

Э. Р. МУСТЕЛЬ

**О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ВЫБРОСА МАТЕРИИ НОВЫМИ ЗВЕЗДАМИ В МОМЕНТ МАКСИМУМА ИХ БЛЕСКА***(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 14 VIII 1940)*

Экспериментальные исследования установили, что ход развития типичной Новой до момента максимума ее блеска характеризуется непрерывным возрастанием яркости и относительно стабильным абсорбционным спектром, с линиями поглощения, обнаруживающими доплеровское смещение в сторону коротких волн. При этом на красном краю смещенных линий поглощения наблюдаются более или менее явно выраженные эмиссионные компоненты.

В настоящее время принято считать, что как эти, так и другие более второстепенные явления обусловлены непрерывным сферически симметричным расширением протяженной оболочки, окружающей Новую. К моменту максимума протяженность такой оболочки становится весьма большой. В частности, различные исследования установили, что ускорение силы тяжести в верхних частях такой оболочки должно падать к моменту максимума в  $10^4$ — $10^5$  раз. Почти сразу же после максимума блеска в спектрах Новых наступают исключительные по своей быстроте изменения. Упомянутые эмиссионные компоненты внезапно развертываются в широкие эмиссионные полосы, на фиолетовом краю каждой из которых появляется одна или несколько новых линий поглощения. Образованные при этом новые абсорбционные системы обнаруживают в ряде случаев намного большие доплеровские смещения, чем та единственная абсорбционная система, которая существует до максимума. Как на один из типичных примеров описанных изменений можно указать на вспышку N Pict. 1925. В течение не менее чем 15 дней до максимума единственная система линий поглощения, соответствовавшая спектру сF5, указывала на практически постоянное доплеровское смещение порядка 65 км/сек. Сразу же после максимума в течение одного-двух дней развитие спектра привело к образованию новых абсорбционных систем со скоростями в 100, 310 и 1100 км/сек.! Все подобные этим изменения успешно интерпретируются в настоящее время как мощное выбрасывание материи Новой в момент максимума ее блеска. Повидимому, единственно мыслимой причиной такого выброса может быть лучевое давление, причем возрастающая к моменту максимума роль последнего обусловлена в данном случае не непосредственным возрастанием яркости всей звезды в целом, а непрерывным уменьшением ускорения силы тяжести в верхних слоях расширяющейся оболочки. Однако такой простой механизм, при котором в некоторый момент давление радиации на оболочку превышает силу тяготения и поэтому ускорение оболочки становится положительным, ни в коем случае не может объяснить тех скоростей, которые возникают в исключительно короткий промежуток времени (от нескольких часов до 2—3 дней). Теория выброса «высокоскоростных атомов», развитая Милном <sup>(1)</sup> в 1926 г., также не может дать объяснение вышеописанным явлениям. Как известно, эта теория в ее

чистом виде применима только к выбросу индивидуальных атомов. В то же время такой мощный и кратковременный выброс материи, какой наблюдается у Новых, с точки зрения теории Милна совершенно непонятен.

Кроме того остается загадочным факт наступления этих явлений именно после максимума, в то время как оболочка любой новой звезды становится достаточно протяженной и до максимума. Указание Мак-Кри <sup>(2)</sup> о том, что в расширяющейся оболочке, окружающей Новую, должен существовать некоторый градиент скоростей, положительный в направлении от центра звезды, и что, следовательно, в той или иной мере приложим механизм Милна, повидимому, справедливо. Однако, опять-таки, совершенно неясно, почему и здесь этот механизм начнет действовать только после максимума, так как, например, согласно Бееру <sup>(3)</sup> для N Her. 1934 различие в скоростях расширения фотосферы и тех внешних частей, которые обуславливают наличие линий поглощения, существовало в течение всего периода возрастания яркости звезды вплоть до максимума (в течение 9 дней). И все же выбрасывание материи началось только после максимума.

С другой стороны, подсчеты, проведенные Мак-Кри <sup>(4)</sup>, показали, что вблизи максимума блеска давление радиации в верхних частях расширяющейся оболочки становится исключительно важным фактором. Он нашел, имея в виду применение полученных результатов к вышецитированной теории Милна, что атомы водорода и ионизированного кальция, попадая в поле радиации, характеризуемой только непрерывным спектром, без наличия линий поглощения могут приобретать скорости, даже еще большие, чем наблюдаемые.

Таким образом, считая, что, действительно, давление радиации является основной причиной выбрасывания оболочек во время максимума, мы должны объяснить: 1) почему такое выбрасывание происходит и тотчас же после максимума; 2) почему наблюдается несколько абсорбционных систем.

Возможная интерпретация первого из этих явлений дается ниже. Что же касается второй проблемы, то автор предполагает обсудить ее в ближайшее время.

Рассмотрим внешние слои расширяющейся Новой незадолго до момента ее максимума. Движение их будет управляться следующими силами:

1) Давлением радиации, 2) силами, связанными с газовым градиентом, 3) гравитационным воздействием со стороны основной массы звезды. Дать количественное взаимоотношение между этими силами в настоящее время не представляется возможным по причине отсутствия соответствующих теоретических исследований. Тем не менее следующие соображения указывают, что в данном случае давление радиации вряд ли может играть большую роль. В отношении спектральных линий это представляется в достаточной степени очевидным, так как в спектральных областях, занимаемых ими, поток радиации, проходящий через рассматриваемые нами верхние слои оболочки, сильно ослаблен\*. Что же касается давления радиации, обусловленного непрерывным поглощением за головками спектральных серий, то здесь достаточно рассмотреть водород, так как для обычных температур, характеризующих Новую в максимуме, непрерывное поглощение металлами будет невелико в силу их относительно невысокого процентного содержания. Для этих же температур, как можно показать, роль лаймановского континуума также исчезающе мала. Таким образом остается только лишь непрерывное поглощение водородными атомами для частот меньших, чем частоты лаймановского континуума.

\* В той мере, в какой ослабление радиации в линиях поглощения регистрируется наблюдениями.

Однако сразу же после максимума положение коренным образом изменится. Для того чтобы понять это, рассмотрим те процессы, которые происходят в оболочках Новых во время максимума блеска. Спектрофотометрические исследования указывают, что вблизи момента максимума температура типичной Новой остается практически постоянной. Таким образом само по себе наличие максимума свидетельствует лишь о том, что звезда, достигнув наибольших размеров, начинает в силу ослабления действовавших ранее источников энергии быстро сокращаться, причем, в основном, это сокращение будет идти за счет уменьшения эффективного радиуса ее «фотосферы». В то же время наиболее внешние слои оболочки расширившейся звезды должны будут отделиться от последней. В самом деле, единственными силами, действующими на них в направлении к центру Новой, будут гравитационные силы. Однако подсчеты, произведенные автором для типичных новых звезд, показали, что для внешних частей оболочек, их окружающих, справедливо во всех случаях неравенство:

$$v_{r_{max}}^2 \geq \frac{2k^2 M}{r_{max}}, \quad (1)$$

где  $v_{r_{max}}$  — скорость расширения оболочки в момент максимума\*, находящаяся на основании смещения линий поглощения (первая абсорбционная система),  $r_{max}$  — радиус оболочки в тот же момент, бравшийся на основании различных исследований, аналогичных исследованию Мак-Лафлина (5). Для  $M$  — массы Новых — была принята величина, равная  $10M_{\odot}$ . Некоторое исключение составляет N Pict. 1925, где неравенство (1) выполняется при массе, не большей, чем  $5M_{\odot}$ . Однако в данном случае принятая величина для  $r_{max}$  связана, в основном, с «фотосферой» звезды в максимуме. В то же время Беер (3) для N Her. 1934 показал, что радиус, определяющий верхние слои «обращающего слоя» Новой, гораздо больше, чем радиус ее «фотосферы». Нет никакого сомнения, что то же самое справедливо и в отношении N Pict. 1925. А раз так, то и для этой звезды предельная масса, входящая в (1), может быть взята равной  $10M_{\odot}$ .

Таким образом даже в том случае, если в момент максимума силы, связанные с давлением радиации, окажутся ничтожными, то все равно инерциальные возможности у верхних слоев оболочки, окружающей типичную Новую, будут решающими и эти слои отделятся от основной массы звезды. В то же самое время те более внутренние части первоначальной оболочки, которые останутся при звезде, будут при сжатии последней следовать за нею, образуя некоторую протяженную, относительно статическую атмосферу. В моменты, непосредственно следующие за максимумом, эта атмосфера будет характеризоваться практически несмещенными или смещенными в красную сторону линиями поглощения. Однако, так как отделившаяся оболочка имеет некоторую (и довольно большую) скорость по отношению к звезде, то ясно, что атомы этой оболочки будут, в силу эффекта Доплера, поглощать радиацию, излучаемую уже только непрерывным спектром, связанным с протяженной атмосферой. Таким образом едва лишь произойдет описанный процесс отделения, а он произойдет при обычных скоростях  $v_{r_{max}}$  сразу же после максимума, как в областях, занимаемых спектральными линиями, на внутреннюю поверхность отделившейся оболочки упадет мощный поток «непрерывной» радиации. Это приведет к тому, что оболочка в весьма короткий срок приобретет боль-

\* До момента отделения оболочки.

шое положительное ускорение, которое понизится лишь тогда, когда благодаря действию закона

$$F \propto r^{-2} \quad (2)$$

поток  $F$ , отнесенный к единице площади отделившейся оболочки, заметно ослабится. Закон (2) вполне объясняет вид кривых лучевых скоростей после максимума блеска. Что же касается того, сможет ли разобранный механизм дать скорости, вполне достаточные, чтобы удовлетворить наблюдениям, то этот вопрос решается вышеупомянутыми подсчетами Мак-Кри.

Наконец, в отношении вопроса о том, почему скорости выброса атомов различных элементов примерно одинаковы, следует отметить, что причина этого состоит, по видимому, в том, что водород в силу своего исключительно высокого процентного содержания увлекает за собой все остальные элементы. Этот вопрос рассматривался Мак-Кри<sup>(6)</sup>. В связи с изложенными соображениями о внезапно возрастающей роли радиации интересно проследить и судьбу той протяженной атмосферы, которая после процесса отделения останется со звездой. В силу того, что после максимума сжатие самой звезды происходит с относительно небольшой скоростью, абсорбционные линии, возникающие в такой атмосфере, должны быть достаточно резки и связанный с нею спектр должен напоминать несмещенный или немного смещенный к красному концу спектр  $\alpha$  Cyg. При этом ясно, что этот спектр можно будет видеть лишь при исключительно благоприятных обстоятельствах, так как центры соответствующих абсорбционных линий, образующих указанный спектр, будут совпадать с центрами широких эмиссионных полос. Тем не менее Стрэттон<sup>(7)</sup> в своих работах о N Per. 1901 и N Gem. 1912 находит, что у обеих звезд такой несмещенный спектр типа  $\alpha$  Cyg. действительно существовал, причем реальность его не вызывала никакого сомнения. То же самое можно отметить и в отношении N Aql. 1918. Таким образом эти экспериментальные факты находят себе вполне рациональное объяснение.

В заключение необходимо оговорить следующее. Как явствует из сказанного, наиболее важной спектральной областью во всех рассмотренных эффектах, связанных с давлением радиации, является ультрафиолетовая область спектра с частотами, не меньшими, чем частота предела серии Бальмера. В то же время спектрофотометрические исследования указывают, что у N Gem. 1912 и N Her. 1934<sup>(8)</sup> даже в максимуме за пределом этой серии наблюдался сильный непрерывный спектр излучения\*.

При этом ясно, что этот спектр должен быть связан не только с верхними частями протяженной флуоресцирующей оболочки, но и с фотосферой новой звезды, так как, например, в случае N Her. 1934 эффективная температура звезды около максимума была явно слишком мала, чтобы вызвать мощную флуоресценцию за счет одного только лаймановского континуума, связанного с фотосферой\*\*. Таким образом этот экспериментальный факт еще более убеждает нас в том, что давление радиации действительно играет основную роль во всех процессах выброса материи Новыми после максимума их блеска.

Поступило  
5 VIII 1940

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Monthly Notices (M. N.) 86, 459 (1926)    <sup>2</sup> Observatory 60, 277 (1937).    <sup>3</sup> M. N., 97, 231 (1937).    <sup>4</sup> См. ссылку<sup>(2)</sup>, а также ZS. f. Astrophys., 14, 208 (1937).    <sup>5</sup> Astr. Journ., 45, 145 (1936).    <sup>6</sup> M. N., 95, 509 (1935).    <sup>7</sup> Ann. of the solar physics observatory, 4, part I (1920), 4, part II (1936).    <sup>8</sup> Астрон. журн., т. 16, № 2, (1939).

\* В отношении других Новых аналогичных исследований не производилось.

\*\* Автор считает наиболее вероятным, что указанный спектр является рекомбинационным спектром, связанным, в основном, с ионизацией водородных атомов путем столкновений.