской спектроскопии. Методика Струве позволила

Александру Вольщану и Дейлу Фрейлу в 1992 году достоверно обнаружить первую в истории экзопланету.

Награды, премии, звания

1944 — награждён Золотой медалью Лондонского королевского общества. Эта награда стала четвёртой медалью династии астрономов Струве: Вильгельм Яков (прадед) получил награду в 1826 году, Отто Вильгельм (дед) — в 1850 году, Карл Герман (дядя) — в 1903 году. Награду Струве в 1944 году не смог получить, поскольку не присутствовал на заседании из-за военных действий. Золотая медаль была передана профессором Е. А. Милном Кэботу Ковиллу, первому секретарю посольства США для дальнейшей передачи награждённому.

1948, 12 марта — Золотая медаль им. Кэтрин Брюс Тихоокеанского астрономического общества.

1949 — Орден Короны — награда королевского дома Бельгии

1950, апрель — медаль им. Г. Дрэйпера Национальной АН США

1952 — Мессенджеровские лекции

1954, 23 апреля — медаль им. Д. Риттенхауза

1954 — премия им. П. Ж. С. Жансена Французского астрономического общества[24]

1955 — медаль им. П. Ж. С. Жансена Парижской Академии наук

1957 — лекция Генри Норриса Рассела Американского астрономического общества

Память

Кратер на обратной стороне Луны в 1964 году назван в честь О. Л. Струве.

Малая планета (астероид 2227) получила название «Otto Struve».

Действующему телескопу обсерватории Мак-Доналд в 1966 году присвоено имя Отто Струве.

Глава 7-6-15

Вращение звезд

После появления новой теории, объясняющей основные наблюдательные данные, обычно обнаруживаются некоторые факты, казавшиеся до этого второстепенными, которые остаются вне сферы действия этой теории. Так, после объяснения основных свойств звездных спектров и отождествления многих линий поглощения некоторые астрономы обратились к изучению индивидуальных различий в интенсивностях линий и особенно формы (контуров) линий поглощения, которые не объяснялись теорией Саха.

В то время как большинство линий поглощения в солнечном спектре являются узкими, в звездных спектрах часто встречаются широкие размытые линии. Например, линии водорода в горячих звездах, особенно у звезд класса А, часто имеют ширину в несколько сотен ангстрем; линии ионизованного кальция H и K крайне сильны и широки у звезд промежуточных и поздних спектральных классов (также и у Солнца), а у многих звезд классов О, В, А и F линии железа, титана, гелия, кремния и других элементов размыты.

Было установлено много причин уширения спектральных линий. Пока рассмотрим лишь один фактор — вращения звезд; его открытие привело также к важным следствиям для развития космогонических теорий.

Факт вращения звезд был обнаружен в 1909 г. сотрудником Йельского университета Шлезингером при исследовании спектров двух затменных двойных звезд: б Весов и Я Тельца, у которых измеренные лучевые скорости показали положительный избыток по сравнению с ожидаемыми значениями скоростей перед самой полной фазой затмения, в то время как после полной фазы обнаруживалось отрицательное отклонение. Открытие Шлезингера оставалось почти неизвестным вплоть до 1924 г., когда в Мичиганском университете Росситер детально исследовал спектр затменной двойной звезды р Лиры, а Мак-Лафлин — спектр Алголя. В 1919 г. Адамс и Джой при исследовании короткопериодической

спектрально-двойной и одновременно затменной переменной звезды W Большой Медведицы обнаружили, что:

«...необычный характер спектральных линий обусловлен отчасти быстрыми изменениями скорости в течение даже наиболее коротких из примененных нами экспозиций, но главным образом эффектом вращения каждой звезды, который может привести к разности лучевых скоростей между двумя лимбами порядка 240 км/сек».

В конце 20-х годов нашего столетия Шайн в Советском Союзе и Струве в США (их сотрудничество осуществлялось путем переписки) обратили внимание на то, что звезды похожих спектральных классов и светимостей часто имеют заметно отличающиеся спектры: у некоторых звезд спектральные линии широкие и размытые, в то время как у других эти же самые линии столь же резки и узки, как в фраунгоферовом спектре Солнца. Они исследовали расширение и уменьшение глубины линий — обоих эффектов, являющихся следствием вращения, и применили статистический метод к изучению спектрально-двойных звезд. Они пришли к заключению, что «быстрое вращение короткопериодических спектрально-двойных звезд несомненно можно считать доказанным».

Однако существовала возможность, что такое быстрое вращение характерно только для двойных звезд, поскольку приливные силы стремятся синхронизировать скорости вращения и обращения.

Элви применил метод Шайна и Струве к изучению одиночных звезд и обнаружил, что в действительности существует множество звезд, имеющих экваториальные скорости вращения порядка нескольких километров в секунду.

Корреляция скорости вращения со спектральным классом была обнаружена Струве и Элви в 1931 году. Звезды O, B, A и ранние F часто имеют большие скорости вращения, в то время как у поздних F-звезд и у звезд поздних спектральных классов быстрое вращение наблюдается только у тесных спектрально-двойных. Было обнаружено также, что ни гиганты, ни сверхгиганты не имеют больших скоростей вращения.

Комментарий

Айна Эльвиус (швед. Aina Margareta Elvius, урождённая Эрикссон, Eriksson; 26 июня 1917 — 23 мая 2019) — шведский астроном, занималась поляризацией света в галактиках, а также от активных галактических ядер. Член Шведской королевской академии наук (1975). Один из самых известных астрономов Швеции[3]. Будучи профессором Стокгольмского университета на рубеже 1980-х, стала первой женщиной-профессором астрономии в Швеции.

В 1956 году в Стокгольмском университетском колледже (ныне Стокгольмский университет) защитила докторскую диссертацию по спиральным галактикам. Работала в Стокгольме и Упсале, много раз посещала США. В 1979—1981 гг. профессор кафедры астрономии Стокгольмского университета. Подписала «Предупреждение учёных человечеству» (1992)[4]. Супруг — Торд Эльвиус[швед.] (с 1940, ум. 1992), также шведский астроном и член Шведской королевской академии наук.

Автор многих работ.

Глава 7-6-16

Внутреннее строение звезд

Первым, кто во всеоружии высшей математики, используя новейшие достижения физики, попытался проникнуть в область звездных недр, был выдающийся английский астрофизик и физик-теоретик Артур Стэнли Эддингтон (1882—1944). В 1916—1918 гг. он развил первую, учитывающую «новую физику XX века», теорию внутреннего строения звезд. Основой ее стала термодинамическая теория лучистого равновесия, успешно примененная в 1906 г. к звездным атмосферам К. Шварцшильдом, а также экспериментальное открытие П. Н. Лебедевым светового давления на газы (1908).

Руководящими для Эддингтона стали и два гениальных умозрительных заключения Джинса — о близости вещества в звездных недрах к состоянию идеального газа и о внутриатомной природе источников звездной энергии. Полагая, что ни один элемент не преобладает в звезде, Эддингтон оценил главный физический параметр такого «электронно-ядерного» газа — средний атомный вес его частиц — как близкий к 2. В дальнейшем выяснилось, что в подавляющем большинстве звезд в сильной степени преобладает водород. Так что указанный параметр для них почти равен 0,5.

Опираясь на эти представления, Эддингтон распространил теорию лучистого равновесия на внутренние части звезды. Он сделал вывод о существенной роли в звездных недрах светового давления, которое, наряду с обычным газовым давлением, должно уравнивать тяготение вещества звезды. На этих основаниях Эддингтон построил первую математическую теорию равновесной газовой излучающей звезды. Он сделал важный вывод (1924) о существовании определенной связи между массой, температурой и светимостью звезды. Эта связь блестяще подтвердилась для звезд «главной последовательности» (термин Эддингтона) на диаграмме Герцшпрунга — Рассела. Таким образом, получил объяснение тот загадочный факт, что по своим массам звезды различаются самое большее в тысячи раз, тогда как по светимостям «сверхгиганты» превосходят «карликов» в миллиарды раз! Эддингтон рассчитал диаметры звезд — красных гигантов (более 1 млрд. км), подтвердившиеся в дальнейшем интерферометрическими измерениями. Для спутника Сириуса, «белого карлика», он впервые дал количественную оценку гигантской плотности таких звезд (у Сириуса В — около 50 кг/см³). В 1918—1919 гг. Эддингтон построил первую теорию цефеид — физических переменных звезд, которые стали вскоре «маяками Вселенной».

Глава 7-6-17

Эволюция звезд

Работы Эддингтона о внутреннем строении звезд сыграли существенную роль в развитии представлений и об их эволюции. Так, он пришел к важному в космогоническом отношении заключению о том, что физическое состояние различных звезд зависит прежде всего от их массы. Лишь в случае массивных звезд-гигантов мощное лучевое давление в их недрах почти уравнивает силу тяжести, и небесное тело «сверхкритической» массы перестает быть устойчивым («эддингтоновский предел»). Это объясняло, почему не встречаются звезды сколь угодно большой массы.

Развивая эволюционную теорию Рессела, Эддингтон, на основе представлений о внутриатомном характере источников звездной энергии, высказал убеждение, что подобные источники могут «включаться» лишь по достижении в недрах звезды весьма высокой «критической» температуры (по его оценке, в 32 млн. градусов), которая в дальнейшем автоматически поддерживается. Идея критической температуры оказалась верной и счастливым образом близкой (даже в количественном отношении) к современным оценкам внутризвездных температур, обеспечивающих основные ядерные реакции в звездных недрах.

Прочно вошло в астрономическую картину мира и представление о равновесной длительно и устойчиво излучающей газовой звезде как основном элементе мироздания. Эддингтон развил также теорию образования линий поглощения в спектрах звезд, а в 1926 г. окончательно показал, что узкие стационарные линии ионизованного кальция в спектрах некоторых горячих звезд-гигантов принадлежат не звезде, а межзвездным облакам диффузной материи. Особой научной заслугой Эддингтона является его первое в истории науки наблюдательное подтверждение общей теории относительности Эйнштейна во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г. Значительное внимание Эддингтон уделял проблеме эволюции

Вселенной в целом. Он одним из первых поддержал идею конечного времени расширения Вселенной.

Глава 7-6-18

Артур Стэнли Эддингтон

Артур Стэнли Эддингтон (англ. sir Arthur Stanley Eddington; 28 декабря 1882, Кендал, Уэстморленд (ныне Камбрия), Великобритания — 22 ноября 1944, Кембридж, Великобритания) — английский астрофизик.

Член Лондонского королевского общества (1914 г.), иностранный член-корреспондент Российской академии наук (1923 г.), иностранный член Национальной академии наук США (1925 г.).



Артур Стэнли Эддингтон

Артур Стэнли Эддингтон родился 28 декабря 1882 года в Кендале.

В 1906—1913 гг. работал в Гринвичской обсерватории.

С 1913 года — профессор Кембриджского университета. С 1914 — директор астрономической обсерватории в Кембридже.

Его учениками были С. Чандрасекар, С. Х. Пейн-Гапошкина.

В 1919 год совместно с Фрэнком Дайсоном организовал две экспедиции для наблюдения солнечного затмения 29 мая 1919 года в город Собрал в Бразилии и на португальский остров Принсипи в Африке (сам Эддингтон наблюдал затмение на Принсипи), результаты которых подтвердили предсказание общей теории относительности Эйнштейна об отклонении света в поле тяготения Солнца.

В 1921 — 1923 годах — президент Королевского астрономического общества.

В 1924 году создал теорию белых карликов.

В 1930 — 1932 годах Артур Эддингтон являлся президентом Лондонского общества физиков.

В 1938 году Эддингтон был избран президентом Международного астрономического союза.

С 1920-х вплоть до своей смерти, он всё больше сосредотачивается на том, что он называл «фундаментальной теорией», предназначенной для объединения квантовой теории, теории относительности, космологии и гравитации. Сначала он двигался «традиционным» путём, но затем стал всё чаще обращаться к почти нумерологическому анализу безразмерных отношений фундаментальных констант.

Его основным подходом было объединить несколько фундаментальных констант с целью получения безразмерной величины. Во многих случаях это может привести к числам, близким к 10^{40} . Он был убеждён, что масса протона и заряд электрона являются естественной и полной спецификацией для построения Вселенной и что их значения не случайны. Один из первооткрывателей квантовой механики Поль Дирак также следовал в этом направлении, что стало известно как Гипотеза больших чисел Дирака и некоторые учёные даже сегодня считают, что такой подход имеет под собой основания.

Разрушительные для его имиджа заявления, сделанные им в защиту этих концепций, были связаны с постоянной тонкой структуры (α). В то время её измерения давали результат, очень близкий к $1/136$, и Эддингтон утверждал, что значение на самом деле должно быть точно $1/136$, исходя из эпистемологических причин. Более поздние измерения дали значение гораздо ближе к $1/137$, после чего он сменил логику своих рассуждений, утверждая, что единица должна быть добавлена к степеням свободы, так что значение должно быть точно $1/137$, «число Эддингтона». Шутники в то время начали называть его «Артур Добавь-один» (Артур Эддингван). Такое изменение мнения снизило авторитет Эддингтона в физическом сообществе. Текущее значение постоянной тонкой структуры оценивается в $1/137,035\,999\,074(44)$.

Эддингтон считал, что нашёл алгебраическую основу фундаментальной физики, которую он назвал «Е-числа» (составляющие определённую группу — алгебру Клиффорда). Они, по сути, включали пространство-время в структуру большей размерности. Хотя его теория давно рассматривается физическим сообществом как несостоятельная, похожие алгебраические понятия легли в основу многих современных попыток теории великого объединения. Более того, значения фундаментальных констант и, в частности, безразмерные величины, получаемые из них, которым Эддингтон уделял особое внимание, в настоящее время являются одной из центральных проблем физики.

Эта линия его исследований осталась незавершённой из-за смерти Эддингтона в 1944 году. Его труд под названием «Фундаментальная теория» остался незаконченным и был опубликован только посмертно в 1946 году.

Научная деятельность

Эддингтон был одним из первых учёных, кто, оценив важность специальной и общей теории относительности (ОТО), начал интересоваться ими и публиковать статьи по этой теме. В 1916 году Эддингтон прочитал лекцию о теории на съезде Британской ассоциации, а в 1918 году сделал доклад для Физического общества.

В 1919 году Эддингтон возглавил экспедицию на остров Принсипи в Западной Африке. Целью этой экспедиции было наблюдение отклонений лучей света во время солнечного затмения 29 мая 1919 года и подтверждения, таким образом, эффектов, описанных ОТО. В марте 1919 года Эддингтон отплыл на корабле из Англии, а в середине мая установил оборудование для наблюдения на острове Принсипи. Затмение ожидалось 29 мая 1919 года в 14 часов, однако наблюдения затрудняли утренний шторм и сильный дождь. Эддингтон писал:

«... Дождь окончился около полудня и примерно в 1:30 мы увидели Солнце. Мы приготовили наши фотоаппараты, надеясь на случай. Я не видел самого затмения, будучи очень занят меняя фотопластинки, кроме одного взгляда, чтобы удостовериться, что оно началось, и полу-взгляда, чтобы оценить количество облаков. Мы получили 16 снимков, на которых Солнце получилось со всеми деталями, но облака закрывали звёзды. На последних нескольких снимках было несколько изображений звёзд, которые дали нам то, что нам было нужно...

Эддингтон остался на острове с целью проявить снимки и измерить отклонения положения звёзд. Качество снимков из-за облаков было низким, в результате чего измерения проходили с трудом. 3 июня 1919 года Эддингтон написал в своей записной книжке: «на одной пластинке измерения дали результат, предсказанный Эйнштейном». Некоторые исследователи утверждают, что результаты Эддингтона страдают от систематических ошибок, а неопределённости при измерении настолько велики, что не позволяют сделать какое-либо определённое заключение, хотя современный повторный анализ данных подтверждает правоту Эддингтона.

В 1920 году в статье «Внутреннее строение звёзд» Эддингтон впервые сформулировал гипотезу о том, что источником энергии звёзд являются термоядерные реакции с превращением водорода в гелий.

В 1924 году Эддингтон показал, что сингулярность Шварцшильда — не физическое явление, а математический артефакт, связанный с системой

координат. Эддингтон нашёл другую систему координат, при которой сингулярность Шварцшильда исчезает.

Награды и премии

член Лондонского королевского общества (1914 г.)

премия Жюль Жансена (1928 г.)

Королевская медаль (1928 г.)

медаль Кэтрин Брюс (1924 г.)

медаль Генри Дрейпера (1924 г.)

Бейкеровская лекция (1926 г.)

Мессенджеровские лекции (1933 г.)

В 1930 году Артур Эддингтон был посвящён в рыцари за научные заслуги.

Комментарии

Предел Эддингтона (эддингтоновский предел) — величина мощности электромагнитного излучения, исходящего из недр звезды, при которой его давления достаточно для компенсации веса оболочек звезды, которые окружают зону термоядерных реакций, то есть звезда находится в состоянии равновесия: не сжимается и не расширяется. При превышении предела Эддингтона звезда начинает испускать сильный звёздный ветер.

Критическая (эддингтоновская) светимость — максимальная светимость звезды или другого небесного тела, определяющаяся условием равновесия гравитационных сил и давления излучения объекта.

Публикации

Эддингтон А. С. Звёзды и атомы. — М.-Л.: Госиздат, 1928. — 152 с.

Эддингтон А. С. Математическая теория относительности. — Х.-К.: ГНТИ Украины, 1933. — 359 с.

Эддингтон А. С. Пространство, время и тяготение. — Одесса: Матезис, 1923. — 216 с.

Эддингтон А. С. Теория относительности. — М.-Л.: ГТТИ, 1934. — 508 с.

Эддингтон А. С. Теория относительности и её влияние на научную мысль. — Одесса: Матезис, 1923. — 56 с.

Часть 7-7

Спектральные классификации

- (том-часть-глава) 7-7-1. Анджело Секи
Спектральная классификация Анджело Секи
Глава 7-7-2. Первые теории эволюции звезд
Глава 7-7-3. Артур Шустер
Глава 7-7-4. Сэр Уильям Хёггинс
Глава 7-7-5. Теория звездной эволюции Нормана Локьера
Глава 7-7-6. Джозеф Норман Локьер
Глава 7-7-7. Гарвардская спектральная классификация звезд
Глава 7-7-8. Каталог Генри Дрейпера
Глава 7-7-9. Антония Каэтана Мори
Глава 7-7-10. Энни Джамп Кэннон
Глава 7-7-11. Вильямина Флеминг
Глава 7-7-12. Обнаружение различий в светимости
Объяснение Эйнара Герцшпрунга
Глава 7-7-13. Объяснение Генри Рассела
Глава 7-7-14. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела
Глава 7-7-15. Эйнар Герцшпрунг
Глава 7-7-16. Генри Норрис Рассел
Глава 7-7-17. Спектральные параллаксы
Глава 7-7-18. Уолтер Сидни Адамс
Глава 7-7-19. Система классификации МК
Глава 7-7-20. Уильям Уилсон Морган
Глава 7-7-21. Филип Чайлдс Кинан
Глава 7-7-22. Количественные методы спектральной классификации Даниеля Шалонжа,
Глава 7-7-23. Даниель Шалонж
Глава 7-7-24. Количественные методы спектральной классификации Бенгта Стремгрена
Глава 7-7-25. Бенгт Стремгрен

Глава 7-7-1

Анджело Секи Спектральная классификация Анджело Секи

Анджело Пьетро Секки (29 июня 1818 — 26 февраля 1878 гг.) — итальянский священник и астроном.

С 1833 года был членом ордена иезуитов. С 1839 года преподавал физику и математику в иезуитском колледже в Лорето, в 1844 году вернулся в Рим. Когда в 1848 году иезуиты были изгнаны из Рима, Секки отправился вначале в Англию, где преподавал в колледже Стоунихерст, а затем в США, где некоторое время был преподавателем в Джорджтаунском университете. Благодаря своей репутации астронома в 1849 году он смог вернуться в Рим, где занял пост профессора астрономии и директора обсерватории Римского колледжа.



Анджело Пьетро Секи

По его инициативе была построена новая обсерватория, в которой велись исследования звёздной спектроскопии, метеорологии и земного магнетизма.

Секки был также директором обсерватории Папского Григорианского университета. Член Парижской Академии

наук, иностранный член-корреспондент Петербургской Академии наук.

Среди астрономов Секки получил неофициальный титул «отца астрофизики». Он изучал звёздные спектры и первым выдвинул идею классификации звёзд по их спектрам. Первым в истории экспериментально доказал, что Солнце является звездой.

В 1860 — 1870-х годах пионер звёздной спектроскопии Анджело Секки создал первую классификацию звёздных спектров. В 1866 году он разбил наблюдаемые спектры звёзд на три класса в порядке убывания температуры поверхности звезды и соответствующего изменения цвета. В 1868 году Секки открыл углеродные звёзды, которые выделил в отдельную четвёртую группу. А в 1877 году он добавил пятый класс.

Класс I — белые и голубые звёзды с широкими линиями поглощения водорода в спектре, такие, как Вега и Альтаир; включает в себя современные класс A и начало класса F.

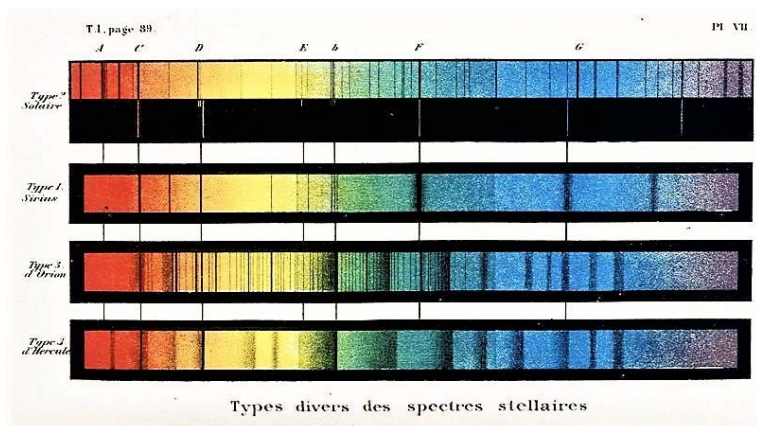
Класс I, подтип Ориона — звёзды класса I с узкими линиями в спектре вместо широких полос, такие, как Ригель и γ Ориона; соответствует началу современного класса B.

Класс II — жёлтые и оранжевые звёзды со слабыми линиями водорода, но с отчётливыми линиями металлов, такие, как Солнце, Арктур и Капелла; включает в себя современные классы G и K, а также конец класса F.

Класс III — оранжевые и красные звёзды, в спектре которых линии образуют полосы, темнеющие в сторону синего, такие, как Бетельгейзе и Антарес; соответствует современному классу M.

Класс IV — красные звёзды с сильными полосами и линиями углерода, углеродные звёзды.

Класс V — звёзды с эмиссионными линиями (светлыми), такие, как γ Кассиопеи и β Лир.



Спектральные классы Анджело Сакки

Позднее Эдуард Пикеринг изменил определение класса V, разделив его на горячие звёзды с эмиссионными линиями гелия, углерода и азота (звёзды Вольфа — Райе) и планетарные туманности.

Предложенное Секки деление спектров было общепринятым вплоть до конца 1890-х годов, когда постепенно к середине XX века было заменено Гарвардской классификацией.

Глава 7-7-2

Первые теории эволюции звезд

После того, как Секки составил свою классификацию звездных спектров, стало понятно, что звезды отличаются друг от друга. Хотя некоторые ведущие астрономы начала столетия все еще доказывали, подобно английскому астроному Маундеру, что «...спектральный тип указывает главным образом не на этап в жизни звезды, а скорее на фундаментальное различие в химическом составе», Агнесс Кларк пришла к заключению: «...методы классификации звезд стали эквивалентны теориям их эволюции».

При попытках связать спектральную классификацию со звездной эволюцией встали два вопроса:

Каковы те факторы, которые вызывают наблюдаемые различия в звездных спектрах?

Проходит ли каждая звезда на разных стадиях своего развития через все известные типы спектральной последовательности?

До разработки атомной теории и теории излучения астрономы могли выдвигать многочисленные предположения о возможных причинах спектральных различий, но не могли представить решающих доказательств в пользу своих теорий. Как удачно заметил Адамс:

«мы едва ли могли надеяться понять поведение вещества в удаленных звездах, когда нам еще не был известен механизм, посредством которого пламя свечи дает свет».

Таким образом, можно было предполагать, что различия в спектрах являются результатом или реальных различий в химическом составе звездных атмосфер, или изменений физических условий в них.

Наиболее известные в начале XX века теории эволюции звезд были основаны на предположениях Гельмгольца и Кельвина, по которым в процессе эволюции звезды в ее спектре обнаруживаются признаки последовательных спектральных типов.

Так были построены теории А. Шустера и У. Хеггинса, в которых они попытались обосновать, каким образом возникают реальные различия в составе атмосфер.

Основные принципы их теорий были изложены Джорджем Хэйлом в статье [Hale G. E., Reply to Recent Statements by M. Deslandres, *Astrophys. J.*, 23 (1906)]:

«Описывая процесс конденсации, Шустер указывает, что расширение, обусловленное повышающейся температурой газовых тел, должно проявляться в выделении гелия, водорода и других легких газов, если полагать, что сила тяжести недостаточна, чтобы удерживать их. Таким образом, эти легкие газы покинут звезды и превратятся в диффузные туманности...

С течением времени, однако, звезда достаточно сконденсируется и сможет удержать водород и гелий, и эти газы тогда начнут диффундировать во внутренние области, где они будут поглощаться со скоростью, которая зависит от массы звезды. Сначала будет поглощен гелий, который плотнее водорода, и это приведет к возникновению гелиевых звезд типа Ориона.

По мере того как этот газ диффундирует внутрь, его место начнет занимать водород, который, таким образом, станет преобладать в спектре. В свою очередь водород будет диффундировать в глубь звезды, и увеличивающиеся конвективные потоки будут вызывать все более и более сильное перемешивание паров металлов в нижележащих слоях, которые будут, следовательно, играть все более заметную роль в спектре. Так будет достигнута стадия, на которой находится Солнце».

Глава 7-7-3

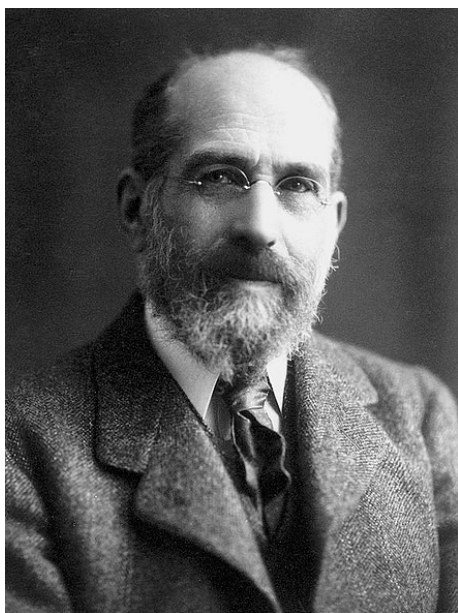
Артур Шустер

Сэр Франц Артур Фридрих Шустер (нем. Franz Arthur Friedrich Schuster; 1851 — 1934 гг.) — английский физик.

Член Лондонского королевского общества (1879 г.), вице-президент в 1919 — 1920, 1922 — 1924 гг.

Известна его теория эволюции звезд, поясняющая, каким образом возникают реальные различия в составе звездных атмосфер.

Артур Шустер родился 12 сентября 1851 года во Франкфурте-на-Майне, в еврейской семье. В 1875 году стал британским подданным и в том же году был назначен руководителем экспедиции в Сиам для изучения затмения Солнца.



Сэр Франц Артур Фридрих Шустер

Вернувшись в Англию Шустер продолжил обучение в Манчестерском университете. В 1876 — 1881 годах он работал в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета, а в 1881 — 1907 годах стал профессором.

Артур Шустер известен своими работами по оптике, спектроскопии, изучению прохождения тока через газы, земному магнетизму, калориметрии, радиометрии, сейсмологии.

В 1882 году Артур Шустер поехал наблюдать солнечное затмение в Египет и получил первую фотографию спектра солнечной короны высокого качества. Особый интерес на снимках Шустера вызвала яркая комета, которая была замечена лишь потому, что фотография была сделана во время затмения. А после его окончания вновь стала невидимой.

Тщательно изучив фотографии Шустера, Хеггинс пришел к выводу, что солнечная корона может быть сфотографирована и вне солнечного затмения.

Шустеру принадлежит доказательство того, что проводимость газа обусловлена его ионами. Пришёл к выводу, что катодные лучи возникают в результате бомбардировки ускоренными вблизи катода в сильном поле ионами газа. Первый показал, что отношение заряда к массе можно определить по отклонению катодных лучей в магнитном поле (1884 г.).

В 1890 году определил верхний и нижний пределы для отношения заряда к массе частиц катодных лучей. В 1897 году первый предположил существование электрона в атоме. В 1900 году А. Шустер выполнил первые систематические исследования процессов в искре. Построил магнитометр (магнитометр Шустера — Смита).

В 1893 году учёный был награждён Королевской медалью Лондонского королевского общества.

В честь Шустера назван кратер на Луне.

Глава 7-7-4

Сэр Уильям Хеггинс

Сэр Уильям Хёггинс (7 февраля 1824 — 12 мая 1910 гг.) — английский астроном, член Лондонского королевского общества (1865 г.), его президент в 1900-1905 годах. Иностраннный член-корреспондент Петербургской АН (1901 год).

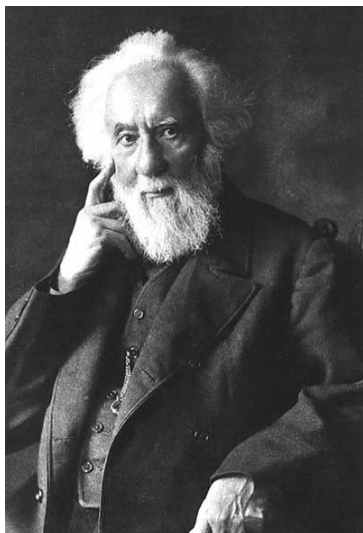
Родился в Лондоне. Образование получил под руководством частных преподавателей. В 1842 — 1854 годах вел торговые дела своей семьи. В 1854 году переехал в Талс-Хилл (вблизи Лондона), где в 1856 году оборудовал собственную обсерваторию. Здесь работал до конца жизни.

Один из пионеров астроспектроскопии. Начал регулярные занятия астрономией с наблюдений планет (1858 — 1860 годах). Хёггинс одним из первых оценил значение открытого Г. Р. Кирхгофом и Р. В. Бунзеном метода спектрального анализа для изучения небесных тел.

Он сконструировал спектроскоп и начал наблюдения звездных спектров на 8-дюймовом телескопе. После обширных наблюдений лабораторных и звездных спектров показал в 1863 году, что яркие звезды имеют

сходное с Солнцем строение и что их наблюдаемое излучение испускается горячим веществом и проходит через вышележащие слои поглощающих газов.

В 1863 году Уильям Хаггинс и английский химик Уильям Аллен Миллер использовали процесс влажной коллодиевой пластинки для получения первые в истории фотографические спектрограммы Сириуса и Капеллы.



Сэр Уильям Хёггинс

В 1864 году Хаггинс записал спектры NGC 6543 (туманность Кошачий глаз), яркой планетарной туманности в созвездии Дракона. Однако вместо серии спектральных линий он обнаружил только одну яркую линию излучения. Он пришел к выводу, что это произошло из-за газа, доказав тем самым, что некоторые «туманности» на самом деле являются газообразными и не состоят из отдельных звезд.

В 1864 году впервые наблюдал спектры светящихся туманностей, состоящие из отдельных эмиссионных линий, и доказал, что эти туманности являются газовыми. Выполнил первые спектроскопические наблюдения новой

звезды — Новой Северной Короны 1866 — и обнаружил существование светящейся газовой оболочки вокруг нее.

Наблюдал спектры трех комет и показал, что они содержат полосы, принадлежащие углероду и его соединениям CN и CH₂). Одним из первых использовал принцип Доплера-Физо для определения лучевых скоростей звезд по сдвигу линий поглощения в их спектрах. В 1868 году измерил лучевую скорость Сириуса. Начиная с 1875 года, занимался фотографированием спектров звезд, планет, Луны; усовершенствовал методику астрофотографии.

Глава 7-7-5

Теория звездной эволюции Нормана Локьера

Еще в 1865 году Иоганн Целльнер предположил, что на различные этапы охлаждения звезд может указывать их цвет. Так что белые, желтые и красные звезды находятся на разных стадиях своего развития. В дальнейшем подобные эволюционные идеи высказывались многими, хотя и с различной трактовкой направления эволюции звезды.

В 1887 году Джозеф Норман Локьер (1836 — 1920 гг.) предложил первую классификацию звёздных спектров, в которой подчеркивалось зависимость характера спектра звезды от температуры её атмосферы. Используя ее и опираясь на упомянутые выше расчеты Лэна, Локьер впервые предложил эволюционную гипотезу развития звезд. Он основывался на лабораторных экспериментах, в которых наблюдались различия между дуговым и искровым спектрами одного и того же элемента (в искровом разряде температура выше).

Локьер представлял себе переход от искрового к дуговому спектру как распад известных элементов на протоэлементы. В то время как дуговой спектр железа образуется обычными парами металлического железа, при образовании искрового спектра частицы распадаются на более элементарные «кирпичики». Эти рассуждения в некотором смысле содержат намек на ионизационную

теорию, развитую спустя примерно 30 лет, но слишком мало было тогда известно строении атомов, чтобы можно было подвести какую-нибудь твердую теоретическую базу под эти идеи.

Используя ее и опираясь на упомянутые выше расчеты Лэна, Локьер впервые предложил эволюционную гипотезу развития звезды с восходящей и нисходящей ветвями — от состояния яркой крайне разреженной красной звезды к белой типа Сириуса и к голубым, а затем, по нисходящей — к желтым типа Солнца и, наконец, к состоянию слабого холодного красного карлика с полосчатым спектром. Таким образом, каждая звезда в своем развитии должна была дважды пройти через каждый спектральный класс, за исключением класса горячих голубых звезд, где обе ветви сходились.

В это же время Локьер сформулировал свою метеоритную гипотезу. Вещество, из которого образуются звезды, поставляется метеорными роями, случайные движения которых более похожи на блуждания молекул, чем на движение вещества в газообразном состоянии. Даже несмотря на то, что метеоритная гипотеза была отвергнута, идеи Локьера, касающиеся звездной эволюции, и его система классификации, подчеркивающая роль температуры, заслуживают рассмотрения.

Удачное описание теории Локьера дал Джордж Хейл, известный астроном конца XIX века:

«Начав с метеоритной гипотезы и считая, что химические элементы при температуре, существующей в наиболее горячих звездах разлагаются на более простые составляющие, Локьер разработал схему звездной эволюции, которая включает в себя классификацию звездных спектров по температурному принципу. Он предполагал, что метеоритные рои, играющие роль туманностей, постепенно конденсируются в звезды путем процессов, детали которых пока еще не известны. По его классификации газовые звезды, имеющие в спектре яркие линии, в которых, как предполагается, температура выше, чем в менее сжатых туманностях, продвинулись на шаг дальше последних в своем развитии. Затем идут красные

звезды третьего типа по Секки... При дальнейшем сжатии, сопровождающемся еще большим повышением температуры, возникают звезды, подобные Солнцу, но отличающиеся от него в одном отношении: в то время как их температура увеличивается, предполагается, что у Солнца она уменьшается. Наконец, в точке максимальной температуры Локьер помещает звезды первого-типа по классификации Секки. Здесь метеориты через много времени после того, как они полностью перешли в газообразную форму, достигли такого состояния... при котором подъем поверхностной температуры, обусловленный продолжающимся сжатием, в точности уравнивается потерями вследствие излучения. Начинаясь затем спад ведет к появлению звезд, подобных Солнцу, которые только наугад можно отличить от звезд такой же, но возрастающей температуры, лежащих на противоположной ветви температурной кривой. После звезд солнечного типа появляются красные звезды четвертого типа по классификации Секки, и после этого происходит окончательное угасание.

Эта система классификации, если отвлечься от гипотез, с которыми она связана, хороша тем, что объясняет существование как восходящей, так и нисходящей ветвей температурной кривой. К сожалению, мы, вероятно, все еще не в состоянии уверенно различать звезды с одной и той же поверхностной температурой, в которых прирост тепла происходит быстрее, чем его потеря, от звезд, в которых имеет место обратный процесс».

Гипотеза Локьера, сначала не обратившая на себя внимание астрономов, неожиданно предстала в совершенно ином свете после установления первой фундаментальной зависимости в мире звезд — диаграммы Герцшпрунга-Рессела.

Глава 7-7-6

Джозеф Норман Локьер

Джозеф Норман Локьер (Joseph Norman Lockyer; 17 мая 1836, Рагби, графство Уорикшир — 16 августа 1920,

Солком-Реджис, графство Девон) — английский астроном. Основатель журнала *Nature* и его первый редактор (на протяжении полувека, с 1869 по 1919 гг.).

Образование Джозеф Локьер получил в частных учебных заведениях. С 1857 года служил клерком в военном ведомстве, с 1870 года был секретарём правительственной комиссии по науке, затем работал в отделе науки и искусства в Южном Кенсингтоне. С 1881 года — профессор астрофизики в Королевском колледже; с 1885 года по 1913 год работал директором обсерватории физики Солнца этого колледжа.

С 1913 года работал в частной обсерватории в Сидмуте (впоследствии названной Локьеровской обсерваторией).

Основные работы посвящены спектроскопии Солнца и звёзд. Изучал спектр Солнца, солнечные пятна, хромосферу, протуберанцы и корону. В 1866 году разработал метод наблюдения протуберанцев вне затмения. Этот метод независимо от него открыл также французский астроном П. Жансен; оба учёных в 1868 году обнаружили в спектре солнечной короны жёлтую линию, но Жансен принял её за линию D натрия, а Локьер (благодаря более точным измерениям) обозначил её D3 (поскольку, имея длину волны около 588 нм, она была очень близко расположена к известным тогда фраунгоферовым линиям натрия D1 (589,59 нм) и D2 (588,99 нм). В 1871 году Локьер, сотрудничая с английским химиком Эдуардом Франклендом, предложил дать новому элементу название «гелий».

В 1887 году предложил схему звёздной эволюции, которая, хотя и была основана на ошибочной метеорной гипотезе происхождения и развития звезд и на гипотезе диссоциации атомов, но позволила Локьеру предложить первую классификацию звёздных спектров, в которой подчеркивалось зависимость характера спектра звезды от температуры её атмосферы.

Норман Локьер считается пионером археоастрономии. На рубеже XIX—XX веков он изучил астрономическую ориентацию ряда монументальных сооружений Египта, Ближнего Востока, Греции и Британии и написал книгу «Заря астрономии».



Джозеф Норман Локьер

Член Лондонского королевского общества (с 1869 г.), член-корреспондент Парижской академии наук (с 1873 г.), иностранный член-корреспондент Петербургской академии наук (с 1904 г.). Награждён медалью им. Б. Румфорда (1874 г.); кавалер ордена Бани (1897 г.).

В 1935 году Международный астрономический союз присвоил имя Джозефа Локьера кратеру на видимой стороне Луны.

Его именем назван также кратер (англ. Lockyer (Martian crater)) на Марсе.

Глава 7-7-7

Гарвардская спектральная классификация звезд

В конце XIX и в начале XX века астрономы Гарвардской обсерватории разработали спектральную классификацию звезд. Первую фотографию спектра Веги Генри Дрейпер сделал еще в 1872 году. Однако масштабную работу по

созданию спектроскопического обзора всего неба только в 1885 году организовал директор обсерватории, Эдуард Пикеринг. Использование призмы, помещаемой перед объективом телескопа, дало возможность получать на одной пластинке спектры сотен звезд.

Анализ спектров был поручен Вильямине Флеминг, и в 1890 году появился первый каталог, в котором более 10 тысяч звёзд были разделены на 16 классов. Классы обозначались латинскими буквами от A до Q с пропуском J, причём 13 из них являлись подтипами первых четырёх классов Секки, а классы шли в порядке ослабления линий водорода. Часть этих классов сохранилась и в Гарвардской классификации, хотя от некоторых впоследствии отказались: например, к классу C относились звёзды с двойными линиями, появление которых на самом деле оказалось ошибкой приборов.

Отдельную работу по детальной классификации спектров более ярких звёзд провела Антония Мори. Она разделила их на 22 класса от I до XXII. В её классификации самым ранним классом стал тот, который соответствовал современному классу B, в то время как в предыдущих классификациях таковым считался класс A как имеющий самые сильные линии водорода. Кроме того, в классификации Мори впервые учитывался вид линий: рассматривались линии средней ширины, размытые или узкие. Несмотря на эти нововведения, классификация не получила дальнейшего развития.

Важный вклад в создание спектральной классификации внесла Энни Кэннон. Она доработала алфавитную схему классификации Флеминг: в частности, часть классов была отвергнута, а остальные были расставлены в порядке понижения температуры. Последовательность основных классов приобрела современный вид — O, B, A, F, G, K, M. Кроме того, Кэннон добавила подклассы, и к 1912 году система классификации была завершена. В 1922 году система была принята Международным астрономическим союзом, а к 1924 году был полностью опубликован каталог Генри Дрейпера, в котором классифицировались более 225 тысяч звёзд. Сама система получила название Гарвардской классификации, либо системы Дрейпера.

Говоря о спектральной классификации, американский астроном Кертисс отметил:

«Типы Локьера соответствуют гарвардским классам, пересмотренным Кэннон. Локьер пришел к своей классификации во время поисков температурной последовательности, основанной на изучении лабораторных спектров и спектров солнечной атмосферы. Гарвардские наблюдатели пришли к ней в результате попыток классифицировать спектры, как это делал и Секки, по цвету и различным другим характеристикам, начиная с наиболее простых спектров. Следовательно, можно считать случайностью, что гарвардская классификация оказалась температурной последовательностью, имеющей ценное физическое значение. Если бы это было не так, то сегодня, вероятно, использовалась бы некая разновидность классификации Локьера».

Глава 7-7-8

Каталог Генри Дрейпера

В 1886 — 1889 годах Пикеринг с сотрудниками составил «Дреперовский каталог звездных спектров», содержащий спектры 10351 звезды ярче 8-й величины со склонениями севернее -25° (издан в 1890 г.). В 1897 г. дополнительно был издан каталог южных звезд. Классификация, использованная в этих каталогах, была разработана в Гарвардской обсерватории и применяется до настоящего времени.

Продолжением работ, начатых Пикерингом, явилось создание его сотрудницей Э. Кэннон фундаментального «Каталога Генри Дрейпера» (Henry Draper Catalogue, HD) (1918—1924 гг.), содержащего информацию о спектрах 225 300 ярких звёзд, пронумерованных в простом порядке возрастания их прямых восхождений.

Каталог подготовлен Энни Джамп Кэннон и её коллегами из Гарвардской обсерватории под руководством Эдварда Чарлза Пикеринга в начале XX века. Был издан с 1918 по 1924 год и назван в честь астронома Генри Дрейпера, чья вдова пожертвовала деньги на создание каталога.

Каталог покрывает всё небо и содержит звёзды до 9^m. Позже было опубликовано добавление — Henry Draper Extension (HDE), содержащее данные о более чем 400 тыс. звёзд.

Глава 7-7-9

Антония Каэтана Мори

Антония Каэтана Мори (англ. Antonia Coetana de Paiva Pereira Maury, 1866 — 1952 гг.) — американский астроном, орнитолог и натуралист.



Антония Каэтана Мори

Родилась в Колд-Спринг-он-Хадсон (штат Нью-Йорк) в семье проповедника и натуралиста. В её роду были французские гугеноты, отплывшие в Вирджинию, и португальские аристократы, бежавшие в Бразилию от Наполеоновских войн. Племянница Генри Дрейпера и внучка Джона Уильяма Дрейпера. В 1887 году окончила Вассар-колледж, в 1888 — 1935 годах — сотрудница

Гарвардской обсерватории (сначала — вычислитель, потом — астроном).

Основные труды в области спектральной классификации звёзд и изучения спектрально-двойных звёзд. После обнаружения Э. Ч. Пикерингом первой спектрально-двойной звезды (Мицара) измерила её период. В 1889 году нашла вторую спектрально-двойную (β Возничего) и определила её период; затем открыла и изучила большое число звёзд этого типа. На протяжении очень длительного времени изучала изменения в спектре переменной β Лир.

Выполнила более детальную спектральную классификацию части ярких звёзд «Дрэперовского каталога звёздных спектров», в ходе которой обнаружила различия в ширине линий в спектрах звёзд одного и того же спектрального класса. Для разделения этих звёзд впервые ввела в систему классификации второй параметр — индексы a, b, c для звёзд с диффузными, нормальными и резкими линиями.

Составила каталог 681 яркой звезды северного неба с такой классификацией (1897). Дальнейшее изучение различий, установленных Мори, привело Э. Герцшпрунга в 1905 году к открытию двух типов звёзд — гигантов и карликов, и он их объяснил как проявление различия в светимостях звёзд.

Лауреат премии Энни Кэннон (1943).

Кратер Мори на Луне назван в честь неё и Мэттью Фонтейна Мори.

Глава 7-7-10

Энни Джамп Кэннон

Энни Джамп Кэннон (англ. Annie Jump Cannon; 1863 — 1941 гг.) — американский астроном.

Родилась в Довере (штат Делавэр), в 1884 году окончила Колледж Уэллсли. С 1896 года работала в Гарвардской обсерватории.



Рис. Энни Джамп Кэннон

Основные труды Кэннон связаны с спектральной классификацией звёзд и исследованию переменных звёзд. Продолжила работы по спектральной классификации звёзд, начатые В. Флеминг и А. К. Мори под руководством Э. Ч. Пикеринга в Гарвардской обсерватории. Выполнила классификацию всех звёзд, содержащихся в «Каталоге Генри Дрейпера» (т. 91-99 «Гарвардских анналов»), в «Продолжении каталога Генри Дрейпера», а также звёзд в зонах Йельского каталога и каталога, составлявшегося в обсерватории на мысе Доброй Надежды. Всего Кэннон классифицировала спектры около 350 000 звёзд.

На основе «Каталога Генри Дрейпера» провела совместно с Х. Шепли статистические исследования распределения звёзд по величинам и спектральным классам.

В 1903 и 1907 составила каталоги переменных звёзд. Открыла около 300 переменных и 5 новых звёзд, большую часть из них по их спектральным характеристикам.

Почётный член Лондонского королевского астрономического общества (1914 г.), почётный доктор

многих университетов, первая женщина, получившая степень доктора наук Оксфордского университета (Англия, 1925 г.).

Золотая медаль Генри Дрейпера (1931 г.)

Премия им. Э. Ричардс (1932 г.) Национальной АН США.

В её честь назван кратер на Луне и в 1934 году Американским астрономическим обществом учреждена премия для женщин, внёсших значительный вклад в развитие астрономии.

Глава 7-7-11

Вильямина Флеминг

Вильямина Патон Стивенс Флеминг (англ. Williamina Paton Stevens Fleming; 15 мая 1857 — 21 мая 1911 гг.) — британский астроном. На протяжении всей своей карьеры она участвовала в разработке единой системы обозначения звёзд и каталогизировала тысячи звёзд и других астрономических объектов. Среди последних особо можно отметить открытую ею в 1888 году туманность Конская Голова.

Флеминг родилась в Данди (Шотландия), в семье Роберта Стивенсона и Мэри Уолкер Стивенс. Она училась в государственных школах в Данди и в возрасте 14 лет стала учеником-учителем в школе взаимного обучения. После окончания школы вышла замуж за Джеймса Орра Флеминга (James Orr Fleming), и затем они переехали в США в Бостон, штат Массачусетс, когда ей был 21 год. В то время она была беременна своим сыном Эдвардом. Муж бросил её, и ей пришлось искать работу, чтобы прокормить себя и сына.

Она стала работать служанкой в доме профессора Эдварда Пикеринга. Пикеринг, в это время работавший в обсерватории Гарвардского колледжа, испытал разочарование в помощниках мужского пола, и, по легенде, в сердцах заявил, что его горничная могла бы лучше справиться с их работой.



Вильямина Патон Стивенс Флеминг

В 1881 году Пикеринг нанял Флеминг делать канцелярскую работу в обсерватории. Несмотря на эту скромную должность, она разработала и помогла внедрить систему обозначения звёзд, в которой буква присваивалась по тому признаку, сколько водорода можно было наблюдать в спектре звезды. Звёзды с максимальным содержанием водорода классифицируются как А, затем В, и так далее. Позже, Энни Кэннон улучшила её классификацию, предложив более простую систему на основе температуры звёзд.

Флеминг активно работала над каталогом Генри Дрейпера. За девять лет она каталогизировала более 10 000 звёзд. За время своей работы она обнаружила 59 газообразных туманностей, более 310 переменных звёзд и 10 новых. В 1907 году она опубликовала список из 222 обнаруженных ею переменных звёзд.

В 1888 году г-жа Флеминг открыла Туманность Конская Голова на пластине номер В2312, описав её как яркую туманность (позже известную как IC 434), с «полукруглыми углублениями 5 минут в диаметре в 30 минутах к югу от Дзета Ориона». Брат Эдварда

Пикеринга, Уильям Генри Пикеринг, который взял фотографию, предположил, что это место было тенью от близлежащего облака тёмной пыли. Многие вышедшие впоследствии статьи и книги пытались отрицать приоритет Флеминг и приписывали его Уильяму Пикерингу, потому что составитель первого Индекс-каталога (IC), Джон Дрейер, удалил имя г-жи Флеминг из авторов списка объектов, которые она обнаружила, приписывая всё Пикерингу (что было принято большинством пользователей каталога ввиду того, что Пикеринг был директором обсерватории Гарвардского колледжа). Но, при выпуске второго Индекс-каталога в 1908 году, г-жа Флеминг и другие были известны достаточно, чтобы получить надлежащее признание заслуг в открытии ими последующих объектов, но не для туманности Конская Голова, открытия, сделанного ею ранее.

Флеминг руководила группой молодых женщин, нанятых для проведения вычислений и редактирования публикаций обсерватории. В 1899 году Флеминг была назначена хранителем архива фотопластинок. В 1906 году она стала почётным членом Британского королевского астрономического общества в Лондоне, первой американкой, избранной в него. Вскоре после этого она была избрана почётным членом Колледжа Уэллсли в области астрономии. Незадолго до её смерти, Астрономическое общество Мексики наградило её медалью за открытие новых звезд.

Она опубликовала 2 работы: «Фотографическое исследование переменных звёзд» (A Photographic Study of Variable Stars) (1907 год) и «Спектры и фотографические величины звёзд в стандартном цветах» (Spectra and Photographic Magnitudes of Stars in Standard Regions) (1911 год). Последняя, очень важная работа Флеминг «Звёзды с пекулярными спектрами» была опубликована в 1912 году уже после её смерти.

Умерла в Бостоне в 1911 году от пневмонии.

Кратер Флеминг на Луне назван в её честь (также и в честь Александра Флеминга).

Глава 7-7-12

Обнаружение различий в светимости Объяснение Эйнара Герцшпрунга

Когда создавался дрэперовский каталог, астрономы еще ничего не знали о громадных различиях в светимостях звезд, относящихся к одним и тем же классам.

Хотя Локьер и ввел второе измерение в свою классификацию, его критерии не обнаруживали непосредственной корреляции с каким-либо физическим параметром. Сотрудница Гарвардской обсерватории Мори, работая над частью дрэперовского каталога, обнаружила заметные различия в ширинах спектральных линий и обозначила их буквами а, b и с, соответствующими широким, средним и узким линиям. Мори заметила также, что «некоторые звезды, такие, как а Лебедя и δ Большого Пса, имеют спектры, в которых большинство линий, хотя, по-видимому, и имеет одинаковое положение с солнечными, значительно отличается по интенсивности, в то время как другие линии, видимо, не представлены в солнечном спектре...».

Мори показала, что у линий подразделений а и b нет различий в относительных интенсивностях, в то время как «...подразделение с отличается ярко выраженным характером своих линий, и кажется, что звезды этого подразделения должны больше отличаться по составу от звезд подразделения а, чем от звезд подразделения b».

Хотя Кэннон провела классификацию большего числа звезд, классификация Мори в некоторых отношениях стоит выше, потому что, введя с-характеристику, она добавила второй параметр к существующей системе классификации. Эта практика, однако, не была продолжена при составлении каталога Дрэпера.

Значение различий, замеченных Мори, было объяснено в 1905 году Герцшпрунгом. Так как только для небольшого числа звезд из списка Мори были известны расстояния, то, чтобы учесть различия светимостей, он привлек статистический метод, используя собственные движения. Он вычислил приведенные собственные

движения, то есть собственное движение, которое имела бы данная звезда, если ее поместить на расстояние, на котором она была бы нулевой величины. Герцшпрунг обнаружил, что с-звезды имеют крайне малые приведенные собственные движения; это говорило о больших расстояниях до них и, следовательно, о больших абсолютных светимостях. По его оценкам, с-звезды по крайней мере столь же ярки, как звезды класса О в Трапеции Ориона. Среди звезд класса А и более ранних с-звезды не выделяются, однако для звезд более поздних классов различия становятся заметными.

Герцшпрунг попытался объяснить тот факт, что две звезды, имеющие одинаковый спектральный класс и массу, как, например, γ Льва и 70 Змееносца, отличаются друг от друга по абсолютному блеску по крайней мере на 5,75 звездной величины. Он заметил, что если поверхностные яркости этих двух звезд одинаковы, поскольку они одинакового цвета, то плотность γ Льва должна быть в 3000 раз меньше, чем у 70 Змееносца. В таком случае у Льва либо находится на более ранней стадии развития, либо звезды типа у Льва и 70 Змееносца находятся на параллельных последовательностях. Герцшпрунг считал, что в данном случае имеет место последнее. Он также пришел к заключению, что абсолютная светимость большинства звезд уменьшается с покраснением и что в единичном объеме пространства яркие с-звезды встречаются относительно редко.

Глава 7-7-13

Объяснение Генри Рассела

Примерно в то же самое время Генри Рассел занимался фотографическими определениями звездных параллаксов и, следовательно, абсолютных светимостей звезд. В 1910 году Рассел пришел к выводу, что различия в абсолютных светимостях и собственных движениях коррелируют со спектральным типом. Он оценивал значение своих результатов для звездной эволюции таким образом:

«Хорошо известно, что в сжимающейся газовой массе температура должна подниматься до тех пор, пока эта масса не станет такой плотной, что к ее центральной части газовые законы уже будут почти неприменимы. После этого плотное ядро начнет оказывать все увеличивающееся сопротивление дальнейшему сжатию и потеря тепла посредством излучения возрастет по отношению к приросту тепла, получаемому вследствие сжатия; в это время температура достигает максимума и затем падает.

Прежде чем достигается максимум температуры, поверхностная яркость увеличивается по мере уменьшения диаметра, и неясно, возрастает или падает общее световое излучение; но после того как звезда начнет остывать, диаметр и температура убывают, и падение светимости должно быть быстрым.

Слабые звезды с большими собственными движениями... почти несомненно находятся в подобных условиях. Очень быстрое уменьшение светимости с усилением покраснения и крайне маленькая светимость наиболее красных звезд, несмотря на их весьма значительные массы, являются отличительными признаками звезд, прошедших период своего расцвета и находящихся на поздней стадии эволюции, а в некоторых случаях — приближающихся к угасанию.

Если принять, что большинство звезд, светимость которых не превышает светимости Солнца... находится на этих более поздних стадиях эволюции, то особенности их распределения по спектральным типам сразу же становятся понятными.

Необходимо отметить, что должно существовать два вида красных звезд. Звезды одного вида находятся на ранней стадии эволюции, температура их возрастает, плотность мала, диаметры велики и общая светимость значительна. У звезд другого вида температура падает, плотность велика и светимость очень мала. Наиболее красные звезды первого вида находятся на самых ранних стадиях эволюции, второго вида — на самых поздних стадиях. Практически все видимые невооруженным глазом красные звезды должны принадлежать к первому виду — об этом свидетельствуют их малые собственные движения и в некоторых случаях прямые измерения

параллакса (например, у Альдебарана и Антареса), что доказывает, что их истинная светимость гораздо выше, чем у Солнца».

Во время публикации своей первой статьи Рессел, по-видимому, ничего не знал о работе Эйнара Герцшпрунга, а во второй статье, тоже опубликованной в 1910 году, он ссылаясь на результаты Герцшпрунга как на дополнительное подтверждение своей теории. Его интерпретация, однако, отличается от интерпретации Герцшпрунга, так как Рессел рассматривает процесс в рамках одного непрерывного процесса развития, в то время как Герцшпрунг предполагает существование двух параллельных последовательностей. По словам Рессела:

«Основная идея моей теории подобна концепции, лежащей в основе классификации Локьера, однако на этот раз дается критерий, позволяющий отличать рост температуры от падения».

Глава 7-7-14

Диаграмма Герцшпрунга — Рессела

После того, как Антония Мори разделила звёзды по наличию определённых спектральных линий в их спектрах, Эйнар Герцшпрунг заметил, что некоторые классы звёзд в среднем имеют меньшее собственное движение, что говорило об их большей удалённости, и, следовательно, о большей светимости. Это наводило на мысль о связи светимости и спектрального класса, о чём Герцшпрунг опубликовал статью в 1908 году, после чего он начал изучать звёздные скопления, так как в них звёзды находятся на одинаковом расстоянии от Земли.

В 1910 году Ханс Розенберг опубликовал диаграмму зависимости видимой звёздной величины от интенсивности линии кальция и двух линий серии Бальмера для звёзд скопления Плеяд.

В 1911 году Эйнар Герцшпрунг построил диаграмму зависимости видимой звездной величины от показателя

цвета для звезд в скоплениях Плеяды и Гиады. Он пришел к заключению, что все звезды в Плеядах и почти все в Гиадах принадлежат к так называемой главной последовательности, в которой звезды становятся краснее с уменьшением их блеска. Кроме того, он обнаружил несколько очень ярких желтых звезд в Гиадах. На диаграмме абсциссой служит или видимая звездная величина, или абсолютная фотографическая величина (нижняя шкала). Ординатой является показатель цвета.

Если эту диаграмму повернуть на 90° , она будет соответствовать диаграмме Рассела, который в 1913 году построил диаграмму зависимости абсолютных величин спектральных типов для всех звезд с известным параллаксом. Диаграмма этого типа теперь называется диаграммой Герцшпрунга — Рассела, или диаграммой спектр — светимость.

Впервые Рассел доложил о своей диаграмме и ее значении на собрании Королевского астрономического общества 13 июня 1913 года. С небольшими изменениями он рассказывал об этом же на съезде Американского астрономического общества 30 декабря 1913 года. На диаграмме видно, что точки группируются вдоль диагональной линии (главная последовательность) и горизонтальной линии (последовательность гигантов). Менее многочисленные и крайне яркие сверхгиганты (с-звезды Герцшпрунга) лежат над последовательностью гигантов. Единственная точка в левом нижнем углу — слабый спутник в двойной системе 40 Эридана — была отброшена из-за того, что ее «...спектр очень сомнителен», впоследствии оказалось, что она очень важна.

Большинство астрономов пришли к мнению, что спектральная последовательность определяется изменением поверхностной температуры звезд, относительно причин различия в светимостях не было общего согласия. Рассел показал, что они могут скорее являться результатом различий в плотности (и, следовательно, в площади поверхности), а не в массе или поверхностной яркости (как это предполагал Герцшпрунг в своей статье, опубликованной в 1905 году). Он сформулировал свои идеи относительно звездной эволюции таким образом:

«Среди различных более или менее спорных положений, связанных с проблемой звездной эволюции, вероятно, самой общепризнанной мыслью является следующая: по мере того как звезда становится старше, она сжимается. В самом деле, так как при сжатии потенциальная энергия силы тяжести преобразуется в тепловую, которая посредством радиации передается более холодным телам, из термодинамических принципов следует, что общая тенденция изменения должна быть в целом такой. Возможно, что в некоторый определенный период истории звезды может произойти столь быстрое превращение энергии, например радиоактивного характера, что оно временно превысит потерю за счет излучения, и это приведет к расширению, которое будет работать против силы тяжести. Но все это может происходить главным образом на ранних стадиях ее развития, и в общем все равно плотность звезды будет увеличиваться с ее возрастом.

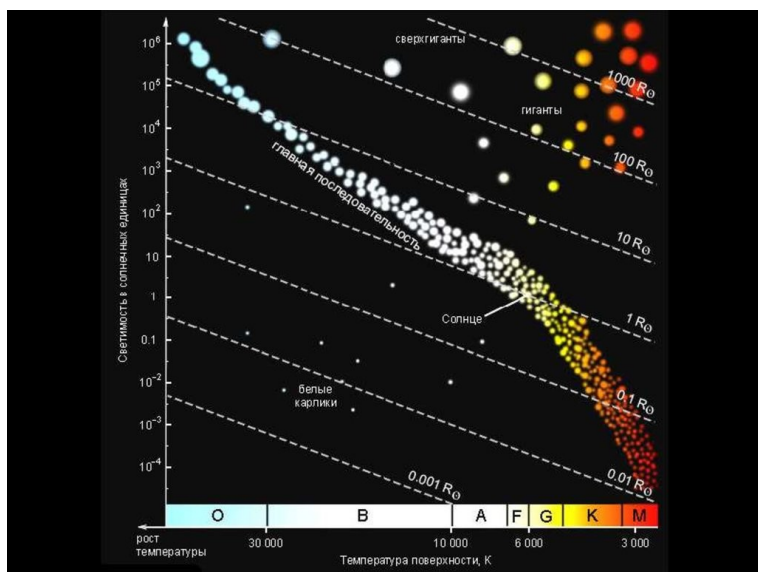


Диаграмма Герцшпрунга — Рессела

Если мы теперь расположим звезды, которые мы изучаем, в порядке возрастания плотности, мы должны начать с гигантских звезд класса М и затем проследить ряд гигантов в порядке, обратном тому, в каком обычно располагаются спектры, до звезд классов А и В и далее при все еще возрастающей, хотя уже и медленнее, плотности перейти вниз на последовательность карликов в обычном порядке изменения спектральных классов, встретив на пути Солнце, к тем красным звездам (снова в класс М), которые являются самыми слабыми из известных в настоящее время звезд. Не может быть никакого сомнения в том, что такое продвижение связано с увеличением плотности; если при этом также увеличивается и возраст, то мы возвращаемся назад к гипотезе Локьера, что звезда бывает наиболее горячей в середине ее истории и что красные звезды распадаются на две группы: одна с возрастающей, а другая с убывающей температурой. Тогда гиганты представляют собой последовательные стадии в нагревании тела и должны быть тем моложе, чем они краснее; карлики представляют собой дальнейшую стадию их последующего охлаждения, и чем краснее эти звезды, тем дальше они продвинулись в своем развитии. Мы уже имеем дело не с двумя отдельными последовательностями, а с единым рядом, начинающимся и кончающимся классом М; в середине находится класс В, а по обе стороны от него в каждой половине последовательности лежат все промежуточные классы».

Таким образом, Рассел представил эволюционную схему крайне просто и прямолинейно. В то время как его выводы, касающиеся роли плотности и температуры в образовании звездных спектров, впоследствии подтвердились, его интерпретацию диаграммы Герцшпрунга — Рассела и его теорию звездной эволюции пришлось решительно пересмотреть. Проблемы, включаемые в круг этих вопросов, настолько сложны, что, прежде чем перейти к этой теме, необходимо более полно рассмотреть теории звездных атмосфер, интерпретацию звездных спектров и строение звезд; все эти вопросы будут изложены в следующих трех главах, а пока мы обсудим технические аспекты других уточнений, внесенных в спектральную классификацию.

Глава 7-7-15

Эйнар Герцшпрунг

Эйнар Герцшпрунг (дат. Ejnar Hertzsprung; 8 октября 1873, Фредериксберг — 21 октября 1967, Роскилле) — датский астроном.



Эйнар Герцшпрунг

Родился в местечке Фредериксборг близ Копенгагена. Учился в Копенгагенском политехническом институте, получил специальность инженера-химика. По окончании института (1898 год) в течение трех лет работал в Петербурге. Вернувшись на родину, начал изучать астрономию, одновременно проводил фотографические наблюдения в обсерватории Копенгагенского университета и небольшой обсерватории «Урания».

Его исследования произвели впечатление на директора Потсдамской обсерватории Карла Шварцшильда, который

пригласил Герцшпрунга в Гёттингенский университет, а затем в Потсдамскую обсерваторию (1909 г.).

С 1919 года Герцшпрунг работал в Лейденской обсерватории, в 1935 году стал ее директором. Выйдя в отставку, возвратился в Данию и продолжил исследования в обсерватории в Брорфельде.

Имя Герцшпрунга вошло в историю астрономии благодаря исследованиям 1905 – 1907 года в Копенгагене и затем в Потсдаме, когда он построил диаграмму зависимости видимой звездной величины от показателя цвета звезд в скоплениях Плеяды и Гиады (1911 г.).

В 1913 году американский астроном Генри Расселл построил аналогичную диаграмму для всех звезд с известными расстояниями, получившую название диаграммы Герцшпрунга – Расселла. Звезды со сходными физическими характеристиками образуют на ней более или менее изолированные группы. Большинство известных звезд располагаются на так называемой Главной последовательности, простирающейся по диагонали от горячих голубых звезд со светимостью в 1000 раз большей, чем у Солнца, через белые звезды, желтовато-белые, желтые (Солнце), оранжевые к красным карликам, в 1000 раз слабее Солнца. Эта диаграмма стала основой для исследований эволюции звезд.

Герцшпрунг определил также собственные движения звезд в скоплении Плеяд. Впервые отметил, что скопления Плеяды, Гиады и Ясли различаются по звездному населению (позже было установлено, что это различие обусловлено разным возрастом скоплений). Дал надежные оценки расстояния до Малого Магелланова Облака, показав, что многие переменные звезды в нем являются цефеидами. Установил, что Полярная звезда является цефеидой.

Герцшпрунг состоял членом многих академий наук, был награжден Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1929 г.), медалью К.Брюса Тихоокеанского астрономического общества (1937 г.) и другими. В честь астронома назван кратер на обратной стороне Луны.

Глава 7-7-16

Генри Норрис Рассел

Генри Норрис Рассел (англ. Henry Norris Russell; 25 октября 1877, Ойстер-Бэй, штат Нью-Йорк, США — 18 февраля 1957, Принстон, Нью-Джерси, США) — американский астрофизик, разработавший одну из первых теорий эволюции звёзд, первым определил содержание химических элементов в атмосфере Солнца, получил оценки содержания химических элементов во Вселенной, занимался исследованием связи между спектрами звезд и их светимостью.



Генри Норрис Рассел

В 1900 году окончил Принстонский университет. С 1903 по 1905 год проходил стажировку в Кембриджской обсерватории. В 1905 году стал преемником Янга в Принстоне. С 1912 по 1947 год — директор астрономической обсерватории Принстонского университета. В 1913 году независимо от датского

астронома Э. Герцшпрунга построил диаграмму, связывающую эти характеристики (диаграмма Герцшпрунга — Рассела). В 1913 — 1914 годах сформулировал концепцию звездной эволюции, согласно которой основным источником энергии звезды является её гравитационное сжатие. К середине 1920-х годов Рассел пересмотрел свою теорию, предположив существование у звезд иных источников энергии. Ход эволюции определялся непрерывным изменением плотности звезды: от красных гигантов по ветви гигантов к звездам спектральных классов А и В (разогрев), затем по ветви карликов через звезды типа Солнца к красным карликам (остывание).

С 1947 по 1952 году работал в Гарвардской обсерватории.

Член Национальной академии наук США (1918 г.), иностранный член Лондонского королевского общества (1937 г.).

Награды

Золотая медаль Королевского астрономического общества (1921 г.)

Медаль Генри Дрейпера (1922 г.)

Премия имени Лаланда Парижской АН (1922 г.)

Медаль Кэтрин Брюс (1925 г.)

Премия Румфорда (1925 г.)

Медаль Франклина (1934 г.)

Гиббсовская лекция (1936 г.)

Премия Генри Норриса Рассела (1946 г.)

В честь Рассела названа малая планета (1762) Расселл и кратер на видимой стороне Луны.

Глава 7-7-17

Спектральные параллаксы

После установления факта большого различия в светимостях звезд естественно возник вопрос, нельзя ли каким-либо образом выявить эти различия при изучении звездных спектров. Еще в 1911 году Герцшпрунг весьма определенно указал на такую возможность:

«Если бы мы только могли определить абсолютную светимость звезды по ее спектру, мы были бы в состоянии вычислить ее параллакс, зная видимую величину звезды и ее спектр...

Строго говоря, любое изменение светимости, какова бы ни была ее причина, должно каким-нибудь образом влиять на спектр. Отыскание таких спектральных эквивалентов светимости (позволяющих отличать звезды, имеющие большую абсолютную величину, от нормальных звезд) будет вознаграждено сторицей».

Однако Герцшпрунг не стал развивать это направление исследований. Эта задача была решена в 1914 году Уолтером Адамсом (1876 – 1956 гг.) и Арнольдом Кольшюттером (1883 – 1969 гг.) сотрудниками обсерватории Маунт Вилсон. По-видимому, они не были знакомы с идеями Герцшпрунга:

«В процессе изучения спектральной классификации звезд, спектры которых были сфотографированы для определения лучевых скоростей, были обнаружены интересные особенности. Исследованные звезды были двух видов: первый — звезды с большими собственными движениями и измеренными параллаксами, второй — звезды с очень маленькими собственными движениями и, следовательно, как правило, на больших расстояниях. Видимые величины звезд с большими собственными движениями, или более близких звезд, в среднем несколько меньше, чем у звезд с малыми собственными движениями, так что между этими двумя группами

должно быть очень большое различие в абсолютной величине.

В спектрах звезд с малыми собственными движениями сильны одни линии, а в спектрах звезд с большими собственными движениями — другие».

Адамс и Кольшюттер выбрали несколько спектральных линий, отношение интенсивностей которых различалось в звездах с большими и малыми собственными движениями, и таким образом смогли оценить их абсолютные величины.

Они обнаружили, что «...результаты, полученные при использовании относительных интенсивностей этих линий для определения абсолютных величин, находятся в хорошем согласии с результатами, полученными по параллаксам и собственным движениям».

Эти критерии были чисто эмпирическими; теоретическое объяснение было дано лишь в 20-х годах нашего столетия, когда была разработана теория астроспектроскопии.

За этой пионерской работой последовало определение «спектральных параллаксов» нескольких тысяч звезд, в основном по линиям металлов. Появилось также несколько статей, посвященных определению спектральных параллаксов звезд разных типов, например работа канадского астронома Элли Виберт Дуглас (1894 — 1988 гг.) о звездах класса А и сообщения нескольких наблюдателей южных звезд.

Глава 7-7-18

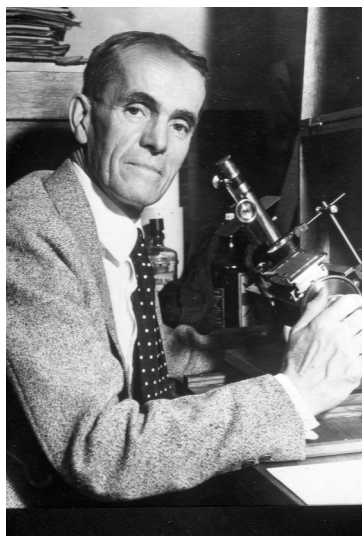
Уолтер Сидни Адамс

Уолтер Сидни Адамс (англ. Walter Sydney Adams; 20 декабря 1876 г., Антакья, Османская империя — 11 мая 1956 г., Пасадина, США) — американский астроном.

Член Национальной академии наук США (1917 г.), иностранный член Лондонского королевского общества (1950 г.).

Уолтер Адамс родился в Антакье в семье миссионеров, в 1885 году вернулся в США. В 1898 году окончил Дартмутский колледж, после чего продолжил образование

в Германии, в 1900—1901 учился в Мюнхенском университете у К. Шварцшильда и Х. фон Зелигера. В 1901—1904 работал в Йеркской обсерватории, в 1904—1946 — в обсерватории Маунт-Вилсон, которую возглавлял с 1923 года. С 1946 до конца жизни работал в Солнечной лаборатории Хейла в Пасадене.



Уолтер Сидни Адамс

Вёл исследования планет, звёзд, Солнца и межзвёздной среды. Совместно с Ч. Сент-Джоном и Т. Данхемом измерил количество водяного пара и кислорода в атмосфере Марса, а также обнаружил углекислый газ в атмосфере Венеры. Организовал обширные исследования определения лучевых скоростей и спектральных параллаксов звёзд, совместно с сотрудниками обсерватории Маунт-Вилсон определил лучевые скорости более 7 тысяч звёзд и у нескольких тысяч звёзд определил их абсолютные звёздные величины. В 1925 году по просьбе А. Эддингтона исследовал спектр белого карлика Сириус В с целью обнаружения гравитационного красного смещения спектральных линий, предсказанного общей теорией относительности А. Эйнштейна. Доказал наличие

тяжёлых элементов (в частности, железа) в облаках межзвёздного вещества. Определил скорость вращения Солнца, изучал различия в спектре солнечных пятен и невозмущённого диска, совместно с Расселом прокалибровал роуландовскую шкалу интенсивностей солнечного спектра.

Награды

Медаль Лондонского Королевского астрономического общества (1917), медаль Генри Дрейпера Национальной академии наук США (1918), премия Жюль Жансена Французского астрономического общества (1926), медаль Жансена Парижской Академии наук (1935), медаль Кэтрин Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1928), премия Генри Норриса Рассела (1947).

В честь У. С. Адамса названы: Астероид 3145 Уолтер Адамс, кратер на Марсе, кратер Адамс на Луне (назван совместно в честь У. С. Адамса, Джона Куха Адамса и Чарльза Хичкока Адамса).

Глава 7-7-19

Система классификации МК

Примерно в 1930 году Уильям Морган, сотрудник Йеркской обсерватории, заинтересовался спектрами звезд класса А, и обратил внимание на различия между линиями поглощения у звезд, принадлежащих к одному и тому же спектральному классу в гарвардской системе. Таким образом, ему пришлось ввести двумерную классификацию, которая в некотором смысле представляла собой улучшенный вариант метода, предложенного Мори.

В основе этой классификации, обычно называемой «системой МК», лежит Atlas of Stellar Spectra, который состоит из отдельных фотографий звездных спектров. Этот атлас был разослан только нескольким большим обсерваториям мира. Однако Морган и американские

астрономы Филипп Кинан и Эдит Келман (1911 – 2007 гг.) составили монографию, в которой перечислялись названия звезд и обозначения системы МК, так что астрономы могут получить свои собственные стандартные спектры и использовать их для того, чтобы путем интерполяции получить спектральные типы звезд, которые не наблюдались на Йеркской обсерватории. Участниками разработки йеркской системы (кроме Моргана, Кинана и Келман) были Роман и Байделман; за последние 20 лет все они внесли большой вклад в развитие классификации.

Основное значение йеркской системы состоит в ее применимости к исследованиям структуры Галактики. Ее полезность была убедительно продемонстрирована на Кливлендском съезде Американского астрономического общества в декабре 1952 года, где Морган объявил об открытии двух, а возможно, и трех спиральных ветвей Млечного Пути в окрестностях Солнца. Однако спиральные ветви, обнаруженные Морганом, не совсем совпадают с рукавами, полученными радиоастрономами по эмиссионной линии водорода $\lambda 21$ см.

Критерии Моргана были чисто эмпирическими, но он немедленно начал развивать двумерную классификацию. Он располагал звезды не в линейной последовательности, а в прямоугольной системе, подобно почтовым ящикам в отделении связи. Для характеристики звезд он ввел следующие обозначения:

- 1a — наиболее яркие сверхгиганты,
- 1b — менее яркие сверхгиганты,
- II — яркие гиганты,
- III — нормальные гиганты,
- IV — субгиганты,
- V — звезды главной последовательности.

Большинство звезд укладывается в эту двумерную схему.

Основные преимущества йеркской классификации следующие:

1. Она имеет общий характер, т. е. не ограничивается только несколькими областями диаграммы спектр — светимость.

2. Классификация представляет собой результат процесса постоянного улучшения, продолжающегося в течение многих лет, и основана на однородном материале, полученном одним инструментом и на одинаковых фотографических пластинках.

3. Будучи чисто эмпирической по своим критериям, классификация имела целью с предельной точностью поместить каждую звезду на диаграмму Герцшпрунга — Рессела на основании только спектральных характеристик поглощения и излучения.

4. Она была применена ко всем наиболее ярким звездам (но далеко не исчерпала всего дрэперовского каталога) и, следовательно, дает нам статистическую картину звездного населения Млечного Пути.

5. Йеркская система обошла трудности, связанные с вращательными и турбулентными эффектами расширения линий, так как использовались спектры с малой дисперсией.

6. Ее основные свойства применимы только к звездам населения I типа и она не пытается замаскировать различия, которые, как известно, существуют между спектрами звезд населения I и II типов.

Звездами населения I типа являются звезды, которые были представлены на первоначальной диаграмме Герцшпрунга — Рессела. Это молодые звезды.

Другой тип звезд был нанесен на эту диаграмму Бааде при изучении звезд в шаровых скоплениях и в центральных областях Галактики. Эти звезды обычно относят к населению II типа. Это старые звезды.

Необходимо снова подчеркнуть, что йеркская система была разработана для исследования Млечного Пути путем установления надежных критериев спектральных параллаксов звезд. Метод служит наилучшим средством для достижения цели, сформулированной Секки: «посмотреть, настолько ли разнообразен состав звезд, насколько сами они многочисленны».

Позднее были предприняты попытки создать более специализированные классификации для отдельных групп звезд. Например, в 1933 г. Отто Струве занимался классификацией наиболее горячих звезд. Кинан улучшил классификацию углеродных звезд.

Рессел, Пейн-Гапошкина и Мензел писали:

«...если мы когда-нибудь разработаем теорию, достаточно точную и гибкую для объяснения всех характеристик звездных спектров, классификация или станет ненужной или будет представлена в виде стенографического перечня параметров, необходимых для нахождения точного решения проблемы».

Глава 7-7-20

Уильям Уилсон Морган



Уильям Уилсон Морган

Уильям Уилсон Морган (англ. William Wilson Morgan, 1906 — 1994 гг.) — американский астроном.

Родился в Бетесде (штат Теннесси). В 1923 — 1926 годах учился в университете в Лексингтоне (штат Виргиния), затем в Чикагском университете, который окончил в 1927 году. В 1927 — 1974 годах работал в

Йеркской обсерватории, в 1947 — 1974 годах — профессор Чикагского университета, в 1960 — 1963 годах — директор обсерваторий Йеркской и обсерватории Мак-Дональд, с 1974 — почетный профессор Чикагского университета.

Основные труды Уильяма Моргана связаны со звездной спектроскопией и фотометрией звезд. В начале 1930-х годов изучил и описал спектры большого числа звезд класса А, в частности пекулярных А-звезд с усиленными линиями редкоземельных элементов. Разработал совместно с Ф. Кинаном двухмерную спектральную классификацию звезд (система МК), являющуюся основной системой классификации звезд до настоящего времени (она описана в «Атласе звездных спектров», изданном в 1943 году). Система МК прокалибрована в шкале абсолютных величин звезд.

В 1951 совместно с С. Шарплессом и Д. Остерброком установил существование спиральных ветвей в нашей Галактике. Это открытие было осуществлено путём определения спектральными методами расстояний до горячих звезд, которые возбуждают свечение в облаках ионизованного водорода, концентрирующихся, как показали внегалактические исследования, в спиральных ветвях. Впоследствии спиральные ветви Галактики были также обнаружены радиоастрономическими методами.

В 1953 году совместно с Х. Л. Джонсоном и Д. Хэррисом создал точную систему звездной фотометрии, определяемую с помощью стандартных звезд, — так называемую систему U, B, V, которая стала международной стандартной фотометрической системой.

В 1957 году совместно с Н. У. Мейолом нашел связь между типом галактики и спектром её интегрального света и на этой основе разработал классификацию галактик и метод определения звездного состава галактик по их формам.

В 1947 — 1952 годах — главный редактор журнала *Astrophysical Journal*.

Член Национальной АН США (1956 г.) и ряда академий наук других стран.

Лауреат медали Брюс (1958 г.).

Премия Генри Норриса Рассела (1961 г.).

Медаль Генри Дрейпера (1980 г.).

Медаль Гершеля (1983 г.).
В его честь назван астероид № 3180.

Глава 7-7-21

Филипп Чайлдс Кинан

Филип Чайлдс Кинан (Philip Childs Keenan, 31 марта 1908, Бельвю, Пенсильвания — 20 апреля 2000, Коламбус, Огайо) — американский астроном.

Специалист в области спектроскопии звёзд. В 1932 году получил степень доктора философии по астрономии в Чикагском университете, после чего преподавал там до 1942 года (с перерывом в 1935/36 году). Работал в Йеркской обсерватории. В начале 1940-х годов совместно с Уильямом Морганом и Эдит Келлман разработал систему спектральной классификации звёзд (система МКК), усовершенствованный вариант которой был опубликован Морганом и Кинаном в 1973 году (система МК). Система МКК отображает зависимость вида спектра от светимости и в варианте МК используется астрономами и в начале XXI века.

Во время сотрудничества Кинана и Моргана первый сосредоточил свои исследования на звёздах более холодных, чем Солнце, в то время как Морган — на более горячих.

В 1946—1976 годах преподавал астрономию в Университете штата Огайо, с 1976 года — профессор-эмерит.

В честь учёного назван астероид 10030 Philkeenan.

Глава 7-7-22

Количественные методы спектральной классификации Даниеля Шалонжа

Применение классификации МК показало, что некоторые используемые критерии могут трактоваться по-разному. Поэтому были созданы две новые системы

спектральной классификации, одна — главным образом Даниелем Шалонжем из Астрофизического института в Париже, другая — Б. Стремгреном в Соединенных Штатах. Обоим методам свойственна непрерывность. Они основаны на измерении определенных параметров, причем в системе Шалонжа исследования проводятся фотографическим путем, а в системе Стремгрена — с помощью фотоэлектрических фотометров с узкополосными фильтрами.

В 1952 — 1956 годах Даниель Шалонж совместно с Даниелем Барбье (1907 — 1965 гг.) и Л. Диван разработал двух- и трёхпараметрическую системы спектральной классификации звёзд, параметры которых определяют свойства звёзд более точно, чем в системе Моргана — Кинана. Их работы базируются на фотографических наблюдениях спектров звезд, главным образом в ультрафиолетовой области спектра. Они использовали кварцевый спектрограф, в котором кассета поворачивается мотором вокруг точки, расположенной на оси спектра на определенном расстоянии от его коротковолнового конца. Цель этого приспособления состоит в увеличении эффективной экспозиции в ультрафиолетовой области, где излучение большинства звезд слабо. Спектры поэтому оказываются треугольными: в ультрафиолетовой области полоска непрерывного спектра уже, чем в синей части.

Спектральная классификация звёзд Шалонжа основана на фиксировании характеристик непрерывного спектра, которые не искажаются межзвездным поглощением. Одной из таких характеристик является бальмеровский скачок — логарифм отношения интенсивностей по обе стороны предела серии Бальмера. Это отношение зависит от возбуждения и ионизации водорода, то есть главным образом от температуры. Второй характеристикой — длина волны, у которой кончается бальмеровская серия и начинается непрерывный спектр. Этот параметр зависит от плотности газа и характеризует класс светимости. Иногда в качестве характеристики используют наклон спектра в синей области, но ее можно применять только для близких звезд, для которых нет заметного межзвездного поглощения. Третьим параметром спектральной классификации (помимо температуры T и

светимости L) является химический состав, точнее относительное содержание в атмосферах звезд химических элементов тяжелее гелия. Рассмотрение химического состава в качестве параметра классификации позволило решить проблему субкарликов, то есть показать, что субкарлики являются обычными звездами главной последовательности с пониженным содержанием тяжелых элементов и не образуют отдельного класса светимости.

Применение метода Шалонжа ограничивается теми звездами, в спектрограммах которых водородные линии и бальмеровский скачок достаточно заметно проявляются на фотопластинках. Другими словами, этот метод хорош только для звезд более ранних спектральных классов, чем G0. Точность, достигнутая французскими астрономами, так же высока или, возможно, даже выше, чем точность, полученная при классификации в системе МК.

Необходимо помнить, что классификация МК применима только к звездам населения I типа; для объектов населения II типа кривыми перехода надо пользоваться осторожно.

Тем не менее применение модели Шалонжа к звездам населения II типа уже привело к некоторым интересным результатам. Так, Фринган, одна из сотрудниц Шалонжа, недавно исследовала спектр известной переменной звезды типа переменных галактических скоплений RR Лиры. Она обнаружила, что если на модели Шалонжа отложить все три параметра, то точки, соответствующие спектрам звезд типа RR Лиры, неизменно оказываются под поверхностью. Другими словами, звезда населения II типа не может быть представлена точкой поверхности.

Точно такую же тенденцию проявляют субкарлики населения II типа (звезды, лежащие чуть ниже главной последовательности), что было обнаружено Шалонжем и его сотрудниками Берже, Канаваджа и Фринган. Эти звезды также ложатся ниже поверхности модели и, следовательно, являются более голубыми, чем нормальные звезды.

Основное преимущество метода Шалонжа состоит в его непосредственной связи со свойствами атома водорода. Эту схему можно будет использовать при исследовании многих проблем, связанных со спектрами, таких, как

интерпретация диаграммы Герцшпрунга — Рессела, зависимость между возрастом звезд и содержанием водорода в них и так далее.

Самым недавним практическим применением метода Шалонжа является исследование спектров компонент визуально-двойных звезд, выполненное Берже. Для нескольких звезд сравнения основные параметры классификации Шалонжа были получены из предшествующих наблюдений, так что можно было измерить интенсивности непрерывного спектра в различных длинах волн относительно уже исследованных звезд сравнения. Полученные результаты соответствуют теории звездной эволюции, согласно которой более массивная компонента визуально-двойных звезд по своим характеристикам является более развитой в эволюционном отношении, чем менее массивная.

Глава 7-7-23

Даниель Шалонж

Даниель Шалонж (фр. Daniel Chalonge, 1895 — 1977 гг.) — французский астроном и астрофизик.

Родился в Гренобле, образование получил в Высшей Нормальной школе. На протяжении многих лет работал в Парижской обсерватории, обсерватории в Провансе и высокогорной обсерватории в Юнгфрауях, Швейцария. Один из основателей Института астрофизики в Париже.

Основные труды Даниеля Шалонжа связаны со звёздной спектроскопии. Совместно с Д. Барбье изучил абсолютными методами распределение энергии в ультрафиолетовой области и определил величину бальмеровского скачка в спектрах 240 звёзд всех спектральных классов (1941 г.).

В 1952 — 1956 годах совместно с Барбье и Л. Диван разработал двух- и трёхпараметрическую системы спектральной классификации звёзд, параметры которых определяют свойства звёзд более точно, чем в системе Моргана — Кинана.



Рис. Даниель Шалонж

Исследовал поглощение в непрерывном спектре звёзд, обусловленное отрицательными ионами водорода; совместно с Л. Диван построил систему цветowych температур звёзд. Обнаружил температурный эффект в озоновом слое.

В 1948 — 1955 годах был президентом Комиссии N 36 «Теория звездных атмосфер» МАСа.

Опубликовал (в соавторстве) более 90 научных работ.

Глава 7-7-24

Количественные методы спектральной классификации Бенгта Стрёмгрена

Еще один метод количественной спектральной классификации создал Бенгт Стрёмгрэн. В принципе его исследования совершенно аналогичны методу Даниеля Шалонжа, но проведены с помощью фотоэлектрических фотометров с узкополосными фильтрами.

Сначала свет каждой звезды непосредственно анализируется фотоэлектрическим фотометром, затем с помощью интерференционных фильтров выделяются и сравниваются различные длины волн. Таким образом была построена двумерная классификация для В-, А- и F-звезд, основанная на измерениях интенсивности линии поглощения водорода H_β и бальмеровского скачка.

Стремгрен провел калибровку своего метода по измерениям примерно 100 звезд, для которых были известны спектральные классы и классы светимости по Моргану. Он мог классифицировать спектры с точностью около 0,02 спектрального класса. В этом отношении новый метод настолько превосходил все предыдущие, что открыл новую эпоху в астрофизике. Соответственно абсолютные величины звезд, к которым применим этот метод, получаются из одного наблюдения с вероятной ошибкой, равной приблизительно 0,2 звездной величины.

Аналогичную работу, использующую другие критерии, Стремгрен провел для холодных звезд класса К на Копенгагенской обсерватории Гюльденкерне; она дала удовлетворительные результаты.

На съезде Американского астрономического общества в Нашвилле в декабре 1953 года Стремгрен рассказал о другом достижении наблюдательной техники: одновременной фотоэлектрической фотометрии с помощью счетчиков фотонов в трех узких участках длин волн (H_β и двух других областях, используемых для сравнения). Спектры были получены с помощью спектрографа кудэ 82-дюймового рефлектора обсерватории Мак-Дональд; для выделения трех узких участков спектра использовались щели.

Стремгрен указал на то, что если в методе с интерференционными фильтрами на 82-дюймовом рефлекторе измерения давали высокую точность для звезд примерно 12 величины, то метод непрерывных измерений расширил область исследуемых звезд вплоть до 14 величины. При равной точности выигрыш по сравнению с фотографическим методом составляет примерно четыре звездные величины, когда время накопления фотоэлектрического изображения равно времени фотографической экспозиции.

Глава 7-7-25

Бенгт Георг Даниель Стрёмгрен



Бенгт Георг Даниель Стрёмгрен

Бенгт Георг Даниель Стрёмгрен (Bengt Georg Daniel Strömberg; 21 января 1908 — 4 июля 1987) — датский астроном и астрофизик.

Член Датской королевской академии наук (1939), иностранный член Национальной академии наук США (1971).

Бенгт Стрёмгрен родился в Гётеборге. Его родителями были Хедвиг Стрёмгрен (урожденная Лидфорсс) и Сванте Элис Стрёмгрен, который был профессором астрономии копенгагенского университета и директором университетской обсерватории. Бенгт рос в профессорском особняке, окружённый учеными, ассистентами, наблюдателями и, просто, гостями. Отец ввел сына в научную жизнь и способствовал его продвижению. Так, первую научную работу Стрёмгрен

младший выпустил в соавторстве с отцом в возрасте 14 лет. В 1925 Стрёмгрен поступает в Копенгагенский университет, а в 1929 уже получает степень доктора философии. После окончания университета остаётся работать в Копенгагенской обсерватории, а в 1940 становится её директором. С 1932 года состоит лектором в Копенгагенском Университете. В 1936 уезжает в 18-месячную командировку в Чикагский университет по приглашению Отто Струве. Был инициатором создания Обсерватории Брорфельде. После войны эмигрировал в США. 1951—1957 — директор Йеркской и Мак-Дональдской обсерваторий. С 1952 по 1957 профессор Чикагского университета. С 1957 по 1967 работал в институте перспективных исследований Принстонского университета, где сотрудничал с Эйнштейном. С 1967 — профессор астрофизики Копенгагенского университета.

Бенгт Стрёмгрен внёс громадный вклад в астрофизику. Его научные работы относятся к физике звёзд и межзвездной среды. В 1940 г. рассчитал первые теоретические модели солнечной атмосферы, что позволило определить химический состав верхних слоёв Солнца. Одним из первых применил результаты ядерных исследований к проблемам звездной эволюции; проследил общий путь развития звезды на ранних стадиях исчерпания водорода в её недрах и нашел, что она должна двигаться от главной последовательности к ветви гигантов и что наклон эволюционного трека зависит от содержания водорода в звезде. Ряд работ посвящён теории пульсаций и проблемам, связанным с ионизацией звездного вещества.

В 1939 и 1948 гг. развил теорию ионизации межзвездного водорода излучением горячих звезд. Показал, что внутри определенных, резко ограниченных областей вокруг таких звезд («сфер», или «зон Стрёмгрена») водород полностью ионизован, а вне этих областей он нейтрален. Эта теория не только качественно объясняет вид многих газовых туманностей, но и позволяет рассчитать их размеры, которые зависят от плотности газа и температуры возбуждающей звезды.

Разработал систему двумерной спектральной классификации звезд классов В—F (названную его именем) основанную на фотоэлектрической фотометрии

определенных участков спектра с узкими интерференционными фильтрами.

Награды

медаль Кэтрин Брюс (1959)

Золотая медаль Королевского астрономического общества (1962)

Премия им. Генри Норриса Рассела (1965)

Медаль Карла Шварцшильда (1969)

В честь него названы:

Астероид 1846 Bengt

Фотометрическая система Стрёмгрена

Зоны Стрёмгрена

Часть 7-8

Переменные звезды

Глава 7-8-1. Новые и сверхновые звёзды

Глава 7-8-2. Переменные звезды

Глава 7-8-3. Давид Фабрициус

Глава 7-8-4. Омикрон Кита (Мира)

Глава 7-8-5. Мириды

Глава 7-8-6. R Гидры

Глава 7-8-7. Хи Лебеда

Глава 7-8-8. Бета Персея (Алголь)

Глава 7-8-9. Джон Гудрайк

Глава 7-8-10. Эдуард Пиготт

Глава 7-8-1

Новые и сверхновые звёзды

Новыми звёздами, в астрономической литературе обычно называют — звёзды, светимость которых внезапно увеличивается приблизительно в 10^3 — 10^6 раз (в среднем увеличение светимости приблизительно в 10^4 раза, блеска приблизительно на 12 звёздных величин).

Сверхновая звезда или вспышка сверхновой — явление, в ходе которого звезда резко увеличивает свою яркость на 4 — 8 порядков (на 10-20 звёздных величин) с последующим сравнительно медленным затуханием вспышки.

С древних времен появление новых звезд вызывало смятение не только у астрономов, но и обычных людей. Как и кометы, они рассматривались как астрологический знак, предсказывающий катастрофы или, наоборот, успех.

Но главное, они нарушали устойчивые представления о существовании сферы неподвижных звезд.

За 2200 лет (532 г. до н. э. — 1690 г. н. э.) в китайских и японских летописях было выявлено около 90 вспышек новых. Европейская исследовательская группа с участием

Гёттингенского университета обнаружила вблизи центра шарового скопления Messier 22 (NGC 6656) эмиссионную туманность, возможно, являющуюся останками новой звезды, которую китайские астрономы видели в мае 48 года до нашей эры.

Существует легенда, что древнегреческий астроном Гиппарх создал свой каталог звезд именно потому, что однажды увидел на небе звезду, которой прежде там не было.

Наиболее ранняя запись, которая идентифицируется как запись наблюдений сверхновой SN 185, была сделана китайскими астрономами в 185 году нашей эры. Самая яркая известная сверхновая SN 1006 была подробно описана китайскими и арабскими астрономами. Хорошо наблюдалась сверхновая SN 1054, породившая Крабовидную туманность.

SN 1572 в созвездии Кассиопея

SN 1572 — сверхновая звезда в нашей Галактике, вспыхнувшая осенью 1572 года в созвездии Кассиопеи, приблизительно в 2300 парсеках (7500 световых лет) от Солнечной системы. Максимальная видимая звёздная величина достигла -4^m .

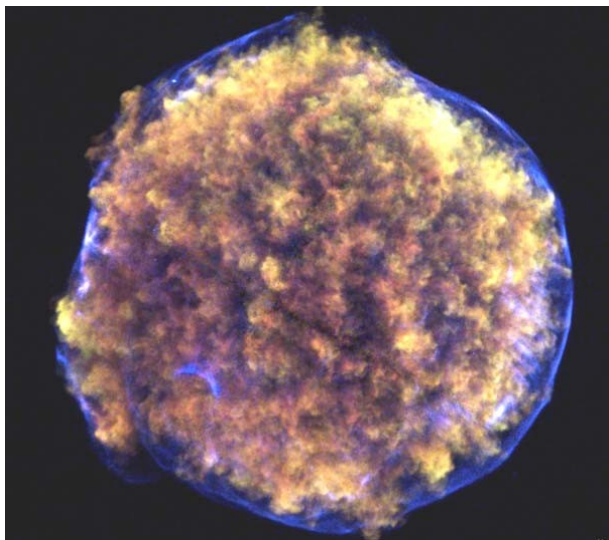
6 ноября 1572 появление на небе «звезды-гостя» было замечено в Корее, а два дня спустя — в Китае. Первым обнаружившим звезду в Европе был, вероятно, аббат из Мессины Мавролик.

Значительный вклад в изучение сверхновой внёс Тихо Браге, обнаруживший сверхновую 11 ноября 1572 года:

«Однажды вечером, когда я, по обыкновению, осматривал небосвод, вид которого мне так хорошо знаком, я, к неопишуемому моему удивлению, увидел близ зенита в Кассиопее яркую звезду необыкновенной величины. Поражённый открытием, я не знал, верить ли собственным глазам.

...Новая звезда не имела хвоста, её не окружала никакая туманность, она во всех отношениях походила на другие звёзды первой величины... По блеску её можно было сравнить только с Венерой, когда эта последняя находится в ближайшем расстоянии от Земли. Люди, одарённые

хорошим зрением, могли различить эту звезду при ясном небе днём, даже в полдень. Ночью при облачном небе, когда другие звёзды скрывались, новая звезда оставалась видимой сквозь довольно густые облака».



Остаток SN 1572 в созвездии Кассиопея.

Тихо Браге наблюдал сверхновую до её исчезновения с неба. Определив параллакс, он сделал вывод, что «новая звезда» находится намного дальше Луны. Многократные измерения угловых расстояний от сверхновой до соседних звёзд показали, что звезда не движется. Тихо единственный из наблюдателей регулярно оценивал блеск сверхновой, сначала сравнивая её с Юпитером, а потом, когда сверхновая потускнела, с соседними звёздами.

Результаты европейских наблюдений звезды были опубликованы Тихо Браге в книге «*Astronomiae instaurate progymnasmata*» («Очерки о новой астрономии») в 1602 году.

Аналогичные наблюдения и выводы были сделаны английским учёным Томасом Диггесом (совместно с Джоном Ди) и позволили предположить, что звёзды не

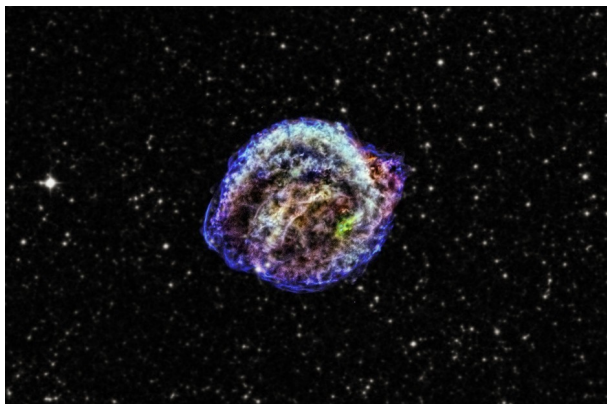
образуют окружающую сферу, а располагаются по всей Вселенной.

В 1952 году на месте вспышки был найден источник радиоизлучения. В 1960 году остаток сверхновой был найден в оптическом диапазоне.

Считается, что сверхновая принадлежит к типу Ia, при котором взрывается белый карлик, масса которого превышает предел Чандрасекара. Подобное может произойти в тесной двойной системе за счёт аккреции вещества звезды-компаньона на белый карлик, либо из-за слияния двух белых карликов. В 2004 году второй компонент системы был найден, им оказалась звезда спектрального класса G0 или G2, движущаяся со скоростью более чем в три раза превышающую среднюю в окрестностях остатка сверхновой.

SN 1604 в созвездии Змееносца

Уже в 1604 году в Европе опять можно было увидеть сверхновую звёзду невооружённым глазом. Сверхновая звезда в нашей Галактике SN 1604 — появилась осенью 1604 года в созвездии Змееносца, приблизительно в 6 тысячах парсек (~20 тысяч световых лет) от Солнечной системы. Максимальная видимая звёздная величина достигла $-2,5^m$.



Остаток SN 1604 в созвездии Змееносца

Впервые эту сверхновую звезду заметили 9 октября 1604 года европейские наблюдатели. В китайских источниках звезда упоминается начиная с 10 октября, а в корейских — с 13 октября. Звезда была видима на небе в течение одного года.

Большой вклад в наблюдение сверхновой внёс немецкий астроном Иоганн Кеплер, поэтому сверхновую часто называют сверхновой Кеплера. Впервые он увидел «новую звезду» 17 октября (столь позднее начало наблюдений объясняется плохой погодой). Результаты наблюдений были опубликованы Кеплером в работе *De Stella Nova in Pede Serpentarii* в 1605 году. SN 1572 и SN 1604 имели большое значение для развития астрономии, они стали аргументом против аристотелевской идеи, гласившей, что мир за пределами Луны и Солнечной системы неизменен.

Остаток сверхновой был обнаружен в оптическом диапазоне в 1930-х годах немецким астрономом Вальтером Бааде с помощью 2,5-метрового телескопа обсерватории Маунт-Вильсон.

Сверхновая 1680 года. Радиисточник Кассиопея А



Остаток SN 1680 в Кассиопее

Эту сверхновая относят к типу IIb. Она вспыхнула в 1680 году, но осталась незамеченной, возможно, из-за ранее сброшенной оболочки, поглотившей большую долю видимого излучения. Остаток является ярчайшим радиоисточником, находящимся за пределами Солнечной системы.

После изобретения телескопа (1609 г.) и до вспышки Эта Киля (1843 г.) европейские учёные заметили всего 5 вспышек новых звёзд.

Глава 7-8-2

Переменные звезды

Переменная звезда — это звезда, яркость которой изменяется со временем в результате происходящих в её районе физических процессов. Строго говоря, блеск любой звезды меняется со временем. Например, величина выделяемой Солнцем энергии изменяется на 0,1% в течение одиннадцатилетнего солнечного цикла, что соответствует изменению абсолютной звёздной величины на одну тысячную. Не следует путать переменность звёзд с их мерцанием, которое происходит из-за колебаний воздуха земной атмосферы. При наблюдении из космоса звёзды не мерцают.

Для отнесения звезды к разряду переменных достаточно, чтобы блеск звезды хотя бы однажды претерпел изменение.

Переменные звёзды сильно отличаются друг от друга. Изменения блеска могут носить периодический характер. Основными наблюдательными характеристиками являются период, амплитуда изменений блеска, форма кривой блеска и кривой лучевых скоростей.

Причинами изменения блеска звёзд могут быть: пульсации, хромосферная активность, периодические затмения звёзд в тесной двойной системе, процессы, связанные с перетеканием вещества с одной звезды на другую в двойной системе, катастрофические процессы такие как взрыв сверхновой и др.

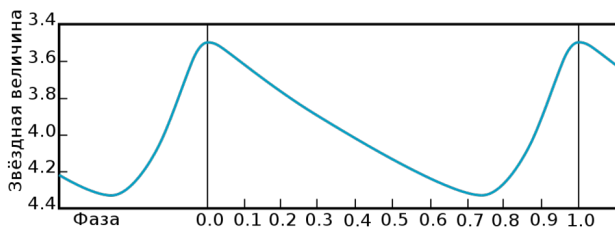
Первая переменная звезда была обнаружена в 1638 году, когда Иоганн Хольварда, профессор Университета г.

Франекер (одного из старейших в Нидерландах), заметил, что звезда Омикрон Кита, позже названная Мирой, пульсирует с периодом в 11 месяцев. До этого звезда была описана астрономом Давидом Фабрициусом в 1596 году и ошибочно определена как новая. Это открытие, в сочетании с наблюдениями сверхновых в 1572 и 1604 годах, доказало, что звёздное небо не является чем-то вечно неизменным, как тому учили Аристотель и другие философы древности. Открытие переменных звёзд, тем самым, внесло свой вклад в революцию астрономических взглядов, произошедшую в шестнадцатом и начале семнадцатого века.

Второй звездой, у которой было обнаружено изменение яркости стала затменная переменная Алголь. Ее в 1669 году открыл Джеминиано Монтанари (1633 — 1687 гг.), Верное объяснение причин её переменности было дано в 1784 году Джоном Гудрайком.

В 1686 году астрономом Готфридом Кирхи (1639 — 1710 гг.) была обнаружена звезда Хи Лебедя (χ Cygni), а в 1704 году благодаря Джованни Маральди стала известна R Гидры (R Hydrae). К 1786 году в список переменных входило уже 10 звёзд. Джон Гудрайк добавил в их число Дельту Цефея (δ Cephei) и Шелиак (β Lyr).

Первое наблюдение Дельты Цефея Гудрайк описал 19 октября 1784 года. Изменчивость звезды была описана в письме от 28 июня 1785 года, опубликованном 1 января 1786 года.



Кривая блеска Дельты Цефея

Первый каталог переменных звёзд был составлен английским астрономом Эдуардом Пигготом в 1786 году. В этот каталог входило 12 объектов: две сверхновые, одна

новая, 4 звезды типа α Ceti (Мириды), две цефеиды (δ Ser, η Aql), две затменные (β Per, β Lyr) и R Cyg.

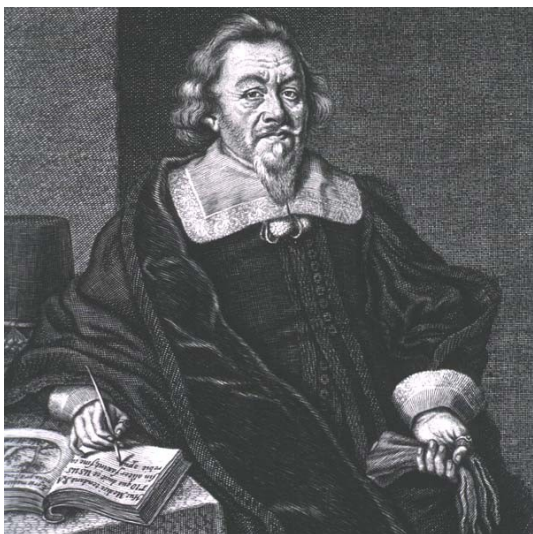
Глава 7-8-3

Давид Фабрициус

Давид Фабрициус (1564 — 1617 гг.) — пастор в Восточной Фрисландии, известный своими работами в астрономии.

Изучал астрономию у Лампадиуса в Брауншвейге. Состоял в переписке с Тихо Браге и Кеплером. По заявлению последнего, Фабрициус был лучшим (после Тихо Браге) наблюдателем своего времени.

Заметил 3 августа 1596 г. уменьшение блеска звезды омикрон Кита (Mira Ceti) — это было первое открытие переменной звезды.



Давид Фабрициус

Кроме наблюдений планет, известны его наблюдения кометы 1607 года и новой звезды в созвездии Змееносца.

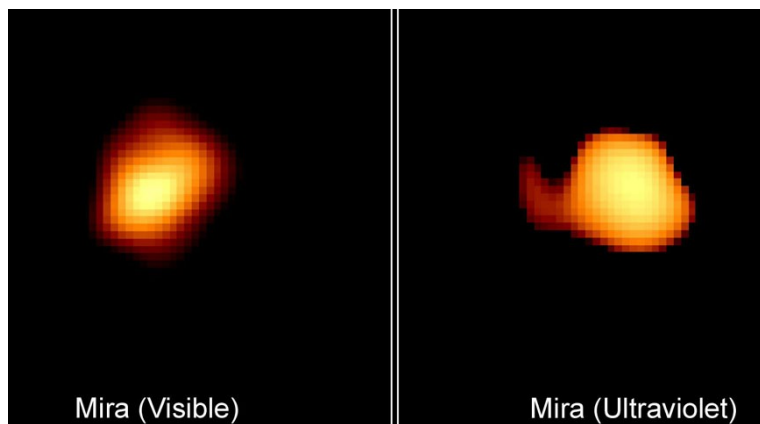
Фабрициус был убит из мести крестьянином, которого он с кафедры изобличил в краже.

Глава 7-8-4

Омикрон Кита (Мира)

Мира (ο Ceti, Омикрон Кита) — двойная звезда в созвездии Кита, состоящая из красного гиганта Мира А и белого карлика Мира В. Расстояние до Миры — 417 св. лет ± 14 %. Компоненты находятся на расстоянии 70 а. е., орбитальный период обращения около 400 лет.

Мира А — пульсирующая переменная звезда, давшая название классу звёзд — мириды. Она имеет период 332 дня. В максимуме блеска она довольно заметна — видимая звёздная величина в среднем 3,5, в некоторых циклах достигает 2,0. В минимуме её светимость падает в сотни раз, и она становится невидимой невооружённым глазом ($m=8,6\ldots 10,1$). В инфракрасном диапазоне колебания блеска Миры гораздо меньше, и составляют около 2 звёздных величин.



Мира в видимых лучах и в ультрафиолете

Мира В окружена горячим аккреционным диском вещества, истекающего с гиганта. Она также является переменной из-за неравномерности поступления вещества — видимая величина изменяется от 9,5^m до 12^m.

Переменность Мира была зарегистрирована астрономом Дэвидом Фабрициусом начиная с 3 августа 1596 года. Наблюдая за тем, что он считал планетой Меркурий (позже идентифицированной как Юпитер), он нуждался в эталонной звезде для сравнения положений и выбрал ранее не замеченную звезду третьей величины поблизости. К 21 августа, однако, оно увеличилась в яркости на одну величину, а к октябрю исчезла из поля зрения. Фабрициус предположил, что это была новая звезда, но затем снова увидел её 16 февраля 1609 года. В 1603 г. Байер внес эту звезду в свой атлас звездного неба и обозначил ϵ Ceti.

В 1638 году Йоханнес Холварда определил период повторного появления звезды — одиннадцать месяцев. Ян Гевелий систематически наблюдал звезду с 1659 по 1682 и дал ей имя лат. *Mira* («удивительная»), потому что она действовала как ни одна другая известная звезда. Затем Исмаил Буйо оценил её период в 333 дня, что отличается на один день от современного значения в 332 дня.

Современные наблюдения

В 2007 году астрономы обнаружили у звезды исполинский хвост из пыли и газа — наподобие тех, что простираются за подлетевшими к Солнцу кометами.



Хвост звезды Мира

Открытие было совершено с помощью ультрафиолетового орбитального телескопа GALEX (см. комментарий).

Астрономы были изрядно удивлены. Мира исследуется вот уже на протяжении 400 лет, и до сих пор никто не замечал в ней никаких особенных странностей, но никто не наблюдал её в ультрафиолете. Обнаруженный хвост простирается в пространстве на целых 13 световых лет. Согласно расчетам, материя, находящаяся в конце хвоста, была сброшена звездой примерно 30 тыс. лет назад.

Большинство звёзд Млечного Пути вращается вокруг центра галактики, двигаясь приблизительно с той же скоростью и в том же направлении, что и межзвездный газ, однако Мира выбивается из общего ряда. Эта звезда продирается сквозь галактическое облако газа со скоростью в 130 км/с. В результате выбрасываемая ею материя сдувается назад, образуя уникальную хвостовую формацию. На фотографиях телескопа GALEX отчётливо видно, как материя, выбрасываемая звездой, сталкивается с частицами межзвёздного газа. В результате она разогревается и устремляется в направлении хвоста. Основную часть этой материи составляют атомы водорода. Они постепенно теряют приобретённую энергию, высвобождая её в виде ультрафиолетовых лучей — их-то и зафиксировал телескоп GALEX.

Комментарии

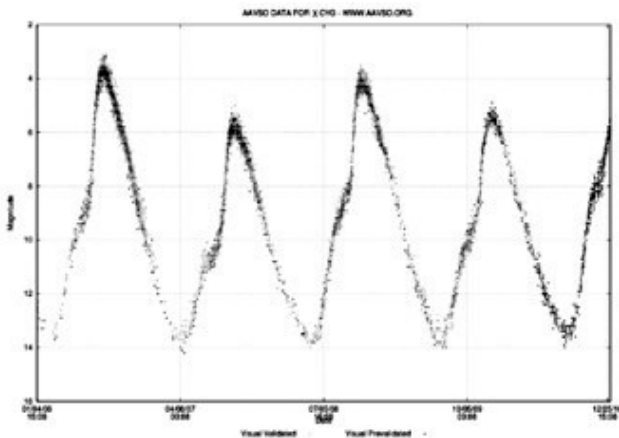
Аккреционный диск (от лат. «приращение») — структура, возникающая в результате падения диффузного материала, обладающего вращательным моментом, на массивное центральное тело (аккреция). Аккреционные диски возникают вокруг звёзд в тесных двойных системах, во вращающихся галактиках и в протопланетных образованиях.

GALEX — орбитальный космический телескоп, работающий в ультрафиолетовом диапазоне. Название «GALEX» является сокращением от англ. Galaxy Evolution Explorer (букв. «исследователь эволюции галактик»). Аппарат был запущен 28 апреля 2003 года с помощью ракеты-носителя Pegasus-XL и выведен на почти круговую орбиту высотой 697 км с наклоном около 29°.

Глава 7-8-5

Мириды

Мириды — класс пульсирующих переменных звёзд, названный по имени звезды Мира из созвездия Кита. К этому классу относятся звезды поздних спектральных классов с изменениями блеска от 2,5 до 11 звёздных величин в видимом диапазоне. Амплитуда вариаций в ИК-диапазоне, как правило, меньше 2,5. Период их пульсации может составлять от 80 до 1000 дней.



Кривая блеска χ Лебеда (мириды)

Мириды — гиганты, находящиеся на конечных этапах звёздной эволюции, которые в течение нескольких миллионов лет сбрасывают свою внешнюю оболочку и превращаются в белые карлики.

Полагают, что масса мирид не превышает двух солнечных масс, однако их светимость в тысячи раз больше солнечной из-за расширенной внешней оболочки. Считается, что пульсация мирид обусловлена периодическим сжатием и расширением этих звезд. Это вызывает изменения радиуса и температуры, что приводит к вариации светимости.

Ранние модели мирид предполагали, что звезда остаётся сферически-симметричной в течение процесса пульсации (в основном, это помогало сократить расчёты при компьютерном моделировании). Недавний обзор мирид показал, что 75% систем с миридами, которые удалось разрешить на телескопе IOTA, не являются сферически-симметричными. Мириды быстро теряют массу, это вещество часто формирует пылевые оболочки вокруг звезды. Этим объясняются медленные изменения периода от цикла к циклу.



Хвост звезды мириды

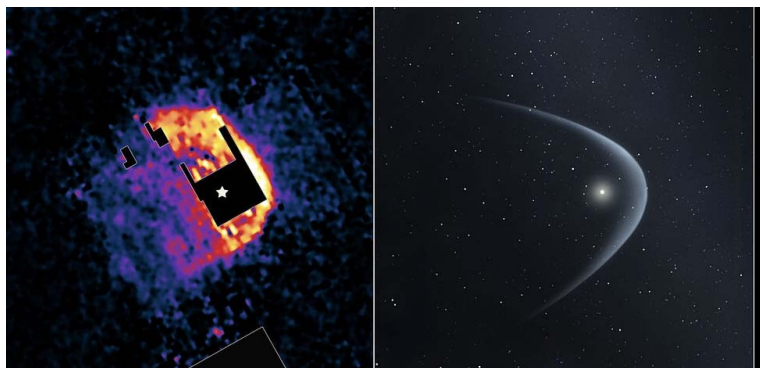
Небольшое количество мирид, по-видимому, меняет период пульсации с течением времени: период растёт или уменьшается в течение нескольких десятилетий или нескольких веков. Считается, что этот эффект является следствием тепловых пульсаций, при которых гелиевая оболочка повторно запускает реакции в водородном слоевом источнике. При этом меняется структура звезды, что и даёт изменение периода. Возможно, такая стадия наблюдается у R Гидры. Однако большинство мирид демонстрируют, вероятно, возникающие из-за того, что оболочки звезд не сферические.

Глава 7-8-6

Р Гидры

Р Гидры (лат. R Hydrae) — переменная звезда типа Миры, которая находится в созвездии Гидры на расстоянии приблизительно 538 световых лет от нас. Это красный гигант класса М.

Переменная звезда Р Гидры — третья открытая переменная типа Мира после α Кита (1596 год) и χ Лебедя (1686 год) (см. комментарий). Она попала в звездный каталог Яна Гевелия еще в 1662 году, и была там отмечена как звезда 6-й величины, однако не считалась переменной. Ее наблюдал Джеминиано Монтанари (см. комментарий) и обратил внимание на то, что она отсутствует в звездном атласе Уранометрии Байера (1603 год). Монтанари пометил ее положение на своем экземпляре издания. В 1702 году атлас с этой пометкой попал в руки Жака Филиппа Маральди (см. комментарий), который попытался идентифицировать звезду. Наблюдать за этой областью он продолжал до 1712 года, отмечая максимумы звезды в 1704 и 1708 годах и, следовательно, доказал ее переменность.



Головная ударная волна Р Гидры. Слева: снимок в инфракрасном диапазоне; справа: рисунок художника.

Видимый блеск звезды меняется от 3,21 до 11,00 звёздной величины с периодом в 389 суток. В 2006 году орбитальный инфракрасный телескоп Спитцер сфотографировал головную ударную волну R Гидры — место, где происходит торможение налетающего на звёздную систему межзвёздного вещества. Она находится на расстоянии 16,29 астрономических единиц от звезды, ее толщина достигает 6,188 а.е. Это первый снимок ударной волны, сделанный у красного гиганта.

R Гидры летит по межзвёздному пространству со скоростью приблизительно 50 км/с. Масса головной ударной волны равна 400 массам Земли.

Комментарии

Переменные типа Миры Кита, пульсирующие долгопериодические переменные с амплитудами изменения блеска, превышающими $2^m,5$ (до $5-6^m$), с хорошо выраженной периодичностью и периодами, заключенными в пределах от 80 до 1000^d .

Джеминиано Монтанари (1633 — 1687 гг.)

Итальянский астроном и оптик, профессор математики в Болонье и Падуе. Наиболее известен тем, что около 1669 года обнаружил изменения блеска звезды Алголь. Сторонник экспериментального метода в науке. Одним из первых начал использовать нити в окуляре телескопа для точных астрономических измерений.

Жак Филипп Маральди (1665 — 1729 гг.)

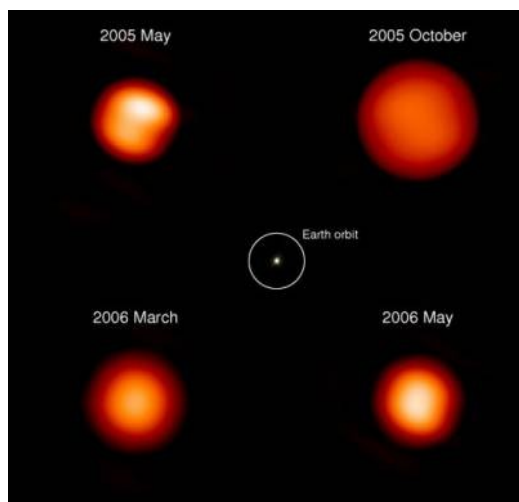
Племянник Ж. Д. Кассини. Назначен дядей астрономом Парижской обсерватории. В 1702 году открыл комету. Мирильди приписывают открытие периодически появляющихся белых пятен на полюсах Марса.

Глава 7-8-7

Хи Лебеда

Хи Лебеда (χ Cygni, χ Cug) — переменная звезда типа Миры, которая находится в созвездии Лебедь на расстоянии около 550 световых лет от нас. Видимая звёздная величина в максимуме 4^м,24.

χ Лебеда представляет собой звезду, находящуюся на этапе преобразования из карлика в красный гигант. Она периодически увеличивается в размерах, при этом колебания диаметра составляют от 450 миллионов километров до 720 миллионов километров (470 солнечных радиусов). Если звезду поместить в центр Солнечной системы, то она поглотила бы Землю и главный пояс астероидов. Период колебаний равен 408 суткам. В момент максимума яркости χ Лебеда видна невооружённым глазом. Масса звезды примерно равна двум массам Солнца, а температура поверхности — 3000 градусам по Кельвину.



Эволюция пульсации Хи Лебеда

Спектральный анализ звезды показал, что в её составе в большом количестве присутствует технеций — элемент, не имеющий стабильных изотопов (период полураспада самого долгоживущего — 4,2 млн лет, что во много раз меньше возраста звезды). Это означает, что в этой звезде происходит синтез технеция. Вероятно, это может быть объяснено ядерными реакциями с захватом нейтронов, что характерно для звёзд S- и MS-классов и соответствует классической модели s-процесса, при котором каждое атомное ядро может захватывать несколько нейтронов.

Наблюдения в инфракрасном диапазоне показали, что χ Лебеда окружает пылевая оболочка, состоящая, в основном, из силикатов и графита. Температура пылевой оболочки во внутреннем радиусе приблизительно равна 450 градусам по Кельвину.



Хи Лебеда с расстояния 48 а.е..
Компьютерная симуляция

Согласно общепринятой теории звёздной эволюции, наше Солнце через 5 миллиардов лет должно стать похожим на χ Лебеда, поэтому изучение данной системы позволит прояснить далёкое будущее Солнечной системы.

Готфрид Кирх

Готфрид Кирх (18 декабря 1639 — 25 июля 1710 гг.) — немецкий астроном, член Прусского королевского научного общества.

Сфера научных интересов — звездная астрономия: Кирх изучал последовательно двойную звезду Мицар созвездия Большая Медведица, рассеянное звездное скопление Дикая Утка (M11), шаровое скопление M5 и переменную звезду Хи Лебеда.



Готфрид Кирх

Известен своими верноподданническими настроениями по отношению к правителям Пруссии. Предложил названия трёх созвездий: в 1684 году предложил назвать созвездие Мечи Курфюрста Саксонского, а через четыре года в журнале Acta Eruditorum предложил еще два названия: Бранденбургский Скипетр и Держава Императора. Посвящены созвездия были: курфюрсту Саксонскому, королю Бранденбургскому и императору Леопольду I.

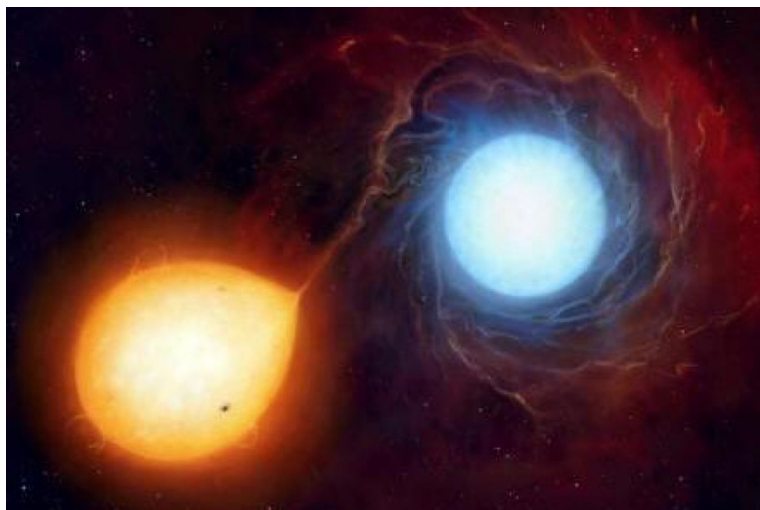
Глава 7-8-8

Бета Персея (Алголь)

Алголь (β Per, Бета Персея) — кратная (тройная) затменная переменная звезда в созвездии Персея. Находится на расстоянии около 92,8 св. лет от Солнца. Видимая звёздная величина в максимуме 2,12^m. Около 7,3 млн. лет назад Алголь прошёл в 9,8 св. лет от Солнечной системы и его видимая звёздная величина тогда составляла около -2,5^m.

Два компонента, Алголь А и Алголь В, образуют очень тесную двойную систему: расстояние между ними всего 0,062 а. е. (в 16 раз меньше расстояния от Земли до Солнца). Период обращения составляет 2,86731 суток. При вращении компоненты поочерёдно затмевают друг друга, что и вызывает эффект переменности.

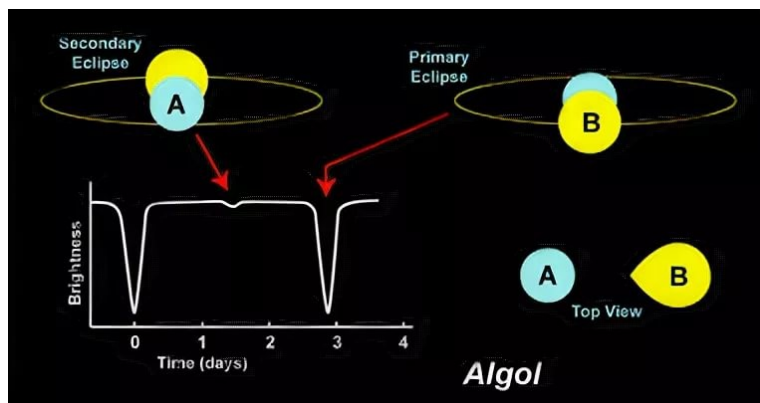
Третья звезда системы Алголь С вращается на расстоянии 2,69 а. е. от центра масс первых двух с периодом 681 день (1,86 года).



Алголь А и Алголь В

Переменность звезды была замечена ещё в древности, ее считали проявлением демонизма. Название происходит от арабского (ал-гуль — злой дух, чудовище).

Для европейской астрономии переменность Алголя открыл в 1667 или 1669 году итальянский учёный Джеминиано Монтанари. Спустя более ста лет, в 1782 году, это же открытие независимо совершил англичанин Джон Гудрайк, определивший период колебания системы.



Кривая блеска Алголя

В своём сообщении он предложил два объяснения феномену: либо вокруг звезды обращается «крупное тело», либо к Земле периодически поворачивается более тёмная сторона самой звезды, покрытая «пятнами или подобным веществом». Таким образом, Гудрайк положил начало теории затменно-переменных звёзд.

Гипотезы об Алголе были подтверждены в конце XIX века: в 1880 — 1881 годах гарвардский астроном Эдвард Чарльз Пикеринг представил доказательства, что Алголь является двойной затменной звёздной системой, и впервые указал, что фотометрическая кривая блеска даёт возможность определить размеры компонентов. Вскоре, в 1889 году, потсдамский астроном Герман Карл Фогель обнаружил доплеровские смещения линий в спектре этой звезды, обусловленные орбитальным движением её компонент.

Глава 7-8-9

Джон Гудрайк

Джон Гудрайк (17 сентября 1764 — 20 апреля 1786 гг.) — английский астроном-любитель, член Лондонского королевского общества.



Джон Гудрайк

Джон Гудрайк, названный в честь своего деда сэра Джона Гудрайка, родился в Гронингене, Нидерланды, большую часть жизни провёл в Англии. В раннем детстве из-за скарлатины потерял речь и слух. Получил образование в академии Томаса Брейдвуда — школе для глухих в Эдинбурге, с 1778 по 1781 годы обучался в Уоррингтонской академии.

Вернувшись к родителям в Йорк, Гудрайк познакомился с Эдуардом Пиготтом — сыном Натаниэля Пиготта, владельца частной обсерватории. Эдуард

заметил тягу глухого юноши к знаниям и заинтересовал Джона астрономией.

Наблюдая переменную звезду Алголь (β Персея), в 1783 году Гудрайк первым из астрономов предположил механизм изменения её блеска — затмения звезды вращающимся вокруг большим телом.

Догадка Гудрайка подтвердилась лишь в 1889 году, когда в спектре β Персея были обнаружены периодические смещения спектральных линий.

В настоящее время подобные звёзды называют затменными переменными звёздами. За эту гипотезу, представленную Гудрайком в мае 1783 года Лондонскому королевскому обществу, он был награждён медалью Копли.

В 1784 году открыл переменность звёзд β Лирь и, ставшими впоследствии прототипами двух классов переменных звёзд.

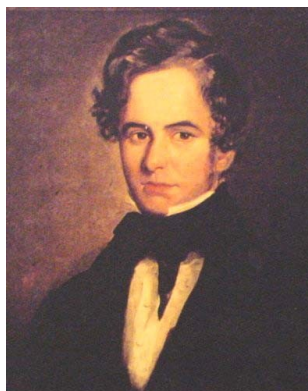
16 апреля 1786 года Гудрайк был избран членом Лондонского королевского общества. Всего лишь через четыре дня Джон умер от пневмонии, не дожив и до 22 лет.

В последствии было обнаружено множество звезд, чьи характеристики оказались сходными со свойствами δ Цефея. Они были названы цефеидами. Из-за известной и повторяемой связи между периодом и светимостью цефеиды используются в качестве стандартных свеч в астрономии. С их помощью можно находить расстояния в диапазоне от 100 парсек до 20 мегапарсек, для большей части которого измерения расстояний методом параллакса дают очень низкую точность. Таким образом, цефеиды важны для определения расстояний до далёких объектов и установления шкалы расстояний в астрономии.

Глава 7-8-10

Эдуард Пиготт

Эдуард Пиготт (27 марта 1753 года — 26 июня 1825 года) — английский астроном.



Эдуард Пиготт

Родился в Бате. С ранних лет помогал своему отцу, любителю астрономии Натаниелю Пиготту, проводить астрономические наблюдения (в 1769 году они совместно наблюдали прохождение Венеры по диску Солнца). С 1781 года проводил наблюдения в собственной обсерватории в Бутаме (Йоркшир), с 1795 года — в Бате.

Наряду с Дж. Гудрайком является основоположником планомерного изучения переменных звёзд. В 1784 году открыл переменность η Орла, в 1795 году сообщил об открытии им изменений блеска у звёзд R Северной Короны и R Щита. В 1786 году составил первый каталог переменных звёзд. Открыл три кометы, определил собственные движения некоторых звёзд, опубликовал ряд статей о методах наблюдений звёзд с пассажными инструментами.

Часть 7-9

Двойные звезды

Глава 7-9-1. Мицар и Алькор

Глава 7-9-2. Двойные звезды

Глава 7-9-3. Джон Мичелл

Глава 7-9-4. Уильям Гершель и двойные звезды

Глава 7-9-5. Струве и двойные звезды

Глава 7-9-6. Джон Гершель и двойные звезды

Глава 7-9-7. Эта Киля (η Киля)

Глава 7-9-8. Двойные системы Сириуса и Прочиона

Глава 7-9-1

Мицар и Алькор

Исторически первой парой звезд, которые с древних времен упоминались вместе, были Мицар и Алькор.

Мицар (ζ UMa) — звезда в созвездии Большой Медведицы, вторая от конца ручки большого «ковша». Название в переводе с арабского означает «пояс». Видимая звёздная величина 2,40, спектральный класс A1 V, расстояние около 78 световых лет.

Люди с хорошим зрением видят рядом с Мицаром ещё одну звезду, называемую Алькор или 80 UMa. Название в переводе с арабского означает «забытая» или «незначительная». Способность видеть Алькор — традиционный способ проверки зрения. Звёздная величина Алькора 4,02, спектральный класс A5 V. Расстояние между Мицаром и Алькором превышает четверть светового года.



Мицар и Алькор

Долгое время не удавалось доказать физическое единство системы Алькор — Мицар (близость собственного движения звёзд ещё не означает вхождение в двойную систему). Только в 2009 году астрономы Рочестерского университета провели более точные измерения и показали, что обе звезды входят в физически связанную систему, состоящую из 6 звёзд. Таким образом, кратная система (Мицар — Алькор) состоит из шести компонентов: двойные звезды Мицар А и Мицар В, и лежащая на расстоянии около 0,3 световых лет от них двойная звезда Алькор (около 12 угловых минут).

При наблюдении в телескоп Мицар сам по себе виден как двойная звезда, включающая Мицар А и Мицар В. Мицар В имеет звёздную величину 4,0 и спектральный класс А7, расстояние между Мицаром А и Мицаром В — 380 а. е. (15 угловых секунд), период обращения — несколько тысяч лет.

Две звезды Мицар и Алькор входят в парный астеризм «Конь и всадник», но эти эпитеты не являются переводом арабских названий звёзд, как часто ошибочно считают.

Существует легенда, что якобы в древнем Египте в элитные войска фараона набирали юношей, которые могли различать эти звезды. Это было доказательством, что зрение было достаточно острым. В версиях легенды фигурируют греческие лучники или индейские охотники. Нет подтверждения реальности этих фактов. Кроме того, Мицар и Алькор различимы как отдельные звёзды даже при средней остроте зрения, которой обладают люди с миопией до 1 диоптрии без патологий сетчатки.

В арабской литературе говорится, что только те, кто обладает самым острым зрением, могут видеть компаньона Мицара. Арабский лексикограф 14-го века Файрузабади назвал его «Нашей загадкой», в то время как персидский астрономический писатель 13-го века Закария аль-Казвини сказал, что «люди проверяли своё зрение этой звездой».

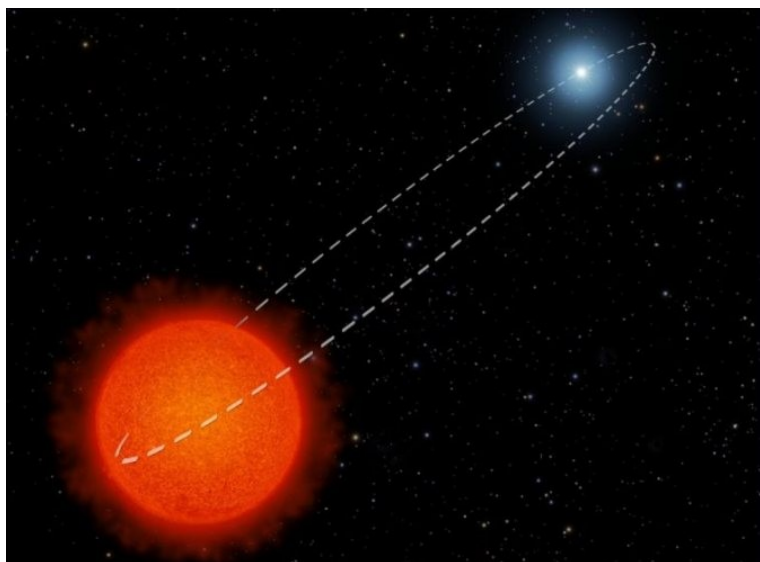
Глава 7-9-2

Двойные звезды

Двойная звезда, или двойная система, — система из двух гравитационно связанных звёзд, обращающихся по замкнутым орбитам вокруг общего центра масс. Двойные звёзды — весьма распространённые объекты. Примерно половина всех звёзд нашей Галактики принадлежит к двойным системам.

Первым выдвинул идею о существовании двойных звёзд Джон Мичелл (1724 — 1793 гг.). На выступлении в Королевском обществе в 1767 году он предположил, что многие звезды, видимые как двойные, действительно могут быть физически связаны.

Двойные звезды, которые возможно увидеть отдельно (или, как говорят, которые могут быть разрешены), называются видимыми двойными, или визуально-двойными. В XVIII веке могли наблюдаться только визуально.



Двойная звезда

Возможность наблюдать звезду как визуально-двойную определяется разрешающей способностью телескопа, расстоянием до звёзд и расстоянием между ними. Таким образом, визуально-двойные звезды — это в основном звезды окрестностей Солнца с очень большим периодом обращения (следствие большого расстояния между компонентами).

В Германии была сделана практическая попытка показать, что двойные звезды не только видны вблизи друг от друга, но и физически связаны. Иезуит Кристиан Майер, астроном в Маннгейме, в январе 1776 года принялся собирать примеры тесных звездных пар и уже в 1779 году опубликовал первый каталог двойных звезд, в который входило 56 пар. Он утверждал, что у многих главных звезд есть «спутники». Однако его наблюдения не были достаточно точны и продолжительны, чтобы можно было признать эти результаты надежными. Его выводы были осмеяны; его планеты — звезды сочтены за плод галлюцинации. «Никто не поверил таким удивительным

известиям», писал Лаланд. Но вскоре утверждение Майера (см. комментарий) было подтверждено.

В 1779 году Уильям Гершель впервые стал наблюдать с помощью телескопа звёзды, видимые невооружённым глазом.

Поскольку блеск звезд, наблюдаемых поблизости друг от друга, был неодинаков, создавалось впечатление (которое поддерживалось большинством астрономов), что их разделяет огромное расстояние, а видимое положение всего лишь результат проекции. Для выяснения истинного положения дел необходимо было измерить параллактические смещения звезд. Этим и занялся Гершель. К величайшему удивлению, параллактическое смещение одной звезды по отношению к другой при измерении дало неожиданный результат. Гершель заметил, что вместо симметрического колебания с периодом в 6 месяцев каждая звезда следует по сложному эллипсоидному пути. В соответствии с законами небесной механики два тела, связанных силой притяжения, двигаются по эллиптической орбите. Наблюдения Гершеля подтвердили тезис о том, что двойные звезды связаны физически, т.е. силами тяготения.

Каталог Уильяма Гершеля был составлен к концу 1781 года, и он содержал данные о 269 двойных звёздах, из которых 227 были открыты впервые.

Комментарий

Кристиан Майер (1719 — 1783 гг.) — немецкий учёный-иезуит, астроном, физик, геодезист, картограф и метеоролог. Член Лондонского королевского общества.

Родился в Модрице (близ Брно, Моравия). В 1745 году вступил в орден иезуитов. С 1762 года — профессор астрономии Гейдельбергского университета.



Кристиан Майер

Определял положения Солнца, Луны, планет, в 1769 году вместе с Лекселем наблюдал в Санкт-Петербурге прохождение Венеры по диску Солнца.

В 1775 году по его проекту в Мангейме была построена обсерватория, оснащенная наилучшими для того времени астрономическими инструментами. В 1779 году Кристиан Майер составил первый каталог двойных звезд, в который входило 56 пар. Принимал участие в измерении дуги меридиана на территории Франции.

Глава 7-9-3

Джон Мичелл

Джон Мичелл (25 декабря 1724 — 29 апреля 1793 гг.) — священник из деревни Торнхилл (графство Йоркшир), видный английский естествоиспытатель и геолог.



Джон Мичелл

Занимался астрономией, оптикой и гравитацией, будучи одновременно теоретиком и экспериментатором. Открыл, в частности, волноподобную природу землетрясений, осуществил целый ряд оригинальных исследований в области магнетизма и гравитации, предвидел возможность чёрных дыр, предложил способ производства искусственных магнитов. Его называли отцом сейсмологии.

Джон Мичелл первым выдвинул идею о существовании двойных звёзд. На выступлении в Королевском обществе в 1767 году он предположил, что многие звезды, видимые как двойные, действительно могут быть физически связаны. Уже в 1779 году Кристиан Майер составил первый каталог двойных звезд, в который входило 56 пар.

К концу 1781 года свой каталог создал Уильям Гершель, он содержал данные о 269 двойных звёздах.

В письме от 27 ноября 1783 года, которое Мичелл послал в Королевское общество, были объединены ньютоновская небесная механика и корпускулярная оптика. Письмо содержало концепцию массивного тела, гравитационное притяжение которого настолько велико, что скорость, необходимая для преодоления этого притяжения (вторая космическая скорость), равна или превышает скорость света с расчётом, из которого

следовало, что для тела с радиусом в 500 солнечных радиусов и с плотностью Солнца вторая космическая скорость на его поверхности будет равна скорости света. Таким образом, свет не сможет покинуть это тело, и оно будет невидимым. Мичелл предположил, что в космосе может существовать множество таких недоступных наблюдению объектов.

Джон Мичелл впервые предложил использовать для определения гравитационной постоянной крутильные весы и построил прототип прибора для измерения массы Земли, однако не успел поставить эксперимент и провести вычисления самостоятельно.

Он пытался измерить давление света путём фокусирования световых лучей на одном конце иглы компаса, но в процессе эксперимента игла расплавилась.

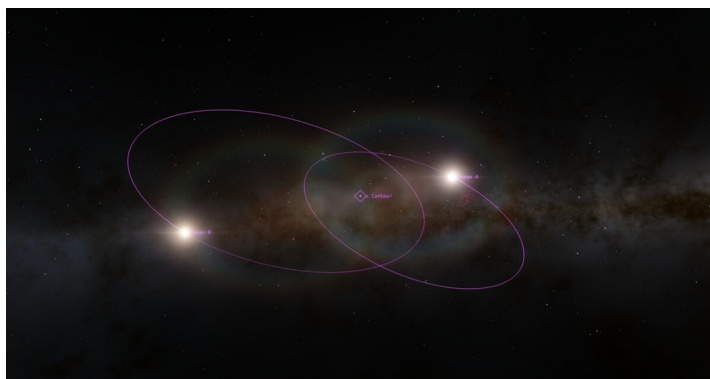
После смерти Мичелла его аппаратура перешла члену Лондонского Королевского общества Генри Кавендишу, который и вычислил плотность нашей планеты.

Глава 7-9-4

Уильям Гершель и двойные звезды

Попытки Гершеля измерить параллакс звезд, привели его к открытию физической связи между звездами. Первоначально он предполагал, что расположенные близко друг от друга звезды видны рядом случайно, что их разделяет огромное расстояние, и они не связаны между собой.

Это позволило бы ему воспользоваться галилеевым дифференциальным методом определения параллакса, при котором микроскопическое перемещение звезды, вызванное движением земли вокруг солнца, замечается не по угловому расстоянию ее от постоянной точки на небесной сфере (полюса или зенита), а по изменениям расстояния от расположенной поблизости звезды, которая, как он считал, находится на большем расстоянии и потому менее подвержена влиянию движения земли.



Двойная звезда α Центавра

С этой целью Гершель принялся с помощью телескопа наблюдать звезды, видимые невооруженным глазом. Его задачей было отыскать звездные пары, достаточно тесные для того, чтобы ими можно было воспользоваться для своей главной работы определения параллакса. Пределом видимого углового расстояния между искомыми звездами он считал $2'$.

Довольно быстро, за два года, он подготовил список таких звездных пар. Первый каталог Гершеля двойных звезд был обнародован в начале 1782 года и заключал в себе 269 пар, в том числе 227 новооткрытых. Второй, из 434 пар, представлен был в Королевское Общество в конце 1784 года. А в последней его работе, отосланной в Королевское Астрономическое общество в 1821 году, содержалось еще 145 двойных звезд. Помимо положения каждой двойной звезды, Гершель отмечал еще угловое расстояние между ее составляющими и яркость каждой из них. В некоторых случаях наблюдались любопытные контрасты в окраске звезд, составляющих пару. Не мало было и таких случаев, когда в тесном соседстве оказывалось не только две, но даже три, четыре и более звезд.

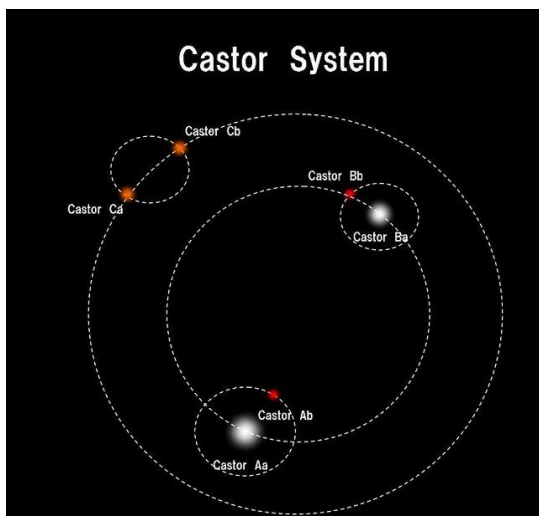


Рис. Система Кастора

Одной из таких множественных звезд оказался Кастор в созвездии Близнецов. Ее наблюдал как двойную звезду еще Кассини в 1678 году, а потом и Джеймс Паунд в 1718 году. Угловое расстояние между компонентами с блеском $1,96^m$ (Кастор А) и $2,91^m$ (Кастор В) составляет $4''$ (на 2004 год), период обращения — примерно 350 лет. Каждый из компонентов является спектрально-двойной звездой.

Позднее было выяснено, что тусклая переменная звезда 9-й звёздной величины YY Близнецов физически связана с Кастором. Она находится на угловом расстоянии $73''$ (1010 а. е.) от четырёх компонентов, ей присвоено условное обозначение Кастор С. Кастор С обращается вокруг общего центра масс системы за время не меньшее нескольких десятков тысяч лет и тоже является спектрально-двойной звездой. Таким образом, Кастор — кратная звезда, состоящая из шести компонентов.

Через двадцать лет Гершель согласился со взглядами Мичелла, считавшего двойные звезды физически связанными между собой. В двух работах, напечатанных в *Philosophical Transactions* за 1803 и 1804 годы, он сообщил, его самостоятельные наблюдения, дополненные наблюдениями Бадлея от 1759 года, позволили

обнаружить постепенное изменение в направлении линии, соединяющей составляющие Кастора, что можно было объяснить тем, что звезды вращаются относительно друг друга. Гершелем были приблизительно установлены периоды обращения некоторых двойных звездных систем, а именно для Кастора — 342 года, для Гаммы Льва — 1200 лет, для Дельты Змеи — 375 лет, для Эпсилона Волопаса — 1681 год. А звезда Эпсилон Лиры была отмечена как «дважды двойная»; в обеих парах звезд, составляющих эту систему, было обнаружено взаимное смещение.

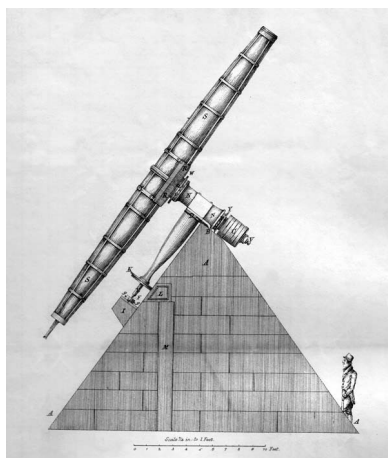
Встретился даже пример покрытия (затмения) одной звезды другою за время их обращения одной около другой: этот случай был подмечен в 1795 году в быстро обращающейся паре Дзеты Геркулеса.

Можно считать, что это было первое прямое доказательство господства закона тяготения за пределами солнечной системы.

Глава 7-9-5

Струве и двойные звезды

Научная карьера Фридриха-Георга-Вильгельма (Василия Яковлевича) Струве служит примером того, как наука по мере своего развития неизбежно дробится на отдельные специальности. Струве, если оставить в стороне его другие работы, был специалистом в области двойных звезд. Самая ранняя его работа имела целью проверить результаты Гершеля относительно орбитального движения Кастора, и затем Струве во всю свою жизнь уже не покидал пристрастия к этого рода задачам. Свои наблюдения Струве начал на Дерптской обсерватории еще в 1813 году, однако лишь с 1819 года, когда был приобретен у Троутона 1,5-метровая (5 фут.) ахроматический рефрактор, Струве получил возможность измерять двойные звезды и определять углы положения пар звезд с достаточной точностью. Первый его каталог включал 795 звезд.



Ахроматический рефрактор Струве

11 февраля 1825 года Струве начал громадный труд: он задумал сделать обзор всего северного звездного неба от полюса вплоть до пятнадцатого градуса склонения к югу от небесного экватора. Эта работа длилась более двух лет, и, после исследования почти 120000 звезд, было найдено 2200 новых двойных и кратных звезд.

Следующие за тем десять лет целиком были посвящены тончайшим и терпеливым измерениям этих двойных звезд; результаты составили материал для «*Mensurae Micrometricae*», вышедших в свет в Петербург в 1837 году. В этой монументальной работе даны места на небе, углы положения и расстояния спутников, цвета и относительная яркость 3112 двойных и кратных звезд. Работы Струве еще долгое время использовали для обнаружения перемен в системах двойных звезд.

Из наблюдений Струве оказалось, что, примерно, одна на каждые сорок звезд (если брать все звезды до девятой величины) двойная; если же брать только яркие звезды, то процент двойных в два раза больше. Струве объяснял это различие трудностью разглядеть слабые спутники чересчур удаленных светил. Было замечено также, что двойные звезды обладают значительным собственным движением.



61 Лебедя

Каталог Струве включает в себе пары звезд, для которых расстояние между составляющими меньше 32". Струве считал, что при расстоянии, превышающем этот предел, становится слишком значительной вероятность чисто случайной, кажущейся близости двух звезд. Число найденных действительных двойных звезд оказалось настолько велико, что само по себе послужило доказательством существования физически связанных двойных звезд. Многие звезды, считавшиеся прежде простыми, оказались двойными, а в нескольких случаях, когда звезда была уже известна как двойная, одна из ее составляющих в свою очередь была двойной. Отмечены были пять групп, где по две пары звезд расположены так близко друг к другу, что невольно возникало убеждение в взаимной связи обеих пар. Кроме того, в списки были внесены 124 примера тройных, четверных и кратных звезд.

Еще Бессель утверждал, что общность видимых собственных движений нескольких звезд могла служить основанием считать эти звезды принадлежащими к одной системе. Наблюдение этой общности движения стала для

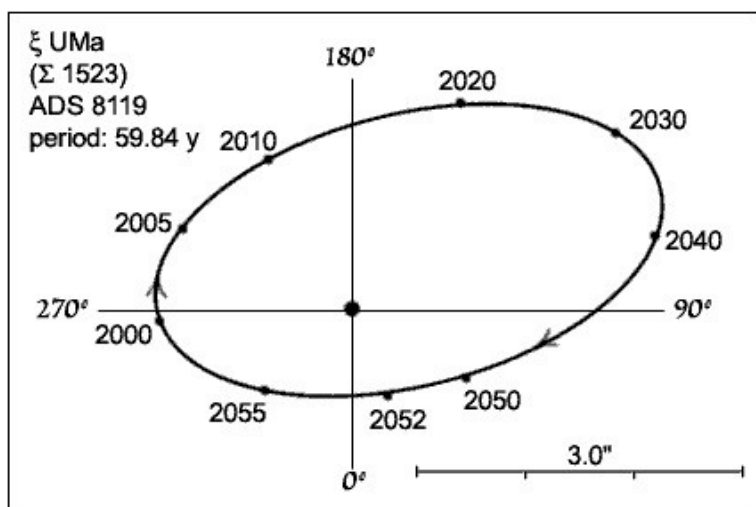
Струве одним из главных критериев для распознавания истинных двойных звезд.

Именно на этом основании 61 Лебеда была признана подлинной двойной звездой. И хотя обе составляющие звезды 61 Лебеда по-видимому летят почти по прямым линиям, (т. е. орбитальное относительное движение их незаметно), однако вероятность того, что они составляют физическую систему и связаны взаимно, по словам Струве, больше вероятности того, что Солнце завтра утром обязательно взойдет. Мало того, оказалось, что узы единства движения связывают некоторые звезды, отстоящие видимо друг от друга несравненно дальше, чем сочлены заурядных двойных звезд. И это явление настолько часто, что поневоле нужно согласиться, что число звезд «одиночных» вероятно только в два или три раза больше числа звезд в действительности двойных или кратных.

Глава 7-9-6

Джон Гершель и двойные звезды

Джон Гершель, сын Уильяма Гершеля, начал измерять двойные звезды еще в 1816 году. А в 1820 он закончил постройку 45-см (18-дюйм.) рефлектора, который стал главным инструментом при всех его исследованиях. Вскоре затем он предпринял ряд наблюдений в сообществе с Соутом. Результаты — микрометрические измерения 380 двойных звезд — представлены были Королевскому Лондонскому Обществу в мемуаре в 1824 году. Джон Гершель подтвердил многие из выводов старшего Гершеля относительно орбитального движения двойных звезд. Так оказалось, например, что звезда Эта в созвездии Северной Короны уже начала второй оборот с тех пор, как впервые была открыта ее двойственность; в другой звезде, Тау Змееносца, обе составляющие сблизились настолько, что звезда казалась теперь одиночной, а движение звезды Кси Большой Медведицы происходило по эллиптической орбите и притом так быстро, что можно было замечать и измерять перемещения ее каждый месяц.



Движение звезды Кси Большой Медведицы

С самого начала существовала твердая уверенность, что сила, удерживающая звезды, есть не что иное, как хорошо знакомое нам тяготение, управляющее движениями планет вокруг солнца. Однако, окончательно это было установлено не ранее 1827 года, когда Савари в Париже показал, что орбита спутника Кси Большой Медведицы может быть представлена эллипсом, по которому спутник обращается за 58,25 лет, который вычислен согласно теории тяготения. Энке, в Берлине, дал затем еще более изящный способ вычисления орбит двойных звезд. Со своей стороны, Джон Гершель настаивал на бесполезности аналитических вычислений в тех случаях, где исходные данные были крайне неточны. В 1832 году он предложил графический способ определения орбиты с «помощью глаза и руки», — прием, годный именно в тех случаях, где требуется скорее оценка, а не строгое вычисление.

В 1825 году Гершель предпринял всеобщий «обзор» северного полушария неба, имевший специальной целью

новый осмотр и проверку туманных пятен, открытых еще его отцом. Этой работе Гершель посвятил восемь лет настойчивого труда, попутно им были открыты 3347 двойных звезд.

Следующая задача, которую поставил перед собой Джон Гершель, была не менее грандиозна. «Сильно подстрекаемый как громадным интересом вопроса», говорил сам Гершель, «так и красотой зрелища, которое представляют собой эти предметы исследования», он решил завершить свою работу полным обзором также и южного полушария неба.

5 марта 1834 года он установил свой рефлектор на Мысе Доброй Надежды в Южной Африке и начал систематические наблюдения южного неба. Результаты были полностью опубликованы лишь в 1847 году. Гершель открыл и тщательно измерил 2102 двойных звезд южного неба, но, к сожалению, он не успел привести в порядок уже собранный им громадный материал.

Глава 7-9-7

Эта Киля (η Киля)

Во время пребывания Гершеля в Южной Африке ему удалось наблюдать удивительное небесное явление. В созвездии Корабля (сейчас созвездие Киля), среди туманности Гомункул, как бы окутанная ею, видна яркая звезда Эта Корабля (Киля). С нею связана захватывающая история, которая подтверждает то, что астрономия — по-настоящему интересная наука.

До XVII столетия не существует достоверных записей о наблюдении или открытии Эты Киля, хотя нидерландский мореплаватель Питер Кейзер примерно в 1595 — 1596 годах описал звезду 4-й величины приблизительно в том месте, где расположена Эта Киля. Эти данные были воспроизведены на небесных глобусах Петера Планциуса и Йодокуса Хондиуса и в 1603 году появились в «Уранометрии» Иоганна Байера.



Звезда η Килия — белая точка в центре изображения, на стыке двух лопастей туманности Гомункул.

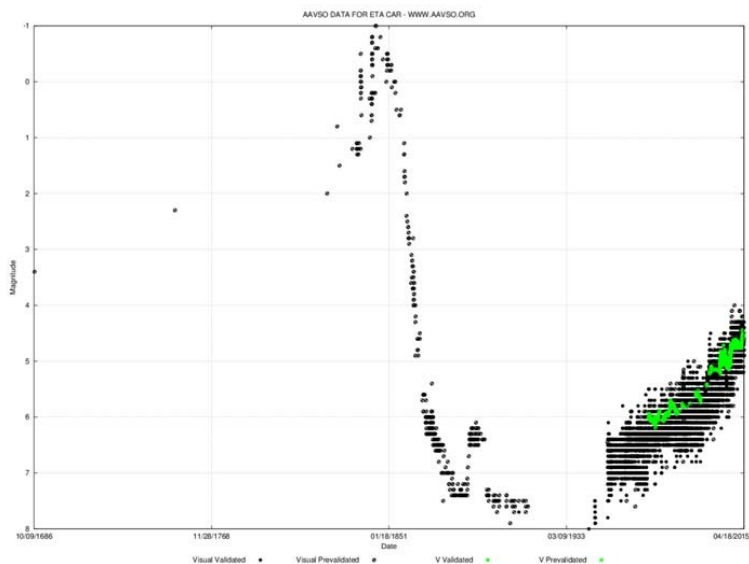
Первое уверенное упоминание об Эте Килия принадлежит Эдмунду Галлею, в 1677 году, во время посещения им острова Святой Елены, он оценил ее блеск четвертой величиной. «Каталог Южного неба» Галлея был опубликован в 1679 году, где звезда была названа Этой Дуба Карла и Этой Корабля Арго, как и в атласе Байера. В 1751 году Никола Луи де Лакайль разделил созвездия «Корабль Арго» и «Дуб Карла» на несколько меньших созвездий. Звезда оказалась в «килевой» части «Корабля Арго», получившей наименование созвездия Килия. Лакайль, а позже некоторые другие наблюдатели посчитали ее звездой второй величины.

В 1827 году путешественник Бёрчелл, находившейся тогда в г. Сан-Паолу около Рио де Жанейро, увидел, что эта звезда достигла блеска первой величины. Это показалось Бёрчеллу странным, поскольку во время своих африканских путешествий в 1811 — 1815 годах оценивал ее, как звезду четвертой величины. Он первым высказал гипотезу о её переменности. Джон Гершель в 1830-х годах проделал серию точных измерений, которая показала, что

яркость звезды колебалась в районе 1,4 звёздной величины вплоть до ноября 1837 года. Вечером 16 декабря 1837 года Гершель был поражён тем, что звезда по своей яркости превзошла Ригель, а уже 2 января следующего года почти равнялась по блеску звезде Альфа Центавра.. Это событие положило начало 18-летнему периоду в эволюции Эты Киля, известному как «Великая вспышка».

После этого блеск Эты Киля начал падать. Однако в апреле 1843 года наступил второй и еще более интенсивный максимум. Маклиз, бывший тогда директором Капской обсерватории, заметил, что звезда сверкает с блеском, почти достигавшим блеска Сириуса. Эти усиления и понижения блеска были осложнены быстрыми «дрожаниями» яркости. Наблюдения на Мысе Доброй Надежды показали, что звезда с 11 по 14 марта 1843 года превосходила по яркости Канопус, затем начала меркнуть, но затем вновь стала увеличивать блеск, достигнув уровня яркости между Альфой Центавра и Канопусом с 24 по 28 марта, и снова начала тускнеть. На протяжении большей части 1844 года звезда по яркости находилась посередине между Альфой и Бетой Центавра, то есть её видимый блеск составлял около $+0,2^m$, но к концу года он вновь начал расти. В 1845 году яркость звезды достигла $-0,8^m$, затем $-1,0^m$. Пики яркости, пришедшиеся на 1827, 1838 и 1843 годы, судя по всему, обусловлены прохождением периастра звёздами двойной системы Эта Киля, когда их орбиты проходили ближе всего друг к другу. С 1845 по 1856 яркость падала примерно на 0,1 звёздной величины в год, но с быстрыми и большими колебаниями.

С 1857 года яркость уменьшалась быстрыми темпами, пока в 1886 году звёздная система перестала быть видимой невооружённым взглядом. Было показано, что этот эффект был вызван конденсацией пыли из выброшенного вещества, окружающего звезду, а не собственными переменами в светимости.



Кривая изменения блеска Эта Киля

Очередное увеличение яркости началось в районе 1887 года. Звезда достигла отметки в 6,2 звёздной величины к 1892 году, затем к марту 1895 блеск упал до 7,5^m. Несмотря на исключительно визуальный характер наблюдений вспышки 1890 года, было подсчитано, что Эта Киля потеряла около 4,3 звёздной величины из-за облаков газа и пыли, выброшенных в ходе предшествовавшей «Великой вспышки». В отсутствие этих помех яркость звёздной системы на тот момент должна была бы достигать около 1,5 — 1,9 звёздной величины, значительно ярче, чем наблюдавшийся блеск. Это была своего рода уменьшенная копия «Великой вспышки», со значительно меньшими выбросами вещества.

По современным представлениям, Эта Киля — двойная звезда-гипергигант с совокупной светимостью компонент более чем в 5 миллионов раз превосходящей солнечную светимость. Находится на расстоянии в 7500 световых лет (2300 парсек).

Две звезды в системе Эта Киля движутся вокруг общего центра тяжести по вытянутым эллиптическим орбитам

(эксцентриситет 0,9) с периодом в 5,54 земного года. Основной компонент системы — гипергигант, яркая голубая переменная (ЯГП), изначально обладавшая массой в 150—250 солнечных, из которых утрачено уже около 30 солнечных масс. Это одна из самых больших и неустойчивых известных звёзд, её масса близка к теоретическому верхнему пределу. Как ожидается, в астрономически близком будущем (несколько десятков тысячелетий) она станет сверхновой.

Вторая звезда, η Car B, тоже характеризуется очень высокой поверхностной температурой и светимостью, её масса около 30 — 80 масс Солнца.

Свет от компонент системы Эта Киля сильно поглощается небольшой биполярной туманностью Гомункул с размерами 12 x 18 угловых секунд, которая состоит из вещества центральной звезды, выброшенного в ходе «Великой вспышки». Масса пыли в Гомункуле оценивается в 0,04 масс Солнца. Эта Киля А теряет массу настолько быстро, что её фотосфера гравитационно не связана со звездой и «сдувается» излучением в окружающее пространство.

Глава 7-9-8

Двойные системы Сириуса и Прокциона

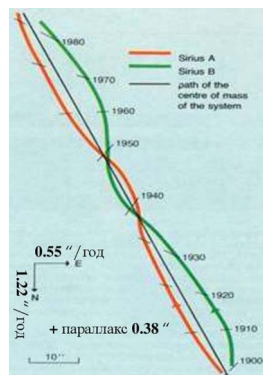
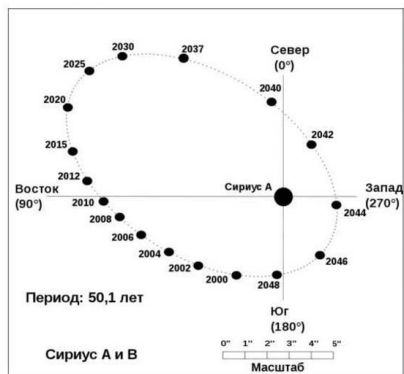
Еще в 1783 году Джон Гудрайк первым из астрономов предположил, что изменение блеска переменной звезды Алголь, может быть объяснен затмением звезды вращающимся вокруг большим телом. То есть появилось понимание, что существуют звезды, свет которых пока (до появления более сильных телескопов) не может быть зафиксирован.

Но после того, как Фридрих Вильгельм Бессель создал теорию ошибок наблюдения, позволившую улучшить точность координат небесных объектов в десять раз, стало возможным отслеживать тонкие эффекты собственных движений звезд. Еще в 1834 году Бессель заподозрил неравномерность собственного движения Сириуса. Тот же эффект он заметил в 1840 году и в движении Прокциона. После нескольких лет точнейших измерений новым

меридианным кругом работы Репсоляда Бессель, в 1844 году, объявил о том, что обнаруженные им неправильности в видимых собственных движениях Сириуса и Прокциона могут объясняться существованием вблизи звезд «темных спутников», которые вращаются вокруг них. Бессель даже оценил период обращения приблизительно в полстолетия, как для Сириуса, так и для Прокциона.

«Я держусь того мнения», — писал он Гумбольдту, — «что Прокцион и Сириус составляют каждый настоящую систему двойных звезд, куда входят по одной видимой и одной невидимой звезде. Нет никакого основания предполагать, что способность испускать собственный свет представляет собой коренное, неперменное свойство мировых тел. Тот факт, что мы видим бесчисленное множество ярко блистающих звезд, не может еще сам по себе служить доводом для того, чтобы отрицать возможность существования бесчисленного множества темных, невидимых звезд».

Этот вывод шел в разрез с господствовавшими в то время идеями и был принят с недоверием. Лишь Петерс в 1851 году подтвердил снова, что неправильности движения Сириуса вполне могут быть объяснены, если только допустить орбитальное, с периодом в пятьдесят лет, движение этой звезды вокруг общего центра притяжения.



Орбитальное движение системы Сириуса

Но предсказание Бесселя было подтверждено уже через несколько лет. Вечером 31 января 1862 года Альван Кларк (глава знаменитой фирмы оптиков в Америке), испытывая свойства нового 45-см (18-дюйм.) рефрактора, на самом деле увидел гипотетический спутник Сириуса, как раз в том самом месте, около яркой звезды, какое было указано теорией.

По современным данным две звезды вращаются вокруг общего центра масс на расстоянии примерно в 20 астрономических единиц с периодом оборота 49,4 лет. В 1915 году астрономы, работавшие в обсерватории Маунт-Вильсон, установили, что Сириус В является белым карликом (это был первый из обнаруженных белых карликов). Из этого следует, что Сириус В в прошлом должен был быть гораздо массивнее Сириуса А, так как он в процессе эволюции уже покинул главную последовательность.

Возраст системы Сириуса, по современным исследованиям, составляет примерно 230 миллионов лет. Первоначально система Сириуса состояла из двух бело-голубых звёзд спектрального класса В. У Сириуса А масса была около двух масс Солнца, у Сириуса В — 5 пять масс Солнца. Около 120 миллионов лет назад более массивный Сириус В прогорел и стал красным гигантом, затем сбросил внешнюю оболочку и перешёл в состояние белого карлика, в котором остаётся и поныне. В настоящее время Сириус В имеет массу в 1,02 масс Солнца и является одним из самых тяжёлых известных белых карликов (масса типичных белых карликов 0,5-0,6 масс Солнца).

Процион В был обнаружен 13 ноября 1896 года, когда Шэберле в большой рефрактор Ликской обсерватории открыл давно искомое светило, как звездочку тринадцатой величины. Период обращения системы Проциона в сорок лет, указанный еще в 1862 году Ауверсом, оказался удивительно точным.

По современным данным Процион А — желтовато-белая звезда спектрального класса F — ненамного больше и в 7,7 раза ярче, чем Солнце. Фактически, она слишком яркая, даже для её спектрального класса. Поэтому её относят к субгигантам. Это означает, что синтез гелия из водорода в её недрах уже закончен, и началось её

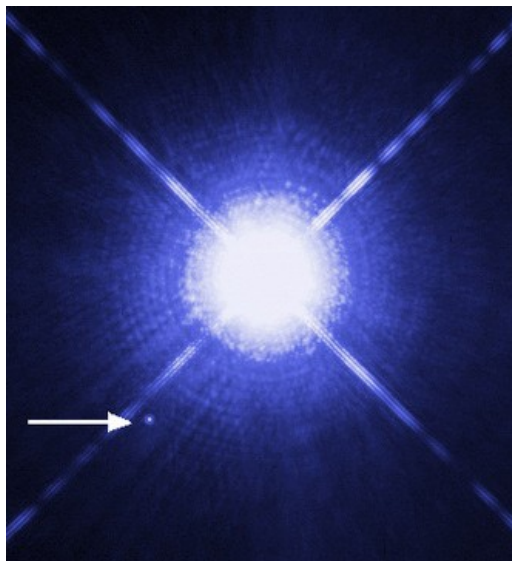
расширение. Хотя звезда пока и не начала «краснеть», она продолжает увеличиваться, и в конечном итоге должна достигнуть размера, в 80—150 раз превышающего настоящий, и в конечном итоге принять красный или оранжевый цвет. По некоторым оценкам, это должно произойти через 10—100 миллионов лет.

Процион В — тусклый белый карлик, удалённый от Прочиона А на расстояние 16 астрономических единиц. По своим характеристикам аналогичен белому карлику у Сириуса, его видимый блеск равен $+10,75^m$. Масса Прочиона В меньше, чем Сириуса В.

Комментарий

Белые карлики — звёзды, состоящие из электронно-ядерной плазмы, лишённые источников термоядерной энергии и слабо светящиеся благодаря своей тепловой энергии, постепенно остывая и краснея.

Ближайший известный белый карлик — Сириус В, находящийся на расстоянии в 8,6 световых лет.



Белый карлик Сириус В (отмечен стрелкой) рядом с ярким Сириусом А. Фото телескопа Хаббл

Белые карлики образуются в процессе эволюции звёзд, чья масса недостаточна для превращения в нейтронную звезду, не превышает около 10 масс Солнца. Когда звезда главной последовательности малой или средней массы заканчивает превращение водорода в гелий, она расширяется, становясь красным гигантом. Красный гигант поддерживается термоядерными реакциями превращения гелия в углерод и кислород. Если масса красного гиганта оказывается недостаточной, звезда сбрасывает внешнюю оболочку, формируя планетарную туманность, а ядро звезды становится белым карликом, состоящим из углерода и кислорода.

Часть 7-10

Двойные звезды. Начало XX века

Часть 7-10

Двойные звезды. Начало XX века

- Глава 7-10-1. Новые каталоги двойных звезд
- Глава 7-10-2. Шербёрн Уэсли Бёрнхем
- Глава 7-10-3. Роберт Грант Эйткин
- Глава 7-10-4. Двойные звезды. Справка
- Глава 7-10-5. Визуально-двойные звёзды
- Глава 7-10-6. Система α Центавра и Проксимы Центавра
- Глава 7-10-7. Затменно-двойные звёзды
- Глава 7-10-8. Спектрально-двойные звёзды
- Глава 7-10-9. Кратная система Кастора
- Глава 7-10-10. Другие модели двойных звезд
- Глава 7-10-11. Возникновение двойных звезд
- Глава 7-10-12. Массы двойных звезд
- Глава 7-10-13. Отклонения от зависимости масса — светимость
- Глава 7-10-14. Наиболее массивные известные звезды
- Глава 7-10-15. Наименее массивные известные звезды
- Глава 7-10-16. Бета Лирь
- Глава 7-10-17. VV Кормы
- Глава 7-10-18. Эпсилон Возничего
- Глава 7-10-19. Звезда Пласскетта
- Глава 7-10-20. Джон Стэнли Пласскетт

Глава 7-10-1

Новые каталоги двойных звезд

Наиболее знаменитым исследователем двойных звезд в XX веке стал Шербёрн Уэсли Барнхэм, который вначале был любителем астрономии. По профессии Барнхэм был секретарем суда и жил в Чикаго, но четыре года он работал на Ликской обсерватории. Свои первые открытия он сделал с 6-дюймовым рефрактором, установленным во дворе его дома, но позднее он получил доступ к некоторым лучшим телескопам Соединенных Штатов. Когда Барнхэм начинал свои наблюдения, считалось, что почти все визуально-двойные звезды уже известны. По словам Эггена, после того как Барнхэм опубликовал сообщение о первых 180 открытых им двойных, Уэбб в Англии, другой любитель астрономии, писал ему:

«Едва ли вы сможете долгое время продолжать работу теми же темпами, поскольку число таких объектов не бесконечно и каждое новое открытие означает, что неизвестных переменных стало одной меньше. Но то, что вы уже сделали, настолько значительнее всего того, что сделано в этой области кем-либо из ваших современников, что вы можете по праву считать себя превосходным наблюдателем».

Барнхэм открыл 1340 новых визуально-двойных звезд, и в 1894 г за изучение двойных звезд ему была присуждена золотая медаль Королевского астрономического общества. Чтобы отличать открытые им двойные звезды от уже известных, он еще в начале своей деятельности приступил к составлению каталога, содержащего данные о всех двойных звездах. После нескольких неудач и задержек его каталог двойных звезд в пределах 121° от северного полюса, содержащий 13 665 пар, был опубликован в 1906 г.

Много более трудных для обнаружения двойных систем было открыто Эйткином и Хасси в Ликской обсерватории и Иннесом, ван ден Босом и Финзенем на обсерватории Южно-Африканского Союза. В 1932 г. Эйкин опубликовал новый каталог двойных звезд в

пределах 120° от северного полюса, и примерно в это же время вышел в свет каталог южных двойных звезд, составленный Иннесом.

В каталоге Эйкина всего было 17 180 пар звезд; сюда не вошли многие широкие пары Барнхэма, так как Эйкин принял критерий, учитывающий суммарную видимую звездную величину двойной и угловое расстояние ее компонент друг от друга. Верхние пределы этих параметров компонент, принятые Эйкином, неизбежно оказываются несколько неопределенными, поскольку мы не в состоянии уверенно отличать физические двойные от визуальных. Однако Эйкин полагал, что для принятого верхнего предела взаимного линейного расстояния компонент угловое расстояние будет наибольшим для самых ярких звезд, поскольку они в среднем ближе к Солнцу. Таким образом пределы взаимного углового расстояния объектов, принятые Эйкином, изменяются от $400''$ для двойных с видимой величиной $+1,0$ до $6''$ для звезд видимой величины $+10,0$.

В Ликской обсерватории под руководством Джефферса создан «Индекс-каталог» двойных звезд всего неба. Он вышел в 1964 г. и содержит основные сведения о 65 тысячах звезд.

Глава 7-10-2

Шербёрн Уэсли Бёрнхем

Шербёрн Уэсли Бёрнхем (1838 — 1921 гг.) — американский астроном.

Родился в Тетфорде (штат Вермонт). По профессии Барнхэм был секретарем суда. Начал заниматься астрономией как любитель, в 1870—1882 проводил наблюдения в собственной обсерватории в Чикаго, а также в обсерваториях Дирборн (Чикаго) и Уошберн (Мэдисон), в обсерватории Дартмутского колледжа (штат Нью-Гэмпшир). В 1878 участвовал в исследовании астроклимата на горе Гамильтон (Калифорния), где было выбрано место для строительства Ликской обсерватории. В 1888 — 1892 работал в Ликской обсерватории, в 1893—

1913 — в Йеркской обсерватории. С 1893 — профессор практической астрономии Чикагского университета.

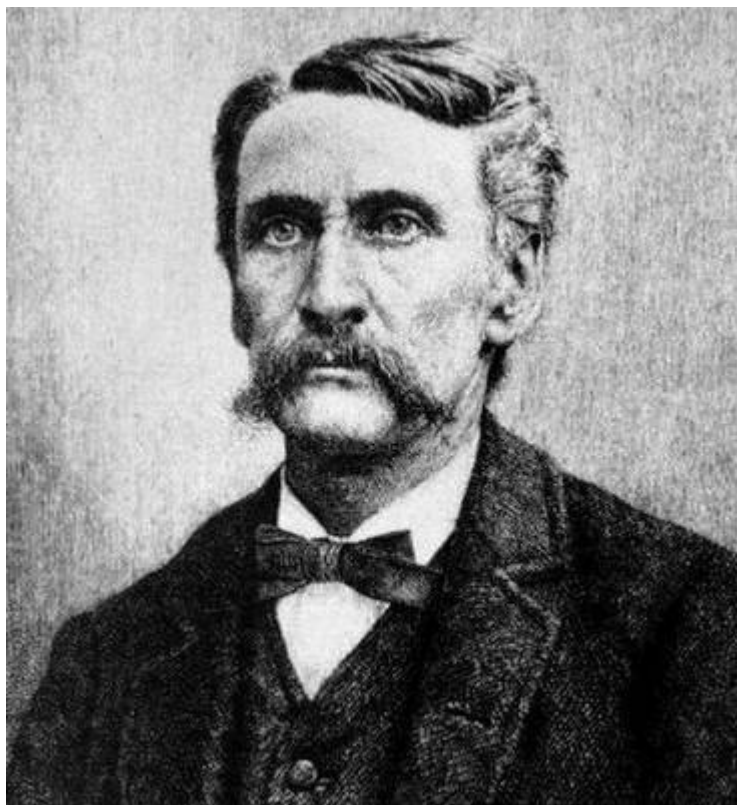


Рис. Шербёрн Уэсли Бёрнхем

Барнхэм стал наиболее знаменитым исследователем двойных звезд в XX веке. Свои первые открытия он сделал с 6-дюймовым рефрактором, установленным во дворе его дома, но позднее он получил доступ к некоторым лучшим телескопам Соединенных Штатов. Когда Барнхэм начинал свои наблюдения, считалось, что почти все визуально-двойные звезды уже известны. По словам Эггена, после того как Барнхэм опубликовал сообщение о первых 180

открытых им двойных, Уэбб в Англии, другой любитель астрономии, писал ему:

«Едва ли вы сможете долгое время продолжать работу теми же темпами, поскольку число таких объектов не бесконечно и каждое новое открытие означает, что неизвестных переменных стало одной меньше. Но то, что вы уже сделали, настолько значительнее всего того, что сделано в этой области кем-либо из ваших современников, что вы можете по праву считать себя превосходным наблюдателем».

Но, проводя наблюдения на рефракторах с превосходными объективами, созданными Э. Кларком, Бёрнхем открыл 1274 двойные звезды, среди которых много интересных и трудных для наблюдения пар. В 1894 году за изучение двойных звезд ему была присуждена золотая медаль Королевского астрономического общества. Чтобы отличать открытые им двойные звезды от уже известных, он еще в начале своей деятельности приступил к составлению каталога, содержащего данные обо всех двойных звездах. После нескольких неудач и задержек его каталог двойных звезд в до склонения -31° от северного полюса, содержащий 13 665 пар, был опубликован в 1906 году.

Глава 7-10-3

Роберт Грант Эйткин

Эйткен Роберт Грант (31. XII 1864-29. X 1951) — американский астроном, член Национальной АН (с 1918 г.). Род. в Джэксоне (Калифорния). В 1887 г. окончил Уильямс-колледж (Уильямстаун, Массачусетс). После нескольких лет преподавания математики и астрономии начал в 1895 г. работать в Ликской обсерватории, в 1930 — 1935 гг. был ее директором, с 1935 г. — почетным директором.

Основные научные работы посвящены изучению двойных звезд. Располагая наиболее подходящим для исследований двойных звезд телескопом — 36-дюймовым рефрактором Ликской обсерватории, открыл и измерил большое число двойных звезд. В 1899 г. совместно с У.

Хасси начал систематический обзор неба от северного полюса до склонения — 22° с целью поиска новых двойных ярче 9-й величины; к 1915 г. открыл 3100 пар и заново измерил много трудных для наблюдения пар. В 1932 г. опубликовал «Новый общий каталог двойных звезд» (ADS), который является продолжением аналогичного каталога Ш. Бёрнхема и содержит все известные к 1927 г. сведения о 17 200 парах звезд севернее склонения — 30° .



Роберт Грант Эйткин

Вычислил орбиты большого числа двойных звезд, выполнил очень точные микрометрические визуальные измерения положений многих комет, которые использовались для расчетов орбит комет. Провел несколько серий визуальных измерений положений пятого спутника Юпитера и обоих спутников Марса, недоступных для фотографирования из-за их близости к планетам.

В 1937—1940 гг. — президент Американского астрономического общества. Премия им. Лаланда Парижской АН (1906), медаль им. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1926), Золотая медаль Лондонского королевского астрономического общества (1932).

Глава 7-10-4

Двойные звезды. Справка

Двойная звезда — двойная звёздная система из гравитационно связанных звёзд, обращающихся по замкнутым орбитам вокруг общего центра масс. Двойные звёзды — весьма распространённые объекты. Примерно половина всех звёзд нашей Галактики принадлежит к двойным системам. Звёзды, которые находятся на малом угловом расстоянии друг от друга на небесной сфере, но гравитационно не связаны, не относятся к двойным; они называются оптически-двойными.

Измерив период обращения и расстояние между звёздами, иногда можно определить массы компонентов системы. Этот метод практически не требует дополнительных модельных предположений, и поэтому является одним из главных методов определения масс в астрофизике. По этой причине двойные системы, компонентами которых являются чёрные дыры или нейтронные звёзды, представляют большой интерес для астрофизики.

Классификация

Физически двойные звезды можно разделить на два класса:

звёзды, между которыми обмен масс невозможен в принципе — разделённые двойные системы.

звёзды, между которыми идёт, будет идти или шёл обмен массами — тесные двойные системы.

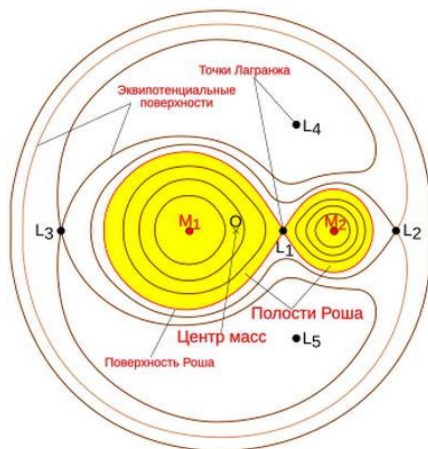
Их в свою очередь можно разделить на:

Полуразделённые, где только одна звезда заполняет свою полость Роша.

Контактные, где обе звезды заполняют свои полости Роша.

Комментарий

Эквипотенциальные поверхности — понятие, применимое к любому к ньютоновскому гравитационному полю. Эквипотенциальная поверхность — это поверхность, на которой скалярный потенциал данного потенциального поля принимает постоянное значение (поверхность уровня потенциала).



Полости Роша (обозначены жёлтым) для двойной системы. Сплошные линии — линии равного потенциала.

В (стационарном) гравитационном поле уровень неподвижной жидкости устанавливается по эквипотенциальной поверхности. В частности, приближенно можно утверждать, что по эквипотенциальной поверхности гравитационного поля Земли проходит уровень океанов. Форма поверхности океанов, продолженная на поверхность Земли, называется геоидом и играет важную роль в геодезии. Геоид, таким образом является эквипотенциальной поверхностью силы тяжести, состоящей из гравитационной и центробежной составляющей.

Глава 7-10-5

Визуально-двойные звёзды

Двойные системы также классифицируются по способу наблюдения, можно выделить визуальные, спектральные, затменные, астрометрические двойные системы.

Двойные звезды, которые возможно увидеть раздельно (или, как говорят, которые могут быть разрешены), называются видимыми двойными, или визуально-двойными. Возможность наблюдать звезду как визуально-двойную определяется разрешающей способностью телескопа, расстоянием до звёзд и расстоянием между ними. Таким образом, визуально-двойные звезды — это в основном звезды окрестностей Солнца с очень большим периодом обращения (следствие большого расстояния между компонентами). Из-за большого периода проследить орбиту двойной можно только по многочисленным наблюдениям на протяжении десятков лет. На сегодняшний день в каталогах WDS и CCDM свыше 78 000 и 110 000 объектов соответственно, и только у нескольких сотен из них можно вычислить орбиту. У менее чем сотни объектов орбита известна с достаточной точностью, чтобы получить массу компонентов.

При наблюдениях визуально-двойной звезды измеряют расстояние между компонентами и позиционный угол линии центров, иначе говоря, угол между направлением на северный полюс мира и направлением линии, соединяющей главную звезду с её спутником.

Комментарии

WDS

Вашингтонский каталог визуально-двойных звёзд (англ. Washington Double Star Catalog) — каталог двойных звёзд, который в настоящее время поддерживается Военно-морской обсерваторией США. В каталоге представлены положения, видимые величины, собственные движения и спектральные классы 115 769 пар двойных звёзд (по состоянию на январь 2012 года). Каталог также включает в себя информацию о кратных звёздных системах. В общем случае, звезды с несколькими компонентами N будут представлены в каталоге записями для N-1 пар звёзд. Она включает в себя все двойные звезды, которые были каталогизированы и чьи параметры были измерены сотнями наблюдателями в течение более двух веков. На каждого из них в каталоге имеется ссылка, записываемая сокращения из нескольких заглавных букв, некоторые из которых приведены ниже:

База данных, используемая для построения WDS, возникла в Ликской обсерватории, в которой был создан индекс-каталог визуально-двойных звёзд (Index Catalogue of Visual Double Stars, IDS), опубликованный в 1963 году. В 1965 году по инициативе Чарльза Уорли (Charles Worley), этот проект был переведён в Военно-морскую обсерваторию. С тех пор он был дополнен большим числом измерений из каталогов Hipparcos и Tycho, спекл-интерферометрических измерений, и других источников. Первая версия каталога содержала 73 610 двойных пар. Более полная версия, появившаяся в 1996 году содержала уже данные о 78 100 двойных, открытых до 1995 года.

CCDM

Каталог компонентов двойных и кратных звёзд (англ. The Catalog of Components of Double and Multiple Stars) — астрометрический каталог двойных и кратных звёзд. Создан Жаном Домманже и Омером Нисом в Королевской обсерватории Бельгии, чтобы обеспечить входной каталог звёзд для миссии «Hipparcos».

Первое издание каталога, выпущенное в 1994 году, содержит записи о 74 861 компоненте из 34 031 звёздных систем.

В 2002 году вышло расширенное второе издание, содержащее данные о 105 838 компонентов из 49 325 двойных и кратных звёзд. В каталоге перечислены координаты, звёздные величины, спектральные классы и собственные движения для каждого компонента.

Глава 7-10-6

Система α Центавра и Проксима Центавра

Известным примером астрометрически двойной является система, состоящая из Проксима Центавра и тесной визуально-двойной звезды α Центавра, причем расстояние Проксима от пары настолько велико, что орбитальный период Проксима составляет, вероятно, миллионы лет;

В 1915 году Роберт Иннес, директор обсерватории, находящейся недалеко от Йоханнесбурга на Мысе Доброй Надежды (1903—1927), открыл звезду, имевшую такое же собственное движение, как и звезда Альфа Центавра. Он предложил назвать её Проксима Центавра. В 1917 году нидерландский астроном Джоан Войт измерил тригонометрический параллакс звезды и подтвердил, что Проксима Центавра находится примерно на таком же расстоянии от Солнца, что и Альфа Центавра. Было также определено, что Проксима Центавра является звездой с минимальной измеренной светимостью (на то время). Первое точное определение параллакса Проксима Центавра было выполнено американским астрономом Гарольдом Олденом (Harold L. Alden) в 1928 году: он подтвердил результаты предыдущих измерений параллакса — $0,783'' \pm 0,005''$.

В 1951 году американский астроном Харлоу Шепли заявил, что Проксима Центавра — вспыхивающая звезда. Сравнение с фотографиями, сделанными ранее, выявило, что звезда демонстрирует некоторое увеличение яркости примерно на 8 % изображений; в то время этот факт позволял считать её наиболее активной вспыхивающей звездой. Относительная близость звезды позволяет

проводить тщательные наблюдения её вспышечной активности. В 1980 году астрономы обсерватории HEAO-2 составили подробную кривую энергии рентгеновского излучения Проксима Центавра. Дальнейшие наблюдения вспышечной активности производились с помощью спутников EXOSAT и ROSAT. В 1995 году рентгеновское излучение менее масштабных, подобных солнечным, вспышек наблюдал японский спутник ASCA. С тех пор Проксима Центавра является объектом изучения большинства обсерваторий, работающих в рентгеновском диапазоне, в том числе XMM-Newton и «Чандра».

Глава 7-10-7

Затменно-двойные звёзды

Изменения блеска затменно-двойных звезд также были известны на протяжении многих веков. Первое систематическое исследование Алголя, одной из самых популярных затменно-двойных, было начато в Англии любителем астрономии Гудрайком в конце XVIII в. Он нашел, что колебания блеска можно объяснить затмением яркой звезды темным спутником при их движении вокруг общего центра масс по орбите, плоскость которой почти перпендикулярна картинной плоскости наблюдателя.

Эта теория была подтверждена детальными фотометрическими исследованиями Пикеринга в 1880 г., который предложил также метод определения параметров системы (например, радиусов звезд, выраженных в долях их взаимного расстояния) по точной кривой изменения блеска затменной. Более полная теория изменения блеска затменной переменной была разработана Ресселом и Шепли в 1912 г. Существенные дополнения были внесены в эту теорию в 1950 г. Меррилом (в Принстонском университете), который опубликовал таблицы, облегчающие численные расчеты, а в 1959 г. — Копалом в его книге «Тесные двойные системы». К 1900 г. было известно около 20 затменно-двойных, но гораздо большее число их было обнаружено после изобретения новых приборов, например селенового фотосопротивления или

фотоэлемента с внешним фотоэффектом. Первой звездой, обстоятельно изученной Стеббинсом при помощи селенового фотоспротивления, был Алголь; на кривой блеска Стеббинсу удалось обнаружить неглубокий минимум вторичного затмения и определить, «что спутник отнюдь не является темным, он дает больше света, чем наше Солнце, и, более того, гораздо ярче на стороне, которая обращена к главной компоненте».

Глава 7-10-8

Спектрально-двойные звёзды

В 1889 г. при исследовании полученных с объективной призмой спектрограмм, использовавшихся при подготовке Гарвардского каталога звездных спектров, Пикеринг заметил, что спектральные линии более яркой компоненты Мицара иногда кажутся двойными, а иногда одиночными. Пикеринг предположил, что этот эффект вызывается относительным движением двух звезд, вращающихся одна вокруг другой. Наибольшее разделение спектральных линий соответствует моменту времени, когда обе компоненты движутся параллельно лучу зрения, одна приближаясь к нам, а другая удаляясь. Спектральные линии совпадают, когда звезды движутся перпендикулярно лучу зрения. Итак, оказалось, что система Мицар — Алькор состоит по меньшей мере из четырех звезд. Через несколько месяцев Фогель заметил периодические смещения спектральных линий Алголя, подтвердив, таким образом, теорию затмений. В спектре Алголя, однако, наблюдались спектральные линии только одной звезды; вторая компонента была слишком слабой, чтобы ее спектр можно было зарегистрировать. Большинство известных ныне спектрально-двойных относится к этому типу спектрально-двойных с одиночными линиями.

К 1900 г. было известно свыше 50 спектрально-двойных. Их число сначала возрастало очень быстро, поскольку в начале века каждая звезда, у которой наблюдалось периодическое изменение лучевой скорости, классифицировалась как двойная.

Позднее стало ясно, что во многих случаях изменения лучевой скорости, подобные наблюдавшимся у якобы спектрально-двойных с одиночными линиями, в действительности вызывались пульсациями звезды. Каталог спектрально-двойных, составленный на Ликской обсерватории, включает 480 систем с известными элементами орбиты. Свыше 1000 других звезд классифицируются как спектрально-двойные в каталоге лучевых скоростей звезд, опубликованном в 1953 г.

Но если вторая звезда сильно уступает по яркости первой, то мы имеем шанс её не увидеть, и тогда нужно рассмотреть другие возможные варианты. Главный признак двойной звезды — периодичность изменения лучевых скоростей и большая разница между максимальной и минимальной скоростью. Но, строго говоря, не исключено, что обнаружена экзопланета. Чтобы это выяснить, надо вычислить функцию масс, по которой можно судить о минимальной массе невидимого второго компонента и, соответственно, о том, чем он является — планетой, звездой или даже чёрной дырой.

Также по спектроскопическим данным, помимо масс компонентов, можно вычислить расстояние между ними, период обращения и эксцентриситет орбиты. Угол наклона орбиты к лучу зрения выяснить по этим данным невозможно. Поэтому о массе и расстоянии между компонентами можно говорить только как о вычисленных с точностью до угла наклона.

Самый известный и самый обширный из современных каталогов — «SB9» (от англ. Spectral Binaries). По состоянию на 2013 год в нём 2839 объектов.

Глава 7-10-9

Кратная система Кастора

Одна из наиболее известных кратных систем — шестикратная Кастора содержит двойные всех трех типов. Кроме визуально-двойной звезды, состоящей из двух голубых звезд Кастор А и Кастор В, в ней имеется слабая

удаленная компонента Кастор С, визуальная звездная величина которой около +10. Она участвует в собственном движении яркой пары и является, таким образом, физическим членом группы.

В 1896 г. Белопольский в Пулковской обсерватории нашел, что более слабая из двух голубых звезд (Кастор В) является спектрально-двойной с одиночными линиями и периодом 2,9 суток, а Кертис на Ликской обсерватории в 1904 г. открыл, что более яркая голубая звезда (Кастор А) также является спектрально-двойной этого типа с периодом 9,2 суток. По определениям Стрэнда, период визуально-двойной пары оказался равным 380 годам. Наконец, то обстоятельство, что слабый красный спутник голубой пары также является спектрально-двойной, было установлено Джоем и Сэнфордом на обсерватории Маунт Вилсон; период этой тесной пары по их расчетам равен 0,81 суток. Орбитальная плоскость этой двойной почти точно совпадает с лучом зрения; следовательно, в течение каждого цикла в 19,5 час должно происходить два затмения (Кастор С известен как переменная звезда YY Близнецов). Наблюдается спектр обеих этих компонент, и этот факт указывает на то, что две рассматриваемые звезды очень близки по яркости, и их цвета, размеры и массы, по-видимому, также сходны.

Глава 7-10-10

Другие модели двойных звезд

Астрометрические двойные звёзды

В случае визуально-двойных звёзд мы видим перемещение по небу сразу двух объектов. Однако, если представить себе, что один из двух компонентов нам не виден по тем или иным причинам, то двойственность всё равно можно обнаружить по изменению положения на

небе второго компонента. В таком случае говорят об астрометрически-двойных звёздах.

Если наличествуют высокоточные астрометрические наблюдения, то двойственность можно предположить, зафиксировав нелинейность движения. Астрометрические двойные звезды используются для измерения массы коричневых карликов разных спектральных классов.

Спекл-интерферометрические двойные звезды

Спекл-интерферометрия (от англ. speckle — пятнышко, крапинка) — один из методов пространственной интерферометрии, основанный на анализе зернистой структуры изображения объекта. Предложен в 1970 году Антуаном Лабейри.

Спекл-интерферометрия наряду с адаптивной оптикой позволяет достичь дифракционного предела разрешения звёзд, что в свою очередь позволяет обнаруживать двойные звезды.

Обработку спекл-интерферограмм можно условно разделить на два этапа: первичная редукция, связанная с удалением артефактов вносимых приемником излучения, и непосредственно извлечение информации из интерференционных картин. Таким образом, спекл-интерферометрические двойные — это тоже визуально-двойные. Но если в классическом визуально-двойном методе необходимо получить два отдельных изображения, то в данном случае приходится анализировать спекл-интерферограммы.

Спекл-интерферометрия эффективна для двойных с периодом в несколько десятков лет.

В середине 1980-х гг. наземными наблюдениями с применением спекл-интерферометрии удалось довольно точно оценить радиус орбиты Харона, последующие наблюдения орбитального телескопа «Хаббл» не очень сильно изменили полученную оценку.

Микролинзированные двойные

Если на луче зрения между звездой и наблюдателем находится тело с сильным гравитационным полем, то

объект будет линзирован. Если бы поле было сильным, то наблюдались бы несколько изображений звезды, но в случае галактических объектов их поле не настолько сильное, чтобы наблюдатель смог различить несколько изображений, и в таком случае говорят о микролинзировании. В случае, если гравитирующее тело — двойная звезда, кривая блеска, получаемая при прохождении её вдоль луча зрения, сильно отличается от случая одиночной звезды.

С помощью микролинзирования ищутся двойные звезды, где обе компоненты — маломассивные коричневые карлики.

Глава 7-10-11

Возникновение двойных звезд

Койпер показал, что доля двойных и кратных звезд среди звезд, ближайших к Солнцу, составляет по меньшей мере 50%. Уорли на Ликской обсерватории заметил в недавнем обзоре, что из 30 ближайших к нам звезд 13 являются кратными и содержат в сумме 29 компонент. Аналогично, из 30 самых ярких звезд неба 15 являются кратными и содержат 41 компоненту, в то время как остальные 15 представляются одиночными. Из статистического исследования вероятных ошибок функции распределения лучевых скоростей директор Канадской астрофизической обсерватории в Оттаве Р. Петри оценил:

«...что около половины исследованных звезд обладает переменными лучевыми скоростями... По-видимому, большинство этих звезд является спектрально-двойными. Этот результат еще раз подтверждает, что двойные звезды составляют важную часть звездного населения».

В начале нашего столетия большинство астрономов полагало, что все двойные звезды возникли в результате процесса деления одиночных, быстро вращающихся звезд; эту теорию особенно защищал Джинс. Вскоре, однако, стало ясно, что эта теория не применима к достаточно широким визуально-двойным звездам, но оставалась

возможность того, что спектрально-двойные могут все-таки быть результатом такого деления. Позднее были выдвинуты серьезные возражения против этой теории даже в таком варианте, и большинство астрономов склонилось к мнению, что двойные звезды всех типов образуются, как и одиночные звезды и звездные скопления, путем гравитационной конденсации межзвездного газа и пыли.

Глава 7-10-12

Массы двойных звезд

Эддингтон показал, что вследствие светового давления предел массы звезд равен примерно 100 масс Солнца. Следовательно, межзвездные облака, имеющие массу в тысячи и сотни тысяч солнечных масс, с необходимостью должны конденсироваться в большое число отдельных звезд. Таким путем образуются звездные скопления или, в случае облака относительно малой массы, кратные или двойные звезды.

Впоследствии Леду, а в 1958 г. М. Шварцшильд и Харм показали, что вследствие пульсационной неустойчивости любая звезда с массой больше примерно 65 масс Солнца должна разрушиться. Шварцшильд и Харм задали наблюдателям вопрос:

Имеются ли достоверные доказательства существования звезд с массами более 65 масс Солнца? Сахаде на обсерватории Ла-Плата (Аргентина) показал, что фактически таких свидетельств нет, но некоторые двойные (например, HD 47129, известная также как звезда Пласкетта, и UW Большого Пса) близки к этому пределу, а может быть, даже превосходят его.

Двойные звезды можно изучать с различных точек зрения. Однако некоторые астрофизические величины могут быть выведены только из исследований двойных звезд. Так непосредственное определение звездных масс возможно только для двойных звезд и это одно из наиболее важных направлений их изучения.

Третий закон Кеплера в его наиболее общей форме гласит, что произведение полной массы двойной звезды

на квадрат периода обращения равно кубу большой полуоси. Без дополнительных наблюдений результат дает только сумму масс компонент, выраженную в единицах солнечной массы. Чтобы определить массу каждой компоненты в отдельности, необходимо знать отношение их масс. В случае визуально-двойной для этого требуются сведения об орбитальном движении каждой компоненты относительно звезд сравнения собственные движения которых можно считать пренебрежимо малыми. Так, если орбита круговая, а отношение масс составляет $2 : 1$, то более тяжелая компонента должна описывать окружность, радиус которой вдвое меньше, чем у траектории звезды меньшей массы.

У спектрально-двойных с достаточно яркими компонентами и известными спектрами отношение масс находится прямо по амплитудам кривых скоростей обеих компонент. Однако для спектрально-двойной звезды наклон орбитальной плоскости к лучу зрения остается неизвестным. Несмотря на эту трудность Финзен и другие вполне убедительно доказали, что распределение плоскостей визуально-двойных является совершенно случайным: плоскости орбит двойных звезд не обнаруживают тенденции к какой-либо определенной ориентации относительно основной плоскости Млечного Пути. Результат представляет большой интерес с точки зрения космогонии, поскольку он означает, что в то время как крупномасштабные движения межзвездного газа являются существенно круговыми в плоскости Галактики, следы подобной тенденции теряются в мелкомасштабных турбулентных движениях ячеек межзвездного газа, в которых возникают двойные системы.

Глава 7-10-13

Отклонения от зависимости масса — светимость

Наиболее важным статистическим результатом, основанным на определении масс двойных, является зависимость масса — светимость. Как уже упоминалось, в настоящее время обнаружены отклонения от этой

зависимости; наглядным примером тому является система Бета Лиры.

В исследованиях 1941 г. Койпер и Струве в качестве исходного пункта рассуждений использовали тот факт, что невидимая компонента этой знаменитой затменной звезды должна иметь меньшую светимость, чем главная звезда, которая периодически затмевается прохождением невидимого спутника с интервалом 12,9 суток. В то время зависимость масса — светимость считалась справедливой для всех звезд (за исключением белых карликов). Отсюда с необходимостью следовало, что более яркий член пары имеет также большую массу. Из его орбитального движения по закону Кеплера следовало, что его масса равна примерно 75 масс Солнца. Эта большая масса в свою очередь означала, что абсолютная визуальная величина более яркой звезды должна быть около -7 . Более поздние работы, особенно Абта из Национальной обсерватории Китт-Пик, показали, что у тесной двойной имеется отдаленный визуальный спутник. Спектр спутника оказался нормальным, и абсолютная величина, несомненно, соответствовала его спектральному типу В5. Благодаря визуальному спутнику можно было определить расстояние системы Бета Лиры и истинную визуальную абсолютную величину ее яркой компоненты. Она оказалась близкой к $-3,5$. Сходное значение было найдено при исследовании уширения линий водорода и гелия, обусловленного эффектами давления. Если теперь обратить задачу, и по зависимости масса — светимость найти значение массы, соответствующее абсолютной светимости более яркого члена системы Бета Лиры ($-3,5$), то мы с необходимостью приходим к заключению, что более массивной звездой системы в действительности является невидимая компонента. Это положение решительно противоречит кривой масса — светимость.

Имеется более десятка двойных систем, у которых было найдено аналогичное несоответствие. Другим примером подобной системы является VV Кормы. У большинства из этих двойных спектры имеют особенности, но отсюда не следует, что все звезды с вполне нормальными спектрами удовлетворяют соотношению масса — светимость. Хорошей

иллюстрацией этого положения могут служить так называемые затменные переменные типа W Большой Медведицы, которые обычно обнаруживают две системы спектральных линий, амплитуда лучевых скоростей которых указывает на соотношение масс 2 : 1 или даже 3:1. Однако оба члена таких систем имеют примерно одинаковые светимости, поскольку спектральные линии обеих компонент сходны по интенсивности. Таким образом, имеется большая группа двойных, динамические характеристики которых свидетельствуют о значительных различиях в массе, тогда как фотометрические данные, интерпретируемые с помощью соотношения масса — светимость, указывают на то, что массы этих звезд близки по значению.

Глава 7-10-14

Наиболее массивные известные звезды

Как уже указывалось, наиболее массивная из известных в настоящее время звезд, HD 47129, была найдена Пласскеттом в 1922 г. (HD 47129 — ее номер по каталогу Генри Дрэпера). Она состоит из двух горячих звезд спектрального типа O8 и имеет период 14,4 суток. Скорость обращения главной звезды вокруг общего центра масс составляет около 200 км/сек. Затмений не наблюдалось, так что наклон орбиты к лучу зрения неизвестен, но он, вероятно, близок к 90°. Массы звезд этой системы были оценены в 75 масс Солнца для каждой компоненты, но может быть они равны 65 масс Солнца. Это значение близко к теоретическому пределу устойчивости, и в этой связи интересно, что звезда Пласскетта кажется очень неустойчивой и обнаруживает много весьма специфических черт. В спектре ее наблюдаются линии обеих компонент. Однако значения лучевой скорости центра масс, определенные отдельно по обеим компонентам, различаются примерно на 100 км/сек: скорость, полученная по главной звезде, равна +25 км/сек, в то время как вторая компонента дает скорость — 75 км/сек. Это различие значительно превосходит ошибки измерений или возможный эффект

гравитационного красного смещения. Так что не может быть сомнений (особенно в свете работы индийского астронома Абхьянкара, выполненной в 1959 г. в Калифорнийском университете), что по меньшей мере одна из кривых скоростей (вероятно, более массивной, но более слабой компоненты) как-то искажена. Эти эффекты, вызываемые движением газовых потоков, наблюдались и у некоторых других спектрально- и затменно-двойных, таких, как Бета Скорпиона.

Глава 7-10-15

Наименее массивные известные звезды

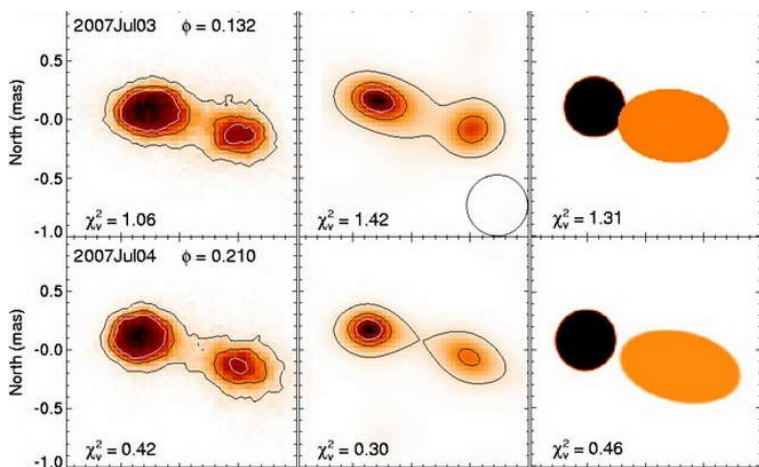
Равный интерес представляет поиск звезд наименьшей известной массы. У нескольких визуально-двойных присутствие слабой компоненты может быть обнаружено по волнообразной форме орбиты видимой звезды. Самым знаменитым объектом малой массы является невидимый спутник одной из двух звезд, составляющих двойную систем 61 Лебеда. Эту систему обстоятельно исследовали два астронома — датчанин по происхождению Стрэнд, работающий в Морской обсерватории Соединенных Штатов, и А. Н. Дейч в Пулковской обсерватории. Полученные ими результаты в основном одинаковы. Масса спутника составляет 0,008 массы Солнца, а период 4,8 года.

Двумя другими звездами малой массы являются: 1) невидимый спутник звезды Лаланд 21185 (звезда из каталога, опубликованного французским астрономом Лаландом в 1801 г.), для которой С. Липпинкот из обсерватории Спроул нашла период около 8 лет и массу около 0,1 массы Солнца и 2) эпселон Эридана, для которой в 1961 г. Дрейк и Гундерман в Национальной радиоастрономической обсерватории США вычислили орбиту на основании измерений ван де Кампа. Результаты указывали на присутствие в системе Эпсилон Эридана невидимого спутника, масса которого может составлять всего 0,006 масс Солнца.

Глава 7-10-16

Бета Лиры

Уже в течение полувека астрономы усиленно изучают изменения периодов двойных, которые указывали бы на эволюционные процессы, происходящие в звездах. Визуально-двойные с их очень большими периодами не подают в этом отношении никаких надежд. Однако имеется много спектрально- и затменно-двойных, изменения периодов которых происходят более или менее заметно. Наиболее известным из таких объектов является Бета Лиры, период которой медленно растет в среднем на 9 сек в год. Имеются некоторые указания на то, что этот рост постепенно замедляется. Поскольку Бета Лиры известна как объект, извергающий значительное количество вещества в виде потоков газа, производящих заметное фиолетовое смещение линий поглощения непосредственно после середины главного затмения, естественно приписать увеличение периода уменьшению массы системы.



Изображения Бета Лиры

В небесной механике имеется ряд теоретических исследований о влиянии потери массы на период двойной системы. Применительно к Бета Лиры теория, развитая в 1956 г. Хуангом, позволяет заключить, что эта система теряет массу со скоростью около 10^{22} г/сек. Однако эта теория очень сложна и ее результат решающим образом зависит от способа, которым выбрасывается масса. В случае Бета Лиры горячий поток газа движется наружу со скоростью в несколько сотен километров в секунду. Вероятно, этого недостаточно для того, чтобы преодолеть силу тяготения системы. Наблюдения показали, что система Бета Лиры погружена в обширную, приблизительно симметричную расширяющуюся оболочку, которая и обуславливает смещение линий поглощения водорода и гелия к фиолетовому концу спектра. По-видимому, скорость удаления вещества увеличивается с расстоянием от центра масс двойной звезды. Это явление напоминает расширяющиеся оболочки звезд типа Вольф—Райе, Бета Лебеда и Новых, рассматриваемых в гл. XVI. Физическим механизмом, вызывающим расширение, может быть газовое давление горячего ионизованного вещества, расширяющегося в разреженную и холодную межзвездную среду.

Глава 7-10-17

VV Кормы

Интересным примером, иллюстрирующим сложность проблем, возникающих в исследовании некоторых двойных звезд, является VV Кормы — двойная с кратчайшим известным периодом обращения. Она была открыта как затменная переменная ван Гентом в Лейденской обсерватории на пластинках, полученных в Южной Африке. Период, найденный по затмениям, составлял 100 мин. Последующие фотометрические исследования, проводившиеся многими астрономами в 1931—1950 гг., привели к следующим выводам, суммированным Хербигом в 1960 г.:

1. Средний период в 100 мин остается постоянным в течение интервала времени, охватывающего около 157

000 циклов. Однако отдельные фотометрические максимумы часто заметно отклоняются от предсказанных моментов.

2. Кривая блеска в течение затмения асимметрична; ослабление света от максимума к минимуму происходит гораздо быстрее, чем последующее возвращение к максимуму блеска.

3. Средний блеск VV Кормы подвержен заметным изменениям: звезда была ярче в 1928 г., когда ее видимая величина в минимуме составляла +14,4; в 1948 г. Оорт и Хилтнер, которые использовали 82-дюймовый рефлектор обсерватории Мак-Дональд, нашли, что звезда слишком слаба для визуальных отождествлений; наблюдения в Претории в 1948 — 1949 гг. дали видимую величину в минимуме +17; наконец, в 1958 г. Хербиг оценил видимую величину в минимуме равной +15,5.

4. В 1948 — 1949 гг. наблюдатели в Претории иногда не могли заметить никаких изменений блеска с периодом в 100 мин. Видимая величина однажды оставалась неизменной (около +17) на протяжении 18 дней.

В 1958 г. Хербиту удалось получить спектр VV Кормы на 36-дюймовом рефлекторе Ликской обсерватории. Накладывающиеся на непрерывный спектр сильные эмиссионные линии водорода и ионизованного гелия показывали изменение лучевой скорости, достигающее почти 1000 км/сек. Кривая скоростей была несколько асимметрична, и наблюдались эмиссионные линии только одной компоненты. По мнению Хербига, система W Кормы напоминает несколько других известных двойных, таких, как Новая Геркулеса 1934 г. (обозначаемая также DQ Геркулеса), V 751 Лебеда, UX Большой Медведицы и SS Лебеда. Абсолютная визуальная величина UX Большой Медведицы и VV Кормы близка к +7, однако уровень возбуждения в эмиссионном спектре сходен с тем, какой характерен для звезд типа O. В случае однородности излучения всей поверхности более яркой компоненты VV Кормы она имеет радиус около 40 000 км. Однако Хербиг предполагает, что лишь ограниченная область поверхности этой звезды сходна по излучению со звездой типа O; в этом случае ее радиус мог бы оказаться гораздо больше. Низкая светимость системы с определенностью установлена Хербигом. Масса

невидимого спутника должна быть по меньшей мере 0,6 масс Солнца. Возможно, однако, что обе звезды имеют одинаковые массы, составляющие около двух или трех солнечных, но в этом случае обе звезды «намного слабее, чем это соответствует их массам: главная звезда примерно на 5 звездных величин слабее нормы, а спутник — на еще большую величину». Обе звезды могут быть белыми карликами или же могут находиться в стадии превращения в белые карлики.

Глава 7-10-18

Эпсилон Возничего

Эпсилон Возничего — затменно-двойная звезда, состоящая из яркой старой звезды (сверхгигант спектрального класса F0), и невидимого компаньона, который, как предполагается в настоящее время, является звездой класса В. Каждые 27 лет яркость Эпсилона Возничего уменьшается с +2,92^m до +3,83^m звездной величины. Это затемнение длится 640—730 дней. В дополнение к этой затменной переменности у системы также есть небольшая пульсация с периодом приблизительно 66 дней. Система находится на расстоянии приблизительно 2 000 световых лет от Земли.

Компаньон, затмевающий Эпсилон Возничего, всегда был в центре ожесточённых споров, так как он излучает удивительно мало света для объекта его размера. На 2008 (до наблюдений Спитцера 2009 года), наиболее признанной моделью для компаньона была двойная система, окруженная массивным, непрозрачным пылевым диском. От теорий, что объект — большая полупрозрачная звезда или черная дыра, учёные отказались.

Несмотря на то, что звезда видима невооруженным глазом, её переменность заметил только в 1821 году Иоганн Фрич (Johann Fritsch). Первые регулярные наблюдения, продолжавшиеся с 1842 до 1848 гг, проводили немецкий математик Эдуард Хайс (Eduard Heis) и прусский астроном Фридрих Вильгельм Аргеландер. Данные Хайса и Аргеландера показали, что

звезда стала значительно более тусклой к 1847. Эпсилон Возничего возвратился к «нормальному» состоянию, к сентябрю следующего года. В последующее время было собрано больше данных. Наблюдения показали, что Эпсилон Возничего наряду с изменениями яркости в течение длительного периода, также показывает краткосрочные изменения яркости. Более поздние затмения имели место между 1874 и 1875, а затем почти тридцать лет спустя, между 1901 и 1902.

История изучения затменной двойной Эпсилон Возничего во многих отношениях перекликается с историей развития астрофизики с начала XX века.

Первым провёл детальное исследование звезды немецкий астроном Ганс Людендорфф в Потсдаме. В 1904 году, вскоре после затмения 1900 — 1902 гг., которое длилось почти два года и вызвало падение видимой визуальной величины звезды от нормального значения +3,4 до +4,2. он издал в *Astronomische Nachrichten* статью под названием *Untersuchungen über den Lichtwechsel von ϵ Aurigae* (Исследования небольших изменений яркости Эпсилон Возничего), где предположил, что звезда является затменной переменной типа Алголя и состоит из двух компонентов с периодом обращения 27,1 года.

Ее, был определен ом ом Однако еще в 1905 г. Кларк высказывала сомнение в том, «будет ли Эпсилон Возничего платить минимумами по вексям в положенные сроки» и «не уклонится ли Эпсилон Возничего в будущем от законного порядка, которому она временно подчинялась».

Астрономам предстояло ждать нового уменьшения блеска звезды в 1928—1930 гг., и это придавало особый смысл другому замечанию Кларк:

«Если найденная для них [для необычной пары объектов, составляющих эту звезду] Людендорфом закономерность подтвердится будущими наблюдениями, их 27-летний период окажется намного длиннее любых других известных видов изменения блеска звезд. Очень важно было бы связать с ним, если возможно, период обращения компонент этой системы. По-видимому, не существует ни одного объекта на небе, представляющего больший интерес, чем эта спектрально-двойная».

Около 1900 г. систематические спектральные наблюдения Эпсилон Возничего начали производиться в Потсдамской и Йеркской обсерваториях. Первый спектр был получен в Йерксе Фростом 29 ноября 1900 г. Начиная с этого времени на нескольких обсерваториях производились частые наблюдения Эпсилон Возничего, и последнее затмение в 1955—1957 гг. было всесторонне изучено с помощью спектрографа кудэ на 100-дюймовом телескопе обсерватории Маунт Вилсон.

Ранние спектральные наблюдения дали кривую скоростей с полной амплитудой около 32 км/сек и с асимметрией, свидетельствовавшей о некоторой вытянутости орбиты. В 1901 г. Людендорф отметил, что линии поглощения Эпсилона Возничего, возникающие в атмосфере сверхгиганта типа F, были гораздо сильнее во время затмения, и в некоторых случаях казались асимметричными. Во время следующего затмения 1928—1930 гг. Фрост, Струве и Элви в Йерксе, работая с лучшим спектрографом, отметили асимметрию линий поглощения и их повышенную интенсивность. Несколько спектрограмм высокой дисперсии было также получено во время этого затмения Адамсом и Сэнфордом в обсерватории Маунт Вилсон. Они отметили, что во время частной фазы затмения (примерно между 15 ноября 1929 г. и 5 февраля 1930 г.) некоторые более сильные линии поглощения были двойными. Сходное раздвоение линий наблюдалось во время частного затмения, предшествующего середине затмения в сентябре и октябре 1955 г. Частная фаза затмения длится каждый раз 192 суток. Блеск звезды, за исключением небольших флуктуаций, остается постоянным в течение 330 суток полной фазы затмения. Длительность частной и полной фаз указывает на то, что затмевающее тело должно быть очень большим. Однако какой-либо физической интерпретации этой двойной не существовало до 1937 г., когда Койпер, Б. Стремгрен и Струве опубликовали в *Astrophysical Journal* совместную статью. Независимо друг от друга пришли к одинаковому выводу: большое затмевающее тело состоит из очень разреженного газообразного вещества, частично прозрачного для оптических лучей.

Глава 7-10-19

Звезда Пласкетта

Звезда Пласкетта, также известная как HR 2422 или V640 Единорога, является спектрально-двойной звездой в созвездии Единорога. Находится на удалении более 5000 св. лет от Солнца.

Это одна из самых массивных обнаруженных двойных звёзд, общей массой около 100 масс Солнца. Длительное время считалась самой массивной двойной системой. Однако подробные изучения Эты Кия в 1996—2005 годах показали, что эта звезда с массой в 150 солнечных, ранее считавшаяся одиночной, является двойной системой.

Система названа в честь Джона Стэнли Пласкетта, канадского астронома, который в 1922 году вместе с сыном Хэрри Хемли Пласкеттом показал, что система является двойной, а также впервые измерил период обращения и массу её компонентов.

Пара имеет общую видимую звёздную величину 6,05m.

Орбитальный период вращения пары составляет $14,39625 \pm 0,00095$ дней. Вторая компонента системы очень быстро вращается вокруг оси с радиальной скоростью 300 км/с и должна из-за этого иметь форму сильно сплюсненного эллипсоида.

Глава 7-10-20

Джон Стэнли Пласкетт

Джон Стэнли Пласкетт (17 ноября 1865, Онтарио — 17 октября 1941, Виктория) — канадский астроном.

Родился в Хиксоне (Онтарио), в 1899 окончил Университет Торонто, работал в нём до 1903. В 1903—1918 работал в обсерватории в Оттаве. По его инициативе был построен 72-дюймовый телескоп, ставший основным инструментом открытой в 1918 Астрофизической обсерватории в Виктории, которую Пласкетт возглавлял

до 1935. Член Канадского королевского общества и Лондонского королевского общества (1923).



Джон Стэнли Пласкетт

Основные труды в области звёздной спектроскопии. На протяжении многих лет вёл программу определения лучевых скоростей звёзд, результаты которой сыграли большую роль в открытии вращения Галактики и определении его параметров. Выполнил большое число спектральных исследований горячих звёзд классов О и В, новых звёзд, а также спектрально-двойных звёзд, среди которых выделяется открытие в 1922 системы с очень большой массой, получившей название «звезда Пласкетта». Изучение межзвёздных линий кальция в спектрах О-звёзд позволило Пласкетту установить (1938, совместно с Д. А. Пирсом), что межзвёздный газ участвует в галактическом вращении. Занимался конструированием и усовершенствованием телескопов и спектрографов обсерваторий США и Канады.

Награды

Золотая медаль Королевского астрономического общества (1930)

Медаль Кэтрин Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1931)

Премия Румфорда Американской академии искусств и наук

Медаль Г. Дрейпера Национальной АН США

Медаль Флавелия Канадского королевского общества (1910).

В его честь назван кратер на Луне и астероид № 2905 (астероид — в честь его и его сына — астронома Х. Х. Пласскетта).

Том 7. Солнце и звезды

Оглавление

- Часть 7-1. Наблюдения Солнца. XVII век
- Часть 7-2. Наблюдения Солнца XVIII — середина XIX веков
- Часть 7-3. Исследования Солнца в период середина 19 века – начало 20 века
- Часть 7-4. Магнитное поле Земли и солнечная активность
- Часть 7-5. Источники излучения звезд
- Часть 7-6. Анализ звездных спектров
- Часть 7-7. Спектральные классификации
- Часть 7-8. Переменные звезды
- Часть 7-9. Двойные звезды
- Часть 7-10. Двойные звезды. Начало XX века

Часть 7-1

Наблюдения Солнца. XVII век

- Глава 7-1-1. Наблюдения Солнца. XVII век
- Глава 7-1-2. Йоханнес Фабрициус
- Глава 7-1-3. Христофор Шейнер

Часть 7-2

Наблюдения Солнца XVIII — середина XIX веков

- Глава 7-2-1. Теория Солнца Александра Вилсона
- Глава 7-2-2. Александр Вилсон
- Глава 7-2-3. Схема строения Солнца Уильяма Гершеля
- Глава 7-2-4. Наблюдения Солнца Джоном Гершелем
- Глава 7-2-5. Первые наблюдения солнечной короны
- Глава 7-2-6. «Четки» Фрэнсиса Бейли
- Глава 7-2-7. Затмение 1842 года

Часть 7-3

Исследования Солнца в период середина 19 века – начало 20 века

Глава 7-3-1. Наблюдения Солнца после 1842 года

Глава 7-3-2. Первые дагерротипы Солнца

Глава 7-3-3. Алексей Павлович Ганский

Глава 7-3-4. Спектральный анализ

Глава 7-3-5. Спектрографы

Глава 7-3-6. Открытие гелия

Глава 7-3-7. Короний

Глава 7-3-8. Серии спектральных линий

Глава 7-3-9. Магнитное поле Солнца

Глава 7-3-10. Спектрогелиограф. Спор о приоритете

Глава 7-3-11. Джордж Эллери Хейл

Глава 7-3-12. Анри Александр Деландр

Глава 7-3-13. Утрехтский Атлас

Глава 7-3-14. Марсел Гиллес Йозеф Миннарт

Часть 7-4

Магнитное поле Земли и солнечная активность

Глава 7-4-1 (том-часть-глава). Самуэль Генрих Швабе.
11-летний цикл солнечной активности

Глава 7-4-2. Рудольф Вольф. Число Вольфа

Глава 7-4-3. Ричард Кристофер Кэррингтон

Глава 7-4-4. Кэррингтоновская система координат

Глава 7-4-5. Геомагнитная буря 1859 года

Глава 7-4-6. Иоганн Ламонт

Глава 7-4-7. Минимум Маундера

Глава 7-4-8. Эдвард Уолтер Маундер

Глава 7-4-9. Густав Фридрих Вильгельм Шпёрер

Часть 7-5

Источники излучения звезд

Глава 7-5-1. Источники излучаемой Солнцем энергии

Глава 7-5-2. Первые модели звезд

Глава 7-5-3. Джонатан Гомер Лейн

Глава 7-5-4. Поиски источников звездной энергии

Глава 7-5-5. Антуан Анри Беккерель

Глава 7-5-6. Джинс, Джеймс Хопвуд

Глава 7-5-7. Ядерные реакции в звездах

Глава 7-5-8. Артур Стэнли Эддингтон
Глава 7-5-9. Ханс Альбрехт Бете
Глава 7-5-10. Научные достижения Ханс Альбрехт Бете
Глава 7-5-11. Карл Фридрих фон Вайцзеккер
Глава 7-5-12. Мартин Шварцшильд
Глава 7-5-13. Сэр Фред Хойл

Часть 7-6

Анализ звездных спектров

Глава 7-6-1. Представление о солнечной атмосфере в 1900-е годы
Глава 7-6-2. Теория строения атмосферы Солнца
Глава 7-6-3. Карл Шварцшильд
Глава 7-6-4. Основные научные труды Карла Шварцшильда
Глава 7-6-5. Сэр Франц Артур Фридрих Шустер
Глава 7-6-6. Структура звёздной атмосферы. Современные представления
Глава 7-6-7. Анализ звездных спектров
Глава 7-6-8. Теория возбуждения и ионизации
Глава 7-6-9. Спектральная последовательность
Глава 7-6-10. Мегнад Саха
Глава 7-6-11. Сесилия Пейн-Гапошкина
Глава 7-6-12. Григорий Абрамович Шайн
Глава 7-6-13. Отто Людвигович Струве
Глава 7-6-14. Научная карьера Отто Струве
Глава 7-6-15. Вращение звезд
Глава 7-6-16. Внутреннее строение звезд
Глава 7-6-17. Эволюция звезд
Глава 7-6-18. Артур Стэнли Эддингтон

Часть 7-7

Спектральные классификации

7-7-1. Анджело Секи. Спектральная классификация Анджело Секи
Глава 7-7-2. Первые теории эволюции звезд
Глава 7-7-3. Артур Шустер
Глава 7-7-4. Сэр Уильям Хёггинс

Глава 7-7-5. Теория звездной эволюции Нормана Локьера
Глава 7-7-6. Джозеф Норман Локьер
Глава 7-7-7. Гарвардская спектральная классификация звезд
Глава 7-7-8. Каталог Генри Дрейпера
Глава 7-7-9. Антония Каэтана Мори
Глава 7-7-10. Энни Джамп Кэннон
Глава 7-7-11. Вильямина Флеминг
Глава 7-7-12. Обнаружение различий в светимости
Объяснение Эйнара Герцшпрунга
Глава 7-7-13. Объяснение Генри Рассела
Глава 7-7-14. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела
Глава 7-7-15. Эйнар Герцшпрунг
Глава 7-7-16. Генри Норрис Рассел
Глава 7-7-17. Спектральные параллаксы
Глава 7-7-18. Уолтер Сидни Адамс
Глава 7-7-19. Система классификации МК
Глава 7-7-20. Уильям Уилсон Морган
Глава 7-7-21. Филип Чайлдс Кинан
Глава 7-7-22. Количественные методы спектральной классификации Даниеля Шалонжа,
Глава 7-7-23. Даниель Шалонж
Глава 7-7-24. Количественные методы спектральной классификации Бенгта Стремгрена
Глава 7-7-25. Бенгт Стремгрен

Часть 7-8

Переменные звезды

Глава 7-8-1. Новые и сверхновые звёзды
Глава 7-8-2. Переменные звезды
Глава 7-8-3. Давид Фабрициус
Глава 7-8-4. Омикрон Кита (Мира)
Глава 7-8-5. Мириды
Глава 7-8-6. R Гидры
Глава 7-8-7. Хи Лебеда
Глава 7-8-8. Бета Персея (Алголь)
Глава 7-8-9. Джон Гудрайк
Глава 7-8-10. Эдуард Пиготт

Часть 7-9

Двойные звезды

Глава 7-9-1. Мицар и Алькор
Глава 7-9-2. Двойные звезды
Глава 7-9-3. Джон Мичелл
Глава 7-9-4. Уильям Гершель и двойные звезды
Глава 7-9-5. Струве и двойные звезды
Глава 7-9-6. Джон Гершель и двойные звезды
Глава 7-9-7. Эта Киля (η Киля)
Глава 7-9-8. Двойные системы Сириуса и Прокциона

Часть 7-10

Двойные звезды. Начало XX века

Глава 7-10-1. Новые каталоги двойных звезд
Глава 7-10-2. Шербёрн Уэсли Бёрнхем
Глава 7-10-3. Роберт Грант Эйткин
Глава 7-10-4. Двойные звезды. Справка
Глава 7-10-5. Визуально-двойные звёзды
Глава 7-10-6. Система α Центавра и Проксимы Центавра
Глава 7-10-7. Затменно-двойные звёзды
Глава 7-10-8. Спектрально-двойные звёзды
Глава 7-10-9. Кратная система Кастора
Глава 7-10-10. Другие модели двойных звезд
Глава 7-10-11. Возникновение двойных звезд
Глава 7-10-12. Массы двойных звезд
Глава 7-10-13. Отклонения от зависимости масса — светимость
Глава 7-10-14. Наиболее массивные известные звезды
Глава 7-10-15. Наименее массивные известные звезды
Глава 7-10-16. Бета Лиры
Глава 7-10-17. VV Кормы
Глава 7-10-18. Эпсилон Возничего
Глава 7-10-19. Звезда Пласкетта
Глава 7-10-20. Джон Стэнли Пласкетт