

станет полностью ясной лишь после того, как будет понят механизм, приводящий к возникновению полей на Солнце. Общепринятой теории происхождения магнитных полей нет ни для Солнца, ни для других космических тел. В одних теориях предполагается, что сильные магнитные поля существуют в центральных областях Солнца и часть их энергии периодически выносится во внешние слои Солнца. В то же время в одной из недавних теорий ее автор исходит из присутствия у Солнца слабого (напряженностью около 1 эрстеда) общего магнитного поля, силовые линии которого расположены, как предполагается, в тонком слое вблизи поверхности Солнца. Различие в скорости вращения Солнца на разных широтах может приводить к периодическому возникновению сильных полей в экваториальных областях Солнца. Эта теория неплохо объясняет наблюдаемые особенности цикла солнечной активности, но встречается со значительной трудностью энергетического характера. Энергия полей в конечном счете есть преобразованная кинетическая энергия вращения Солнца, точнее, та часть кинетической энергии, которая обусловлена большей угловой скоростью движения экваториальных областей. Ее, как показал расчет, может хватить на образование магнитных полей лишь в течение нескольких тысяч лет. Таким образом, как это часто бывает в науке, объяснение одной группы явлений ставит нас перед необходимостью решить не менее сложные задачи, в данном случае, найти, чем вызывается и поддерживается различие скорости вращения Солнца на разных широтах.

§ 6. ВСПЫШКИ ЗВЕЗД

Звездные взрывы по силе могут быть весьма различными. Начав с самых слабых из них, мы затем перейдем к взрывам гораздо большего масштаба — вспышкам новых звезд. Взрыв на звезде проявляется, прежде всего, в резком увеличении ее излучения, т. е. в возрастании яркости звезды. Поэтому такие взрывы и называют вспышками.

Мощность оптического излучения даже большой хромосферной вспышки на Солнце не составляет и одной тысячной от мощности излучения всего Солнца. Такая относительно слабая вспышка на звезде типа Солнца или более яркой не может быть замечена с современными сред-

ствами наблюдений, поскольку звезды удалены от нас не менее чем на несколько световых лет. Вероятно, вспышки, по мощности аналогичные хромосферным, свойственны очень многим, если не всем, звездам. Но для того чтобы их можно было увидеть, звезда в оптической области спектра должна излучать в сотни раз меньше энергии, чем Солнце. Поэтому самые слабые из звездных взрывов, по масштабу соответствующие хромосферным вспышкам, могут наблюдаваться лишь у звезд-карликов, причем самых близких, на расстояниях не более 30—50 световых лет, так как на больших расстояниях эти звезды вообще не видны.

Наименее яркими звездами являются, как мы знаем, красные карлики. Обладая вдвое меньшей, чем у Солнца, температурой и на порядок меньшим радиусом, они излучают по сравнению с ним в сотни раз меньше энергии. В оптической же области отличие излучения красного карлика от излучения Солнца еще разительнее, так как основная доля энергии, испускаемой красным карликом, приходится на инфракрасную часть спектра.

Звезда-карлик класса M, получившая обозначение UV из созвездия Кита *), оказалась первой из тех звезд, на которых были замечены слабые взрывы, по силе соответствующие большим солнечным вспышкам. Это одна из самых близких к нам звезд — ее расстояние от Солнца составляет 8,6 светового года. Красные карлики, на которых наблюдаются вспышки, стали называть звездами типа UV Кита.

Характерной особенностью вспышек у звезд типа UV Кита является чрезвычайно быстрое возрастание излучения звезды в начале вспышки, не встречающееся ни у какого иного типа звезд. Оно может увеличиться в десять раз за несколько секунд. Различие вспышек по силе значительно. При больших вспышках излучение звезды увеличивается более чем в сто раз, при самых слабых — в несколько раз, причем это занимает не более, чем одну-две минуты. Затем происходит спад излучения, более медленный, и через 10—20 минут излучение звезды оказывается таким же, как и до вспышки.

В нормальном состоянии, между вспышками, оптическое излучение звезды типа UV Кита имеет мощность около

*) Обозначение одной или двумя буквами латинского алфавита применяется для звезд, меняющих свой блеск — переменных звезд.

10^{20} эрг/сек. За время сильной вспышки ею излучается дополнительно более 10^{33} эрг в этой же области спектра, а при слабой вспышке — энергия порядка 10^{31} эрг. Таким образом, вспышки звезд типа UV Кита по излучаемой в оптическом диапазоне энергии подобны самым большим хромосферным вспышкам на Солнце. Вспышки, при которых наблюдаемое излучение звезды возрастает в десять или более раз, происходят в среднем один раз за несколько суток, а очень слабые вспышки (приводящие к усилению излучения в 1,5 — 2 раза) — десятки раз в сутки.

Сходство вспышек звезд типа UV Кита с хромосферными вспышками не ограничивается быстрой возрастания излучаемой энергии (возможно, что хромосферная вспышка вначале протекает несколько медленнее). Спектральные наблюдения показали, что во время вспышки звезды UV Кита линии водорода сильно расширяются, и энергия, излучаемая звездой в соответствующих длинах волн, возрастает. Аналогичное явление наблюдается, как мы знаем, и при солнечных вспышках. Но наряду с указанными сходными чертами в спектрах вспышек обоих видов в них имеется и существенное различие. Как правило, излучение хромосферных вспышек заметно увеличивается только в частотах линий, тогда как преобладающая доля энергии излучения при вспышках звезды UV Кита относится к непрерывному спектру, главным образом в синем и голубом цветах. Впрочем, возможно, что это различие, хотя бы частично, объясняется гораздо большей яркостью солнечной фотосфера в оптическом диапазоне, на фоне которой непрерывное излучение хромосферной вспышки трудно заметить.

Недавно при помощи больших радиотелескопов удалось зарегистрировать излучение радиоволн при вспышках у некоторых звезд типа UV Кита. Эти всплески радиоизлучения обычно происходят одновременно с возрастанием оптического излучения, но иногда опережают оптическую вспышку на 1—2 минуты. Радиовсплеск продолжается 10—15 минут, причем за это время в радиодиапазоне излучается энергия, в 100—1000 раз меньшая, чем в оптическом. Доля радиоизлучения в общей энергии вспышки оказывается более высокой, чем у солнечных вспышек, где энергия радиовсплесков составляет лишь около одной стотысячной части всей излученной энергии.

О том, каковы причины вспышек звезд типа UV Кита и какая энергия превращается в излучение, до сих пор ничего нельзя сказать с уверенностью. Однако быстрота протекания вспышки и, в особенности, большая скорость падения блеска дали основание считать, что взрывы происходят в самых внешних слоях атмосфер звезд, где плотность вещества мала. Действительно, взрыв под поверхностью звезды вызвал бы повышение температуры фотосферы. Последующее охлаждение фотосферы может происходить лишь в результате излучения ею энергии в межзвездное пространство. Так как фотосфера непрозрачна для излучения, то процесс ее остывания должен занять продолжительное время. Прозрачная же для излучения в широком интервале длин волн атмосфера звезды может быть нагрета почти мгновенно и затем очень быстро потерять полученную энергию, поскольку излучение выходит из нее беспрепятственно. Следовательно, и в отношении своей локализации вспышки звезд типа UV Кита сходны с солнечными.

Радиоизлучение хромосферных вспышек связывают, как мы уже говорили, с прохождением через самые внешние слои Солнца потоков быстрых частиц из области взрыва. Вероятно, аналогичным процессом вызваны и всплески радиоизлучения звезд типа UV Кита. Такие радиовсплески служат пока единственным свидетельством выбрасывания этими звездами при вспышках частиц со скоростью, сравнимой со скоростью света. Мы регистрируем лишь ту долю энергии частиц, которая переходит в оптическое и радиоизлучение. Более значительная часть энергии взрыва, если судить по солнечным вспышкам, должна уходить с потоками быстрых частиц, в частности, космических лучей, рентгеновского излучения и γ -квантов, которые пока трудно наблюдать. Поэтому величина 10^{33} эрг, которую мы указали выше для энергии, излучаемой в оптическом диапазоне при большой вспышке звезды типа UV Кита, вряд ли характеризует всю энергию взрыва. Весьма вероятно, что общее количество энергии, освобождаемой при таком взрыве, гораздо больше — порядка 10^{34} — 10^{35} эрг.

Даже если предположить наличие сильных локальных магнитных полей во внешних слоях звезд типа UV Кита, трудно представить, что энергия, содержащаяся в их атмосфере, могла достигать значения 10^{33} — 10^{35} эрг. В связи с этим возникла гипотеза о том, что вещество, несущее

в скрытом виде энергию, каким-то путем выносится из недр звезды в ее атмосферу. Там энергия внезапно освобождается, причем основная ее часть переходит в кинетическую энергию — энергию быстрых частиц и фотонов. К сожалению, в рамках наших теперешних концепций об источниках звездной энергии трудно указать конкретные виды переносимой из недр звезды энергии и процессы, сопровождающие ее переход в другие виды энергии. Но трудность объяснения тех или иных явлений природы всегда является стимулом для развития исследований. С открытием новых явлений совершенствуются и соответствующие физические теории. Несомненно, так будет и с объяснением природы звездных вспышек.

Вспышки, характеризуемые излучением огромной энергии в оптической области спектра (в миллионы раз большей, чем излучаемая при вспышках звезд типа UV Кита), происходят у так называемых звезд типа Т Тельца и ряда других. На описании этих взрывов мы здесь останавливаться не станем, так как имеющиеся отрывочные данные наблюдений не дают цельной картины явления. Стоит, однако, заметить, что по быстроте подъема и спада излучения вспышки звезд типа Т Тельца совершенно не похожи на солнечные. Они продолжаются несколько часов, а иногда и суток. Какова бы ни была природа вспышек звезд Т Тельца, значительная доля энергии при этих взрывах освобождается не в атмосфере звезды, а глубже, и вызывает нагрев поверхности звезды. Еще раз подчеркнем, что как у звезд типа Т Тельца, так и у других звезд со светимостью, пре-восходящей светимость красных карликов, возможны и слабые взрывы, но вызываемое ими дополнительное излучение будет оставаться незамеченным на фоне общего излучения звезды.

Из сильных звездных взрывов наиболее хорошо изучены вспышки новых звезд. Когда в некотором месте неба замечается достаточно яркая звезда, которой раньше не было видно, ее называют новой звездой. Конечно, она оказывается «новой» лишь для наблюдателя — обнаружение новой звезды на небе связано не с ее рождением, а является результатом возрастания излучения какой-то звезды в десятки и даже сотни тысяч раз. Грандиозные космические взрывы, приводящие к появлению новых звезд, случаются сравнительно часто — каждый год обнаруживается несколько таких звезд только в соседних с Солнцем областях

Галактики. Если же вспышка новой звезды происходит, скажем, на расстоянии десятков тысяч световых лет от Солнца, то она, скорее всего, останется незамеченной. Поэтому следует считать, что в Галактике вспыхивает гораздо больше звезд, чем мы наблюдаем, вероятно, свыше ста за год.

Так как новые звезды открывают случайно — заранее неизвестно, какая из звезд вспыхнет, — то самый первый этап взрыва, наиболее интересный для выяснения природы взрыва, не удается наблюдать. Поэтому все гипотезы о характере взрывов, вызывающих вспышки новых звезд, основаны на результатах наблюдений последствий этих взрывов.

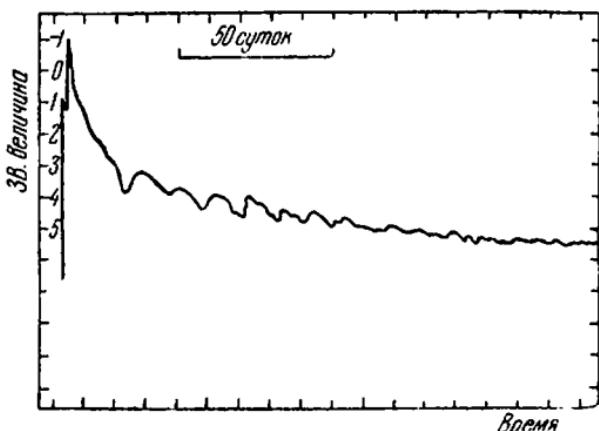


Рис. 30. Кривая блеска новой звезды, вспыхнувшей в созвездии Орла в 1918 г. Видимый блеск ее в момент максимума был лишь немнога меньше, чем у Сириуса — самой яркой звезды неба.

Известные новые звезды, вспыхивавшие за период научных наблюдений, как мы установим ниже, находятся от нас в среднем на расстоянии в несколько тысяч световых лет. Поэтому оптические наблюдения пока являются единственным источником информации о них. Ни радиоизлучение новых звезд, ни другие виды их излучения до сих пор не наблюдали, но это связано, по-видимому, не с отсутствием таких излучений, а с несовершенством современных наблюдательных средств.

Изменение излучения звезды со временем характеризуют так называемой кривой блеска. Для примера, кривая

блеска одной из новых звезд приводится на рис. 30. Излучение звезды (или, как говорят, ее блеск) на этом рисунке указано в очень широко употребляемых в астрономии условных единицах — звездных величинах. В основу определения звездной величины кладется следующее условие: возрастание блеска звезды в 100 раз соответствует уменьшению на 5 ее звездной величины. Значит, изменение блеска на одну звездную величину есть его изменение в $\sqrt[5]{100} = 2,512$ раза. Такая система единиц сложилась еще в древности и общепринята среди наблюдателей звезд, поскольку сравнивать блеск двух звезд в звездных величинах гораздо легче, чем если бы он выражался в энергетических единицах. Для нас же удобство такой системы состоит в возможности более компактного изображения кривых блеска.

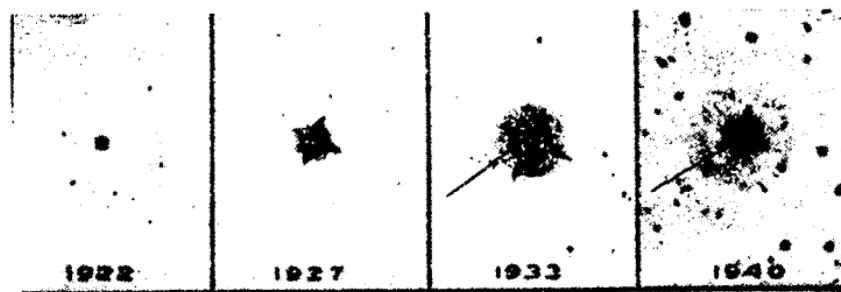


Рис. 31. Снимки Новой Орла 1918 г. в разные годы, по которым видно увеличение размеров оболочки. На снимках 1933 и 1940 гг. заметно образование, являющееся сгустком газа на конце оси оболочки (указано стрелкой).

Как мы видим из представленной кривой блеска, излучение новой звезды сначала очень быстро растет, а затем, достигнув максимума, спадает, но гораздо медленнее и не гладко, а скачкообразно.

Через несколько лет после вспышки на месте новой звезды часто видна светлая туманность в форме довольно правильного круга или эллипса, напоминающая планетарную туманность. Ее спектр состоит из эмиссионных линий и, значит, эта туманность образована разреженным светящимся газом. Видимый радиус туманности, т. е. угол, под которым он виден, увеличивается со временем. Определив скорость возрастания этого угла, можно, обращаясь

в прошлое, не только определить момент, когда туманность возникла, но и точку, из которой началось расширение. После того как это сделано, всегда оказывается, что туманность возникла в момент вспышки новой, а в точке, из которой происходит ее расширение, видна звезда. Отсюда нетрудно сделать вывод о том, что при вспышке какой-то звезды как новой, от нее отделяются внешние слои, образующие расширяющуюся оболочку. Когда оболочка достаточно расширится для того, чтобы ее радиус стал заметным, мы и видим ее как туманность.

Туманность, образованная при вспышке новой звезды, представляется кругом лишь в проекции на небо. На самом деле она имеет сферическую форму. Газ, составляющий переднюю часть расширяющейся туманности, должен двигаться в нашу сторону, а находящийся на противоположной стороне сферы — удаляться от нас. Поэтому согласно принципу Доплера линии в спектре излучения, идущего от передней полусфери, сдвинутся в сторону коротких волн, а принадлежащие удаляющемуся газу — в сторону длинных волн. По величине смещения линий определяется скорость расширения туманности. Оказывается, что туманности, возникающие при вспышках новых, расширяются с огромными скоростями — от нескольких сотен до 1500—2000 км/сек. При такой скорости за 10 лет ($3,2 \cdot 10^8$ сек) радиус туманности увеличивается на 10^{16} — 10^{17} см.

Как величина радиуса туманности, так и его изменение со временем в угловой мере могут быть получены непосредственно, путем сравнения двух фотографий туманности, снятых одна через несколько лет после другой. Если, скажем, угол, под которым виден радиус туманности, изменился на величину $\alpha_2 - \alpha_1$, то действительное увеличение радиуса за это же время $R_2 - R_1$ связано с $\alpha_2 - \alpha_1$ соотношением $R_2 - R_1 = r (\alpha_2 - \alpha_1)$, где r — расстояние

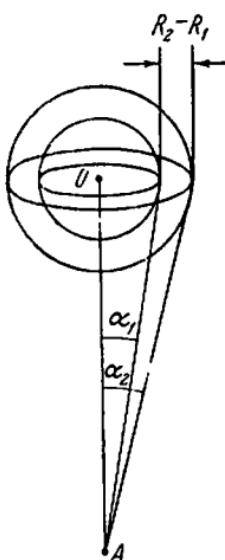


Рис. 32. Схема, иллюстрирующая метод определения расстояний до новой звезды по наблюдаемому расширению туманности, образованной при вспышке. В проекции на небесную сферу туманность представляется кольцеобразной.

от наблюдателя до новой звезды *) (см. рис. 32). Так как величина $R_2 - R_1$ находится независимо от $\alpha_2 - \alpha_1$ по скорости расширения туманности (которая в свою очередь получается по сдвигу линий в ее спектре), то из приведенного соотношения определяется и расстояние до звезды r . Для величины $\alpha_2 - \alpha_1$ самых ярких из новых звезд было получено значение порядка $10''$ за 10 лет. Поскольку $R_2 - R_1 \approx 10^{17} \text{ см}$, то расстояние до этих звезд оказывается порядка тысячи световых лет.

Очень существенна для суждения о силе взрыва, произшедшего в звезде, и выяснения его характера оценка массы выброшенного из звезды в пространство вещества, т. е., в данном случае, массы расширяющейся туманности. Для такой оценки можно воспользоваться известной величиной радиуса туманности, по которому определяется и ее объем. В то же время по эмиссионным линиям в спектре туманности, как мы говорили в § 2, можно найти не только относительное содержание различных элементов в ней, но и число атомов каждого элемента в 1 см^3 . Умножив полученное таким путем число атомов в 1 см^3 на массу атома водорода (являющегося преобладающим элементом) и на объем туманности, вычисляют массы туманностей. Они оказались порядка $10^{29} - 10^{30} \text{ г}$, что приблизительно в сто раз превышает массу Земли.

Ниже мы скажем подробнее о том, какие звезды вспыхивают как новые, а здесь отметим лишь, что это карлики, имеющие радиус на порядок меньше солнечного и массу в несколько раз меньшую, чем Солнце. Если массу оболочки распределить по всей поверхности такой звезды, то на 1 см^2 этой поверхности придется $10^{29} : (4\pi \cdot 10^{10})^2 \approx \approx 10^8 \text{ г}$ вещества. Масса атмосферы звезды, приходящаяся на 1 см^2 , как мы говорили ранее, порядка нескольких граммов. Следовательно, вещество, выброшенное взрывом, составляло фотосферу и более глубокие слои звезды. Давление газа на том уровне, где произошел взрыв, было равно весу сброшенных при взрыве слоев газа в расчете на 1 см^2 поверхности. Вес этот составляет $\frac{GM_*}{R_*^2} \frac{m}{4\pi R_*^2}$,

*) Угол $\alpha_2 - \alpha_1$ здесь входит в радианной мере, т. е. $\alpha_2 - \alpha_1 = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)''}{206 265}$, где $(\alpha_2 - \alpha_1)''$ — величина этого угла в секундах дуги.

где m — масса оболочки. С указанными выше значениями M_* , R_* и m получаем, что давление на уровне взрыва должно быть порядка 10^{13} — 10^{14} г/см · сек², т. е. в миллионы раз большее, чем в атмосфере звезды. Соответственно, там должна быть очень высокая температура — миллионы градусов — и большая плотность газа. Конечно, слои, лежавшие над уровнем взрыва, были совершенно непрозрачны для излучения с любой длиной волны.

Судя по приблизительно сферической форме туманности, образованной при вспышке новой звезды, можно полагать, что взрывом охватывается весь слой звезды, лежащий на некотором уровне. Сбрасываемая оболочка поэтому имеет, как и поверхность звезды, сферическую форму, хотя, по-видимому, сила взрыва может быть не совсем одинаковой в разных направлениях, что и вызывает наблюданную иногда «однобокость» туманности.

В свете того, что нам уже стало известно о характере взрыва в новой звезде, нетрудно понять наблюдаемые при вспышке изменения излучения звезды. В результате взрыва, на некотором уровне в звезде, глубоко под ее поверхностью, освобождается много энергии. Часть энергии расходуется на нагревание газа в слое, охваченном взрывом, и давление газа в слое возрастает настолько, что вес внешних слоев звезды не в состоянии его уравновесить. Поэтому наружные слои звезды начинают расширяться и излучающая поверхность увеличивается, а это проявляется в быстром возрастании наблюдаемого блеска звезды.

Линии поглощения в спектре новой звезды при увеличении ее блеска оказываются смещеными относительно нормального положения — длина волны у них меньше. Причина сдвига линий становится очевидной, если учесть, что в это время происходит расширение внешних слоев звезды, причем мы можем видеть движение только той части поверхности, которая обращена к нам. В спектре излучения, идущего от движущегося в нашу сторону источника, линии и должны быть, согласно принципу Доплера, смещены в сторону коротких волн. Применение формулы (5) показывает, что скорость движения поверхности новой звезды — порядка 1000 км/сек, что в общем согласуется со скоростью расширения туманности, наблюданной впоследствии около этой звезды.

Расширяющиеся внешние слои звезды представляют собой ее оболочку. По мере увеличения радиуса оболочки,

на единицу площади ее поверхности приходится все меньше вещества. Через несколько суток после взрыва (т. е. через $10^5 - 5 \cdot 10^5$ сек) у большинства звезд радиус оболочки пре- восходит 10^{13} см и, значит, он в тысячи раз больше, чем радиус звезды. Количество же вещества, приходящееся на 1 см² ее поверхности, к этому времени уменьшится в миллионы раз по сравнению с тем, что было в самом начале расширения, когда ее радиус был близок к радиусу звезды *). Следовательно, если вначале приходилось около 10^8 г вещества на 1 см² оболочки, то через несколько суток количество его будет порядка 10 г, т. е. столько же, сколько содержится в атмосфере обычной звезды (в расчете на ту же площадь). Оболочка к этому времени становится прозрачной для оптического излучения в непрерывном спектре, как и атмосфера звезды. Теперь уже можно видеть, что происходит внутри оболочки.

Дальнейшее возрастание поверхности оболочки новой звезды при ее расширении уже не приводит к увеличению блеска. Ранее оболочка излучала во всех длинах волн непрерывного спектра, но теперь, подобно атмосфере звезды, она поглощает излучение только в спектральных линиях и, соответственно, излучает главным образом в этих длинах волн. Наблюдаемый же блеск определяется в основном количеством энергии, излучаемой в непрерывном спектре, т. е. излучением фотосферы, а оболочка уже не является фотосферой. Следовательно, момент, когда блеск звезды наибольший, характеризуется тем, что в это время оболочка становится прозрачной для видимого непрерывного излучения.

Воспользуемся же возможностью «заглянуть» внутрь оболочки новой звезды и посмотрим, что происходит под ней через несколько суток после гигантского взрыва. Конечно, в это время радиус оболочки еще так мал, что никакой туманности на ее месте заметить нельзя и заглядывание внутрь состоит лишь в изучении спектра излучения, выходящего из-под оболочки. Поскольку на него накладывается и излучение оболочки, то в целом наблюдаемый спектр новой звезды оказывается очень сложным. Он характеризуется как присутствием непрерывного излучения, так

*) Количество вещества на 1 см² с расширением оболочки должно изменяться обратно пропорционально квадрату ее радиуса. В этом легко убедиться при помощи рассуждений, аналогичных проводившимся в связи с формулой (3).

и наличием эмиссионных линий и линий поглощения. Непрерывное излучение особенно сильно в синей и фиолетовой областях спектра, что указывает на высокую температуру излучающего газа.

Поскольку расширявшаяся оболочка звезды продолжает излучать энергию в длинах волн линий, то не удивительно, что в спектре новой звезды содержатся эмиссионные линии. После того как оболочка стала прозрачной, можно видеть не только приближающуюся к нам часть оболочки, но и противоположную ее полусферу, которая также излучает в линиях. Поэтому эмиссионная линия образуется всей оболочкой и является симметричной относительно нормального (несмещенного) для этой линии положения, характеризуемого длиной волны λ_0 .

Полная ширина линии определяется скоростью расширения оболочки v . Линия составлена излучением, идущим от различных частей оболочки, которые движутся по отношению к наблюдателю с разными скоростями. Так как наибольшая из скоростей приближения равна v , а максимальная скорость удаления составляет $-v$, то, следовательно, полная ширина линии $2\Delta\lambda_0 = 2\lambda_0 \frac{v}{c}$.

Если внутри оболочки расположен источник непрерывного излучения, то при поглощении из этого излучения передней частью движущейся оболочки какой-то доли энергии в длинах волн линий должны возникать линии поглощения, смещенные на величину $\Delta\lambda_0 = \lambda_0 \frac{v}{c}$. Такие линии поглощения и наблюдаются. Благодаря непрерывному излучению не происходит резкого спада блеска звезды после максимума, какого можно было ожидать вследствие уменьшения непрозрачности оболочки.

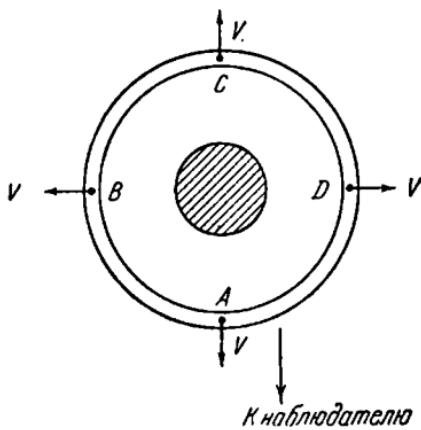


Рис. 33. Схема расширяющейся оболочки звезды. Часть оболочки, находящаяся между звездой и наблюдателем, создает линии поглощения в спектре, смещенные вследствие эффекта Доплера. Эмиссионные линии создаются всей оболочкой.

Помимо линий, принадлежащих оболочке звезды и смещенных поэтому на величину $\Delta\lambda_0$, в спектре новой звезды после максимума ее блеска есть много линий, еще сильнее сдвинутых от нормального положения. По величине сдвига этих линий находят, что они возникают при поглощении фотонов, испускаемых источником непрерывного излучения, в потоках газа, движущихся в сторону наблюдателя в 1,5—2 раза быстрее, чем оболочка. Подобные же потоки движутся и в других направлениях. Таким образом, исследование линий в спектрах новых звезд показало, что после взрыва новая звезда остается в течение недель и даже месяцев очень активной. Из нее выбрасываются массы газа, летящие со скоростями 2—3 тысячи километров в секунду. Этот газ не только поглощает, но и испускает излучение в длинах волн линий, а из тех более плотных слоев газа, которые расположены ближе к звезде, выходит также и непрерывное излучение. Путем детального исследования линейчатых спектров новых звезд нашли, что в различных направлениях вещество выбрасывается неодинаково.

Хотя выбрасывание, или, как говорят, истечение газа из новой звезды постепенно ослабевает, но время от времени мощность истечения внезапно усиливается. В результате происходит возрастание излучения в непрерывном спектре, выражющееся в увеличении блеска звезды. Это явление называют вторичной вспышкой. Вторичные вспышки представляют собой взрывы, но более слабые, чем первый взрыв. Таким образом, за главным взрывом в звезде, который приводит к отрыву от нее наружных слоев, следует целая серия более слабых взрывов.

Так как скорость движения газа, выбрасываемого звездой после отрыва от нее оболочки, существенно превосходит скорость оболочки, то газовые потоки настигают оболочку и «подгоняют» ее. О возрастании скорости оболочки, вызванном этим процессом, мы узнаем по увеличению сдвига образованных ею линий поглощения. По-видимому, особенно мощные потоки газа извергаются звездой еще до того, как блеск новой звезды достигает максимума. Вклиниваясь в оболочку, эти потоки разрывают ее на отдельные части. Поэтому-то туманность, которая, как мы знаем, получается из расширяющейся оболочки, обычно не является вполне однородной, а состоит из множества сгустков или облаков.

Неоднородность структуры оболочки у новой звезды и отклонение формы оболочки от сферической вначале бывают не очень заметными. В дальнейшем, вследствие расширения туманности, плотность газа в ней уменьшается, его излучательная способность падает, и наименее плотные части туманности становятся незаметными. В это время туманность часто представляется состоящей из отдельных светящихся сгустков, расположенных к тому же не вполне симметрично относительно звезды, образовавшей туманность.

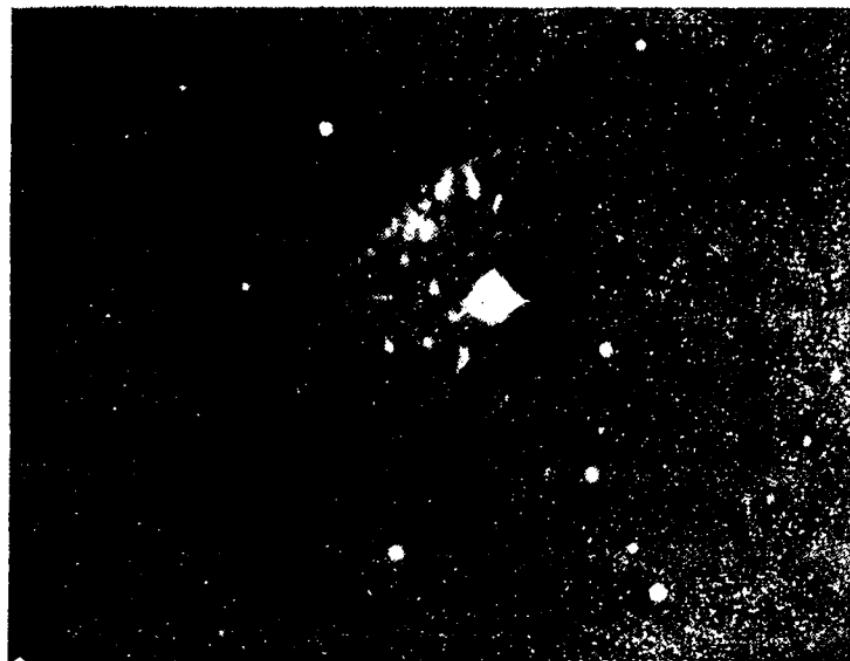


Рис. 34. Оболочка Новой Персея 1901 г. На этом снимке, полученном через пятьдесят лет после вспышки, хорошо видна неоднородность оболочки.

Особенно хорошо изучена структура такой туманности для одной из самых близких к нам новых звезд, вспыхнувшей в 1918 г. в созвездии Орла. При анализе снимков спектра туманности обнаружилось, что вещество в ней концентрировалось в отдельных кольцеобразных зонах, имеющих общую ось. На концах оси располагались два особенно крупных сгустка газа. Один из этих сгустков

в сороковых годах, когда он достаточно удалился от звезды, стал видимым на фотоснимках (см. рис. 31).

Вспышки протекают у различных новых звезд неодинаково. Отличаются скорости движения оболочек, массы оболочек и детали изменений блеска и спектра. Однако срыв оболочки при взрыве и последующее мощное истечение вещества характерны для всех новых звезд. При оценке энергии, освобождаемой взрывом в новой звезде, которой мы сейчас займемся, будем иметь в виду некоторую «среднюю» новую звезду.

Начнем с кинетической энергии оболочки. Массу, выброшенную новой, оценивают по массе туманности, окружающей звезду. Туманность же бывает видимой через несколько месяцев, а чаще — через несколько лет после взрыва. К этому времени выбрасывание вещества в основном заканчивается. Таким образом, величина массы, приводившаяся нами ранее (10^{29} — 10^{30} г), включает в себя как массу первоначально сорванных слоев звезды, так и массу выброшенного позже вещества. При скорости расширения туманности порядка $V \approx 1000$ км/сек = $= 10^8$ см/сек для кинетической энергии ее $E_{\text{кин}} = \frac{mV^2}{2}$ находим значение 10^{45} — 10^{43} эрг.

Поверхностные слои звезды испытывают притяжение со стороны тех ее областей, которые расположены глубже. На преодоление этого притяжения при отрыве оболочки должна быть затрачена энергия. Обозначим величину ее через $E_{\text{отр}}$. Применяя для оценки $E_{\text{отр}}$ тот же прием, что и для оценки потенциальной энергии звезды (см. § 4), нетрудно найти, что $E_{\text{отр}} = \frac{GM_* m}{R_*}$, где M_* и R_* — масса и радиус новой звезды, а m — масса оболочки. При указавшихся нами выше значениях M_* , R_* и m получаем для $E_{\text{отр}}$ значение порядка 10^{45} эрг.

На преодоление притяжения звезды и сообщение оболочке большой скорости расходуется лишь часть энергии, освободившейся при взрыве в новой звезде. Другая часть ее выходит из звезды в форме излучения. Энергию излучения новой звезды, вернее, ту ее долю, которая приходится на видимую часть спектра, определяют по кривой блеска.

Кривая блеска дает значение звездной величины звезды в любой момент. Так как расстояние до звезды известно, то можно найти звездную величину, которая была бы

у Солнца на том же расстоянии. Из этих данных получено, что в момент наивысшего блеска новые звезды на 12—15 звездных величин ярче Солнца. Следовательно, мощность их излучения в 10^5 — 10^6 раз больше, чем у Солнца, т. е. новая звезда в это время излучает 10^{39} — 10^{40} эрг/сек. Для общего количества энергии, излученной звездой в первые несколько месяцев после взрыва, находят, учитывая изменение ее блеска, величину порядка 10^{46} эрг.

При вспышке новая звезда, помимо излучения в оптическом диапазоне, может испускать электромагнитное излучение других длин волн, а также космические лучи. Сейчас нет данных для оценки энергии невидимых излучений новой звезды. Возможно, что там они играют относительно меньшую роль, чем в солнечных вспышках, так как взрыв в новой звезде происходит глубоко и энергия этих излучений в значительной части может успеть превратиться в тепловую энергию. Во всяком случае, произведенные оценки показывают, что общее количество освобождаемой при взрыве новой звезды энергии может превысить 10^{46} эрг. По количеству энергии вспышка новой звезды оказывается эквивалентной 10^{12} — 10^{13} больших солнечных вспышек.

На вспышки новых звезд похожи, по своему характеру, изменения блеска у так называемых повторных новых. Эти звезды вспыхивают каждые 30—40 лет. За несколько суток блеск звезды возрастает в 10^3 — 10^4 раз и затем падает настолько быстро, что через несколько месяцев после вспышки он почти такой же, как и до нее. При вспышке в спектре звезды возникают широкие эмиссионные линии. Такие линии присущи, как мы знаем, только излучению разреженного газа, причем значительная ширина их должна обусловливаться большой скоростью движения газа.

Можно предположить, что у повторных новых звезд при вспышке образуется оболочка, но на фотографиях этих звезд, снятых через несколько месяцев или лет после взрыва, туманностей не обнаруживается. Вероятно, оболочка повторной новой звезды содержит сравнительно мало газа — в 100—1000 раз меньше, чем оболочка новой звезды. К тому времени, когда радиус оболочки увеличивается настолько, что ее можно было бы заметить, плотность газа и его излучательная способность сильно снижаются и свечение туманности недостаточно для образования изображения

на фотопластинке. Кинетическая энергия такой оболочки должна быть в тысячи раз меньше, чем у оболочки новой звезды. Что же касается количества энергии, излучаемой при вспышке повторной новой, то его оценка для оптического диапазона по кривой блеска приводит к значению порядка 10^{42} — 10^{43} эрг.

Через несколько лет после вспышки повторной новой звезды не заметно разницы ни в ее блеске, ни в спектре по сравнению с тем, что наблюдалось до вспышки. Считают поэтому, что состояние звезды в результате вспышки сколько-нибудь существенно не меняется, а раз так, то причины, вызвавшие вспышку, должны через некоторое время привести к ее повторению.

Повторными вспышками характеризуются также звезды, называемые новоподобными, или, по своему прототипу, звездами типа U Близнецов. Большие взрывы на этих звездах происходят по несколько раз в год. При каждом взрыве мощность излучения звезды за несколько часов (а иногда за сутки или двое) увеличивается в 20—50 раз. Звезда обладает повышенным блеском несколько суток, после чего быстро возвращается к первоначальному состоянию.

В спектрах таких звезд, полученных в промежутках между вспышками, видны очень широкие и сильные эмиссионные линии, образованные излучением атомов водорода. Следовательно, вокруг звезды обычно есть оболочка. Однако движение в этой оболочке, по-видимому, не связано с ее расширением. Вспышка не влияет заметным образом на спектр оболочки — он сохраняется почти неизменным до следующей вспышки. Нет оснований думать, что взрыв на звезде типа U Близнецов связан со значительным выбросом вещества из нее. Может быть, эти взрывы затрагивают лишь самые внешние слои звезды. Общая энергия, излучаемая в оптическом диапазоне в результате взрыва такой звезды, порядка 10^{39} — 10^{40} эрг.

До недавнего времени основным доводом в пользу гипотезы об одинаковой природе вспышек новых звезд, повторных новых звезд и звезд типа U Близнецов было внешнее сходство изменений их блеска при вспышках (при совершенно различном масштабе явления). Но использовав для наблюдений звезд, вспыхивавших десятки лет назад как новые, самые большие инструменты (в частности, пятиметровый телескоп), обнаружили, что эти звезды

двойные. Аналогичное обстоятельство было установлено для повторных новых и звезд типа U Близнецов.

Сама по себе двойственность этих звезд не привлекла бы особого внимания — ведь очень большой процент всех звезд Галактики входит в двойные системы. Однако почти все двойные звезды, в которых происходили вспышки, обладают особенностями: во-первых, они оказываются очень тесными системами; расстояние между компонентами в них всего в несколько раз больше их радиуса, поэтому период обращения звезд вокруг общего центра тяжести системы чрезвычайно мал — всего несколько часов; во-вторых, компоненты системы — звезды-карлики, причем одна из них обычно имеет очень малый радиус и напоминает белого карлика. Массы этих звезд порядка нескольких десятых солнечной массы. Принадлежность всех звезд рассматриваемых типов к двойным особого вида вряд ли случайна. По-видимому, и процессы, вызывающие вспышки этих звезд, имеют много общего.

Еще до открытия двойственности звезд типа U Близнецов и повторных новых звезд была отмечена интересная закономерность, связанная со вспышками тех и других. Сначала нашли, что те звезды типа U Близнецов, у которых средний промежуток между вспышками (цикл) длиннее, испытывают и более сильные вспышки *). То же самое, как оказалось, имеет место и для повторных новых звезд. Изменение блеска при вспышке тем сильнее, чем длительнее цикл. Интересно, что на основе этой зависимости в 1934 г. было высказано предположение о вспышке повторной новой Т Северной Короны через 80—100 лет после предыдущей вспышки 1866 г. и, действительно, в 1946 г. эта звезда вспыхнула.

Если допустить, что новые звезды вспыхивают в течение своей жизни не один раз и что для них указанная зависимость также справедлива, то при наблюдаемом у этих звезд изменении блеска во время вспышки им нужно присписать длину цикла порядка нескольких тысяч лет.

В заключение этого параграфа остановимся на некоторых гипотезах, которые были предложены для объяснения вспышек. В основе любой теории взрывов должно лежать то или иное предположение об источниках энергии взрыва.

*) Эта зависимость статистическая, т. е. она сказывается не для отдельной вспышки, а лишь когда рассматривается большое число вспышек.

В некоторых из ранних гипотез о природе новых звёзд предполагалось, что энергия излучается при столкновениях звезд за счет энергии их движения. Эта точка зрения в свете данных новых наблюдений представляется совершенно несостоятельной, хотя бы потому, что вспыхивают как новые лишь звезды определенного вида, а столкновения, даже если бы они были достаточно частыми, должны случаться у звезд любых типов. По этой же причине неверны и другие гипотезы, объясняющие вспышку новой звезды случайными внешними воздействиями.

Одно время была распространена гипотеза, рассматривавшая вспышку как результат внезапного уменьшения радиуса звезды и перехода вследствие этого части потенциальной энергии газа в тепловую энергию и излучение. Но предположение о существенном изменении структуры звезды при вспышке, по крайней мере для повторных новых звезд, противоречит наблюдениям. Кроме того, процесс выхода энергии, освободившейся таким путем в недрах звезды, должен проходить совершенно иначе, чем наблюдалася вспышка новой звезды.

Теперь считается установленным, что, во-первых, вспышка новой звезды (и, тем более, повторной новой), обусловлена внутренними процессами в звезде и, во-вторых, что при вспышке не происходит существенного изменения структуры звезды.

Согласно современным воззрениям, энергия, расходуемая при вспышках новых звезд, обеспечивается ядерными реакциями, но относительно того, в какой области звезды протекают эти реакции, нет единого мнения. Одни исследователи считают, что взрыв происходит сравнительно неглубоко, в периферических слоях звезды, а согласно другой точке зрения энергия взрыва освобождается в центральных областях звезды. В последнем случае предполагается, что энергия переносится из недр звезды наружу ударной волной, под действием которой могут быть сорваны внешние слои звезды, образующие расширяющуюся оболочку. Однако эта теория не объясняет многие факты, известные из наблюдений вспышек новых звезд, в частности, мощное истечение вещества из звезды после отрыва оболочки и вторичные вспышки. Должно быть, ближе к истине те, кто считает, что при вспышках новых звезд, повторных новых и звезд типа У Близнецовых взрывами охватываются лишь внешние области звезд.

Сейчас нет теории вспышек новых звезд, которая согласуется хотя бы с основными из известных данных наблюдений. По-видимому, в будущей теории вспышек должна учитываться двойственность этих звезд, так как присутствие вблизи новой звезды другой звезды должно сказываться на внутреннем строении и процессах освобождения энергии в новой звезде. Кроме того, может иметь значение присутствие на поверхности новой звезды сильных магнитных полей, о существовании которых говорит характер выбрасывания вещества из новой звезды после взрыва. Возникновению полей может способствовать быстрое вращательное движение звезды, входящей в состав тесной пары.

§ 7. СВЕРХНОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

В хрониках и летописях разных народов наряду с описанием исторических событий зарегистрированы и необыкновенные небесные явления. Одним из них, упоминаемым в ряде хроник, было появление в 1054 г. необычайно яркой звезды, которую видели в течение целого месяца даже в дневное время. Отмечено, что по своему блеску эта звезда в десятки раз превосходила самое яркое после Солнца и Луны светило — Венеру. На том месте неба, где согласно летописям находилась звезда, сейчас наблюдается туманность, названная из-за ее своеобразного строения Крабовидной. При сравнении фотографий туманности, снятых с интервалом в несколько десятилетий, не только обнаружили, что она расширяется, но и установили, что расширение продолжается около 900 лет. Таким образом, есть все основания считать, что возникновение туманности связано со вспышкой необычно яркой новой звезды.

Сравнив скорость возрастания угла, под которым виден радиус Крабовидной туманности, со значением скорости расширения, определенной по сдвигу спектральных линий, нашли, так же как и для туманностей, окружающих новые звезды (см. § 6), расстояние до нее. Оно составляет около 5000 световых лет, т. е. больше, чем расстояние до многих из новых звезд последнего времени. Вместе с тем, блеск звезды при вспышке, давшей рождение туманности, в сотни раз превосходил блеск самых ярких из новых звезд. Следовательно, Крабовидная туманность возникла при гораздо более сильном взрыве, чем вспышки новой