

# НОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

Дорошенко Виктор

17 ноября 2005 г.

## 1 Введение

Новыми звездами называют объекты, которые внезапно и значительно увеличивают свой блеск, а затем довольно быстро его теряют. Они имеют характерные спектры, испытывающие значительные изменения во время вспышки, причем эти изменения происходят в совершенно определенной последовательности. Новые звезды открываются совершенно случайно, часто любителями астрономии. В основном, говоря о новых, имеют ввиду оптические звезды, однако такой феномен наблюдается и в других диапазонах, в частности в рентгене. Тогда говорят о рентгеновских новых. Мы рассмотрим и оптические и рентгеновские новые ввиду их сходства - ведь зачастую рентгеновская и оптическая новая оказываются одним и тем же объектом.

## 2 Оптические новые

В нашей Галактике ежегодно открывают несколько (до десятка) Новых звезд, но действительно ярких объектов, оправдывающих интерес широкой публики и дающих наиболее ценный материал для детального научного исследования, среди них совсем немного. Так, за весь XX век всего шесть новых в максимуме блеска были ярче 2-й визуальной звездной величины, причем пять из них - в первой половине века. Выросло целое поколение молодых астрономов, никогда не видевших яркой Новой. Вот список ярких Новых XX века с указанием года вспышки и наибольшего блеска в визуальных лучах.

GK Per (N Per 1901)	+0 <sup>m</sup> .2
V603 Aql (N Aql 1918)	-1 <sup>m</sup> .1
RR Pic (N Pic 1925)	+1 <sup>m</sup> .2
DQ Her (N Her 1934)	+1 <sup>m</sup> .4
CP Pup (N Pup 1942)	+0 <sup>m</sup> .2
V1500 Cyg (N Cyg 1975)	+1 <sup>m</sup> .9

Из этого списка видно, что Новые получают обозначения по той же системе, что и прочие переменные звезды. Названия типа N Her 1934 рассматриваются как предварительные или вспомогательные (подчеркивающие год вспышки) обозначения. На ранних этапах исследований переменных звезд пытались провести грань между переменными звездами, не исчезающими навсегда, и Новыми - временными гостями на нашем небе. Эта грань не существует: как мы увидим, Новые должны вспыхивать повторно, а те из них, которые по своему блеску доступны наблюдениям в минимуме, как правило, переменны и вне вспышек. Система обозначений переменных звезд была последовательно распространена на все Новые звезды после второй мировой войны.

Начальный период вспышки новой звезды - до того, как блеск достигает максимума, продолжается несколько суток. Спад блеска до первоначального значения длится годами и десятилетиями. Но сначала блеск уменьшается достаточно быстро, особенно у т.н. быстрых Н. з., у которых за несколько недель излучение слабеет в сотни раз (рис. 1).

Обычно через несколько лет после максимума блеска вокруг новой звезды наблюдается расширяющаяся газовая оболочка. По угловой скорости увеличения размеров оболочки установлено, что она образуется в начальный момент вспышки. Это свидетельствует об отрыве от новой звезды её внеш. слоев при вспышке. У типичной быстрой новой звезды, вспыхнувшей в 1918 г. в созвездии Орла, на фотографиях 1922 г. и более поздних (рис. 2) была обнаружена расширяющаяся газовая туманность, радиус которой увеличивался ежегодно на 1".

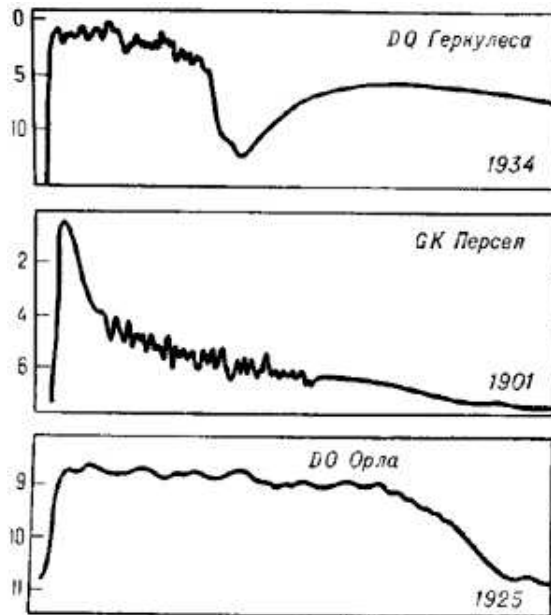


Рис. 1: Кривые блеска трёх новых звёзд в течение первых 350 сут после вспышки. По оси ординат отложена звёздная величина, указан год вспышки.

По доплеровскому смещению линий спектра оболочки была установлена скорость её расширения 1700 км/с (у др. новых звезд скорость расширения оболочки имеет тот же порядок). Сопоставление угловой и линейной скоростей расширения позволило установить, что Новая Орла находится на расстоянии 360 пк. Её абс. звёздная величина до вспышки была оценена примерно в +5 $m$ . В максимуме блеска она достигла -8 $m$ , т.е. блеск новой звезды при вспышке возрос на 13 $m$ .



Рис. 2: Фотографии новой звезды N AqI, вспыхнувшей в созвездии Орла в 1918 г., полученные соответственно в 1922 г., 1926 г. и 1931 г. Фотографии показывают, что сброшенная звездой оболочка со временем расширяется.

Подобно Новой Орла, большинство известных новых звезд находится на расстояниях, не превышающих несколько тысяч св. лет. Более далёкие новые звезды трудно заметить, главным образом вследствие кратковременности периода их макс. блеска. Практически становятся известными новые звезды, вспыхивающие в небольшой (0,01) доле объёма Галактики. Всего же в Галактике ежегодно должно вспыхивать более сотни новых звезд. Распределение новых звезд в пространстве неоднородно. Новые звезды концентрируются к плоскости Галактики, они входят в состав звёзд галактич. диска. Благодаря высоким абс. величинам в максимуме блеска, новые звезды были обнаружены и в др. галактиках: ок. 230 - в Туманности Андромеды и ок. 20 - в Магеллановых Облаках.

Изменения блеска новых звезд сопровождаются значительными изменениями их спектра. На ранних стадиях вспышки (до достижения максимума блеска) оторвавшаяся оболочка звезды остаётся ещё непрозрачной. Усиление блеска новых звезд на этом этапе объясняется увеличением радиуса звезды; линии поглощения смещены в фиолетовую сторону, что и указывает на быстрое расширение оболочки. Вследствие расширения сброшенная оболочка становится более прозрачной. В момент, когда она оказывается прозрачной для видимого излучения более глубоких и горячих слоев, Н. з. достигает максимума блеска. После этого наряду с линиями поглощения осн.

оболочки появляются другие системы линий с большими смещениями. Они образуются в результате последующих выбросов газа из звезды, догоняющих главную оболочку. Кроме линий поглощения появляются широкие линии излучения, образуемые частью оболочки, не проецирующейся на звезду (рис. 3). Возбуждение свечения в линиях (эмиссионного спектра) производится ударами электронов. На более поздней стадии расширения появляется типичный спектр газовой туманности, содержащий яркие линии излучения ионов OIII, HeII, NeIII, CIV и др., к-рые возникают в процессе флюоресценции газа (коротковолновое излучение звезды с  $\lambda \approx 912\text{Å}$  поглощается оболочкой, а поглощённая энергия переизлучается в форме фотонов меньшей энергии, соответствующих частотам оптич. диапазона). В результате взаимодействия оболочки с догоняющими её потоками газа и с межзвёздной средой оболочка становится неоднородной, причём её неоднородность растёт со временем. Постепенно оболочка новой звезды рассеивается в пространстве, сливаясь с межзвёздной средой.

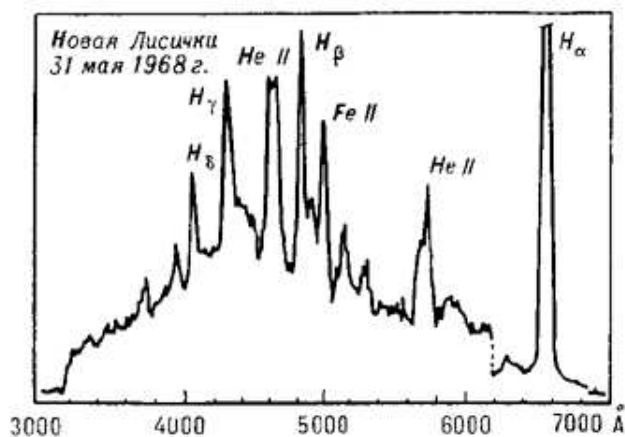


Рис. 3: Типичный спектр новой звезды; по оси абсцисс приведены длины волн в ангстремах, по оси ординат - относительная интенсивность спектральных линий; H $\gamma$ , H $\beta$  и т.д. - линии водорода (серия Бальмера), HeII - линии иона гелия. FeII - линия иона железа.

Массы оболочек, найденные по излучению в частотах спектральных линий, лежат в интервале  $10^{28} - 10^{29}$  г. Поскольку эта величина мала даже по сравнению с массой звезды-карлика, то, следовательно, от новой звезды при её вспышке отрываются только самые внеш. слои.

Вспышка новой представляет собой результат взрыва, происшедшего глубоко под поверхностью звезды. Кинетическая энергия расширяющейся оболочки, сообщённая ей при взрыве, достигает  $10^{45} - 10^{46}$  эрг. За счёт энергии взрыва и энергии, содержащейся в оторвавшейся оболочке, обеспечивается сильное излучение новых звезд в период максимального блеска. За это время Н. з. излучает в оптич. области спектра ок. $10^{45}$  эрг. В период после максимума блеска у некоторых из новых звезд зафиксировано мощное ИК-излучение, связанное, по-видимому, с присутствием в оболочке значит. количества космич. пылинок, нагреваемых невидимым высокочастотным излучением Н. з. Если учесть этот факт, то оказывается, что общее количество энергии, освободившейся при взрыве, может достигать  $10^{47}$  эрг.

Истолкованием явлений, наблюдаемых при вспышке, до недавнего времени и ограничивалась теория новых звезд. В понимании происхождения вспышек значительный прогресс был достигнут лишь после того, как было обнаружено, что все достаточно детально исследованные бывшие новые входят в состав тесных двойных систем. При этом один из компонентов такой системы - белый карлик, а другой - карлик позднего спектрального класса. Впервые факт двойственности установил М. Уокер (США) в 1954 г. для звезды DQ Геркулеса, вспыхнувшей как новая в 1934 г. Эта двойная система имеет орбитальный период всего 4 ч 39 мин. Согласно теоретич. расчётам, подтверждаемым наблюдениями, в системе происходит перетекание газа от красного карлика на белый карлик. В результате аккреции этого газа внеш. слои белого карлика обогащаются водородом. По мере накопления газа у поверхности звезды в более глубоких слоях повышаются плотность и темп-ра. Когда захваченная масса водорода достигает критич. величины ( $10^{30}$  г), темп-ра и плотность там увеличиваются настолько, что начинаются термоядерные реакции углеродного цикла, превращающие водород в гелий. Выделение большой энергии в ходе очень

быстро протекающих ядерных реакций приводит к резкому повышению давления и возникновению ударной волны. Сильная ударная волна, распространяющаяся наружу, приводит в движение внеш. слои водородной оболочки белого карлика. Те слои, скорость которых оказывается больше параболической скорости, отрываются от звезды, образуя газовую оболочку Н. з. Темп-ра же слоев газа, удержанных звездой, остаётся высокой, их энергия постепенно высвечивается.

После вспышки снова начинается аккреция газа на белый карлик, и через нек-рое время (по-видимому,  $10^3$  лет) вспышка должна повториться. Т.о., вспышки новой в данной двойной системе должны происходить много раз. Поэтому оцениваемое общее число вспышек за время существования Галактики ( $10^{12}$ ) может быть обеспечено сравнительно небольшим ( $10^9$ ) числом тесных двойных звёзд.

По характеру изменения блеска с Н. з. сходны т.н. повторные новые. Вспышки у них повторяются через несколько десятков лет. При вспышке блеск возрастает за несколько суток в тысячи раз, спад блеска продолжается несколько месяцев. Период повторяемости вспышек, по-видимому, больше у тех повторных новых, к-рые сильнее увеличивают блеск. Судя по широким линиям излучения в спектрах, вокруг повторных новых также образуются расширяющиеся газовые оболочки. Но непосредственно оболочки не наблюдались, возможно, из-за небольшой их массы и быстрого рассеяния в пространстве. Энергия, выделяемая за время вспышки повторной новой, достигает  $10^{42} - 10^{43}$  эрг. Все подробно исследованные повторные новые также оказались двойными звёздами с периодами обращения 5-6 ч.

Кроме рассмотренных существуют звёзды типа U Близнецов, у которых вспышки с изменением блеска в сотни раз (на 4-5m) повторяются через 50-100 сут. Их часто наз. также карликовыми новыми. При вспышке, в среднем длящейся несколько суток, выделяется энергия  $10^{40}$  эрг. Эти звёзды представляют собой двойные системы звёзд-карликов, аналогичные системам, содержащим Н. з. Возможно, что вспышка у них начинается с возрастания блеска холодного спутника, сопровождаемого усилением перетекания вещества на белый карлик.

### 3 Рентгеновские новые

Такое название получил редкий тип вспыхивающих рентгеновских источников. В отличие от рентгеновских барстеров, они внезапно появляются на несколько месяцев, а затем полностью исчезают. Исследования показали, что Р.Н. находятся в тесных двойных системах, в которых происходит аккреция газа с обычной звезды на массивный компактный объект.

Сейчас таких рентгеновских новых известно около 10, и самое волнующее открытие последних лет, сделанное совместными усилиями рентгеновских и оптических астрономов России, Украины (с борта орбитального комплекса МИР-Квант и обсерватории "Гранат" и в Крымской Астрофизической Обсерватории) и за рубежом, состоит в том, что во всех рентгеновских новых компактными звездами является, по-видимому, черные дыры с массой около 10 масс Солнца, существование которых неизбежно следует из Общей теории относительности А.Эйнштейна. Природа вспышки здесь существенно иная, чем у классических новых звезд и рентгеновских барстеров, т.к. черные дыры не имеют какой-либо поверхности, на которой может скапливаться аккрецируемое вещество. Как полагают, вспышка рентгеновской новой связана с внезапным гигантским энерговыделением в окружающем черную дыру аккреционном диске, и выяснение причины такого неустойчивого поведения аккреционных дисков - одна из актуальных задач современной астрофизики. Следует однако отметить, что ряд рентгеновских новых может быть связан и с нейтронными звездами. Такие системы однако обычно называют просто транзиентными источниками.

Можно выделить два типа возможных неустойчивостей - связанные с собственно нестабильностью диска и неустойчивости связанные с переносом массы.

#### 3.1 дисковые неустойчивости

Флуктуации температуры вызывают нестабильность диска и, как следствие вспышку новой в моделях, основанных на дисковых неустойчивостях. Вспышка вызвана очень сильной зависимостью прозрачности от температуры в диске. Хотя диск стабилен и в холодном и в полностью ионизированном состоянии, переход из одного состояния в другое вызывает кратковременное значительное увеличение темпа аккреции. (В холодном состоянии масса накапливается во внешнем диске, затем быстро вбрасывается во внутренний). Основная проблема дисковых моделей -

объяснение периодичности вспышек. Для в общем то близких по параметрам двойных систем наблюдается значительное различие в периодах вспышек. Оно может быть объяснено только различием  $\alpha$  параметра, который однако не должен меняться при постоянных прочих условиях...

### **3.2 Неустойчивости темпа аккреции**

Предполагается, что рентгеновское излучение компактного объекта может разогревать оптический компаньон, вызывая переход его внешней атмосферы в неустойчивый режим, и, как следствие, резкое увеличение темпа аккреции. Исходя из этой модели можно объяснить как кривые блеска во время вспышки, так и период повторения вспышек. Однако последние наблюдения ставят перед ней очень серьезную проблему - дело в том, что в "спящем" состоянии спектр рентгеновского источника предполагается довольно мягким и оказывается что его мощности сильно недостаточно для необходимого разогрева оптической звезды.

## **4 Заключение**

Несмотря на редкость такого явления как новая звезда, основные механизмы этого феномена на сегодняшний день выявлены. Суть явления заключается в накапливании массы, с последующей потерей устойчивости системы и быстрым высвечиванием накопленной массы. Масса может накапливаться как на поверхности компактного объекта, так и в аккреционном диске, его окружающем. Эти механизмы оказываются общими для широкого класса объектов, что является дополнительным их подтверждением. В реальности по видимому мы всегда имеем дело с комбинацией различных способов накопления массы и потери устойчивости. Несмотря на то, что в общих чертах картина ясна, изучение каждой вспышки представляет собой актуальную научную задачу, поскольку каждая вспышка может значительно изменить теоретические представления о новых звездах в целом.