Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 2

АСТРОНОМИЯ

И. М. ГОРДОН

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ВСПЫШКАХ НОВЫХ, В ОБОЛОЧКАХ ЗВЕЗД ВОЛЬФ-РАЙЕ, Р ЛЕБЕДЯ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 14 I 1955)

Впервые идея об извержениях типа солнечных у долгопериодических переменных и у других звезд была высказана Г. А. Шайном (1). Мы предположили, что многие формы переменности звезд имеют общие существенные черты с процессами солнечной активности (2). Ниже мы покажем, что это положение находит новые подтверждения в различных свойствах нестационарных звезд.

1. Ряд свойств Новых не может быть согласован с теорией выброса при вспышке оболочки.

1) Ускорения газовых масс в оболочках Новых свидетельствуют о действии негравитационных сил, имеющих ту же природу, что и силы, действующие в возрастных протуберанцах. Замечательный пример таких процессов дает абсорбционный спектр Н Геркулеса 1934, в котором, наряду с линиями водорода и FeII, смещенными к фиолетовому концу, наблюдались те же линии, смещенные к красному концу (3) ($v = +1090$ км/сек).

Таблица 1

Название	M_{max}	V, $\frac{см}{сек}$	Время появл. в сутках после максимума	n, $см^{-3}$	$J_{OI}/J_{H\beta}$
Н Орла 1918	$-9^m,3$	$1{,}45\cdot10^8$	5	$3\cdot10^{10}$	$3\cdot10^{-4}$
Н Геркулеса 1934	$-5^m,5$	$3{,}15\cdot10^7$	10	10^{10}	10^{-2}
Н Близнецов 1912	$-8^m,0$	$8\cdot10^7$	5	10^{11}	10^{-4}
Н Лебедя 1920	$-8^m,9$	$7\cdot10^7$	6	$2\cdot10^{11}$	$5\cdot10^{-5}$
Н Кормы 1942	$-10^m,0$	$1{,}1\cdot10^8$	5	$6\cdot10^{11}$	10^{-5}
Н Персея 1901	$-8^m,4$	$1{,}27\cdot10^8$	9	10^{10}	10^{-3}

2) Спектры многих Новых после вспышки (19) (особенно η Киля (4)) свидетельствуют о мощной деятельности возвратных протуберанцев и извержений, а также о действии на газовые массы негравитационных сил.

3) В спектре ряда Новых через несколько дней после максимума появляются небулярные линии OI.

Теория расширяющейся фотосферы дает массу оболочки, которая приводит к столь высокой плотности, что появление линий невозможно. Данные приведены в табл. 1.

Мы принимали, что степень ионизации водорода составляет 10%. Если ионизация выше, то это отношение будет еще меньше.

4) Теория расширения фотосферы определяет массу оболочки Новой как функцию яркости в максимуме. Тогда появление туманности должно зависеть от яркости в максимуме и скорости расширения. На самом деле это не так. Одна из наиболее ярких в максимуме Н Кормы 1942 не имеет туманности, тогда как у Н Орла 1918 туманность появилась очень рано (6).

5) Спектры многих Новых обнаруживают сходство со спектрами звезд UV Кита и T Тельца. Так, спектр H Лебедя 1920 имел затушеванные, нечеткие линии, причем эта наиболее характерная его особенность была реальным свойством спектра ([7]). Сходство со спектром звезд T Тельца обнаруживает также спектр H Близнецов 1912 ([8]). Особенный интерес представляет обнаруженное у H Персея 1901 замечательное явление «заливания» спектра Новой континуумом неизвестного происхождения ([9]).

Существенной особенностью спектров H Геркулеса 1934 ([5, 10]), H Лебедя 1920 ([7]) и H Персея ([9]) было временное исчезновение и появление вновь некоторых абсорбционных систем. Так, у H Лебедя 1920 временно исчезла вся система линий главного спектра. Это явление вряд ли может найти объяснение в рамках теории расширяющихся оболочек.

2. Недавно было обнаружено мощное радиоизлучение H Орла 1918 ([11]). Возможность радиоизлучения из оболочек Новых была указана ранее В. Л. Гинзбургом ([12]).

Обращает внимание большое удельное излучение из туманности. Оно в 61 раз превышает удельное излучение из Крабовидной туманности. Поток составляет $J\nu = 2{,}7 \cdot 10^{-24}$ вт/м^2 гц при $\nu = 100$ Мгц. Принимая ([13]), что расстояние до H Орла составляет 430 пс, получим, что полный поток составит $5{,}9 \cdot 10^{22}$ эрг/сек · гц. Источником излучения может быть лишь тормозное излучение релятивистских электронов в магнитном поле. Колебания плазмы в туманности имеют слишком низкую частоту, а механизм теплового излучения ионизованного газа требует наличия яркого континуума в видимой области. Релятивистские электроны либо испускаются звездой либо образуются в оболочке за счет статистического механизма ускорения. Оценивая массу оболочки по яркости эмиссионных линий ([6]), получаем $m = 1{,}7 \cdot 10^{29}$ г.

Объем туманности можно найти, пользуясь данными ([13]) $V = 1{,}6 \cdot 10^{52}$ см^3. При этом плотность $\rho \approx 10^{-23}$ г/см^3

Исходя из обычного предположения о равнораспределении энергии между магнитным полем и турбуленцией и из средней скорости турбуленции $U_{\text{турб}} = 10^7$ см/сек, мы получим верхний предел $H \approx 10^{-4}$ эрст. При таком поле на частоту $\nu = 100$ Мгц приходится максимум излучения электронов при $E = 4{,}1 \cdot 10^8$ эв ([12]). Требуется $2{,}8 \cdot 10^{48}$ электронов с общей энергией $\approx 2 \cdot 10^{45}$ эрг., чтобы обеспечить поток излучения в $5{,}9 \cdot 10^{22}$ эрг/сек · гц. В действительности эта энергия еще больше, так как имеется протяженный энергетический спектр электронов. Полная энергия турбуленции в туманности $mU^2_{\text{турб}}/2 = 10^{43}$ эрг., т. е. на 3 порядка меньше энергии релятивистских электронов. Статистический механизм ускоряет также протоны, которые приобретают энергию на 3 порядка бóльшую, чем электроны. Магнитное поле способно удержать их в туманности. Таким образом, для ускорения протонов энергия турбуленции оказывается меньшей, чем требуется, на 6 порядков.

Мы приходим к выводу, что релятивистские частицы, имеющиеся в туманности H Орла 1918, б ы л и в ы б р о ш е н ы и з з в е з д ы. Эти электроны при нахождении в атмосфере звезды могут интенсивно излучать свет за счет большей напряженности магнитного поля.

При $H \approx 1$—50 эрст. электроны, ответственные за радиоизлучение туманности в сантиметровом диапазоне, имеют максимум излучения в оптической области. Для количественных оценок мы не располагаем достаточными сведениями. Если положить что $J\nu_{\text{радиоизл}} \sim \nu^{-1/2}$ и что все электроны выброшены одновременно в момент вспышки, то при $H \approx 20$ эрст. световое излучение этих электронов более чем на 2 порядка превзойдет излучение в максимуме блеска!

3. Ряд существенных особенностей спектров звезд WR противоречит простой картине истечения материи из их атмосфер ([14]). Легко показать, что при потере звездами WR и P Лебедя 10^{-5} $M_\odot$ в год и скоростях расши-

рения 10^8 и 10^7 см/сек вокруг них должны образоваться плотные туманности со средней плотностью $n = 10^3$ см $^{-3}$ и $n = 10^4$ см $^{-3}$, соответственно. Вокруг звезд WR образование такой туманности с $d \approx 4000$ астр. ед. потребует 10 лет, тогда как звезд P Лебедя — 100 лет. То обстоятельство, что ни у одной из звезд WR и P Лебедя не наблюдается таких туманностей, а также запрещенных линий, свидетельствует о том, что появление эмиссионных линий и смещенных линий поглощения связано не с истечением материи, а с мощной активностью извержений и протуберанцев.

Процессы солнечной активности сопровождаются выбросом космических частиц ([17], [18]). Можно ожидать, что звезды WR и P Лебедя также являются источниками космических частиц. Это предположение находит подтверждение в том, что две планетарные туманности NGC 2792 и NGC 6445 обнаружены в числе источников радиоизлучения ([11]). Заметим, что излучение из 1 см^3 в NGC 2792 в 250 раз превосходит такую же величину для Крабовидной туманности. Вместе с тем энергия релятивистских электронов, ответственных за радиоизлучение NGC 2792, по крайней мере на 3 порядка превосходит энергию турбуленции. Таким образом, надежно устанавливается факт выброса космических частиц центральной звездой.

Спектральные характеристики ядер планетарных туманностей обычно совпадают с характеристикой звезд WR. Этим подтверждается связь между образованием космических частиц и процессами в нестационарных звездах, ответственными за эмиссионные спектры нестационарных звезд.

Предложенная картина не противоречит интенсивной потере массы этими звездами. Истечение носит, повидимому, такой же характер, как и выброс корпускулярных потоков из активных областей Солнца, но в существенно большем масштабе. Таким образом, наши выводы находятся в полном согласии с известными данными о молодости звезд WR и P Лебедя.

На основании изложенного приходим к следующим выводам:

1) Свойства спектров Новых противоречат теории расширяющихся оболочек. Эмиссионные линии, повидимому, возникают в мощных извержениях, а линии поглощения — в возвратных протуберанцах. За спектры поглощения различных систем ответственны протуберанцы в различных зонах. Возвратные протуберанцы наблюдались в спектрах H Геркулеса 1934 ([3]) и, повидимому, H Близнецов 1912 ([8]). Отсутствие в спектре Новых смещенных к красному концу линий, возможно, объясняется тем, что в той области, в которой происходят нисходящие перемещения газовых масс, господствуют условия, при которых они наблюдаются в эмиссии. Известны случаи, когда солнечные протуберанцы наблюдались яркими в проекции на диск ([20]).

2) Недавно обнаруженное радиоизлучение H Орла 1918, источником которого являются релятивистские электроны, подтверждает наш вывод о том, что при вспышках Новых происходит выброс космических частиц звездой ([2]). Сравнение энергии релятивистских частиц, ответственных за радиоизлучение, с энергией турбуленции туманности исключает возможность ускорения частиц в оболочке. Находясь в атмосфере Новой, эти электроны, за счет большей напряженности магнитного поля, могут эффективно излучать свет. Их излучение, возможно, и объясняет замечательное явление «заливания» спектра Новых континуумом неизвестного происхождения.

3) Установленное нами сходство спектра ряда Новых со спектром звезд T Тельца, повидимому, свидетельствует об общей природе процессов в атмосферах этих звезд. Ранее мы предполагали, что звезды T Тельца являются источником космических лучей ([2]). Предварительное отождествление В. А. Амбарцумяном одного из дискретных источников радиоизлучения с звездой типа T Тельца подтверждает наше предположение. Источником радиоизлучения являются, повидимому, релятивистские электроны,

захваченные магнитным полем оболочки звезды. Оболочка создается истечением материи из активных областей звезды.

4) Отсутствие видимых туманностей и запрещенных линий у звезд WR и P Лебедя, а также другие особенности их спектров свидетельствуют о мощной активности извержений и возвратных протуберанцев. То обстоятельство, что эмиссионные линии возникают в верхней атмосфере, а не в оболочке, подтверждено исследованиями Ока ([21]). Обнаружение NGC 6357, содержащей звезду WR ([15]), и планетарных туманностей NGC 2792 и NGC 6445 в числе источников радиоизлучения, повидимому, свидетельствует о том, что со спектральными характеристиками звезд WR связан выброс космических частиц. Статистический механизм ускорения в планетарных туманностях не эффективен за счет недостаточности энергии турбуленции.

5) Истечение материи из Новых, ответственное за наблюдающиеся вокруг них туманности, а также из звезд WR и P Лебедя имеет такой же характер, как и выброс корпускулярных потоков из активных областей Солнца, тогда как смещенные к фиолетовому концу спектра абсорбционные линии обусловлены возвратными протуберанцами. В пользу этого свидетельствует тот факт, что скорость расширения туманности, соответствующая скорости выброшенных потоков частиц, иногда значительно превосходит скорость по линиям главного спектра поглощения ([7], [5], [13]).

6) Получены новые подтверждения того, что в различных типах нестационарных звезд образуются космические лучи и возникают извержения и возвратные протуберанцы. Таким образом, нестационарные процессы в звездах имеют общие черты с процессами солнечной активности, отличаясь от них масштабом явления ([1], [2]). В пользу предложенной картины свидетельствует тот факт, что Солнце является источником космических лучей. Он показывает, что в атмосферах звезд может действовать механизм, сообщающий частицам релятивистские энергии.

Поступило
10 I 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. А. Шайн, Изв. Ан СССР, сер. физ., **9**, № 3 (1945). [2] И. М. Гордон, ДАН, **97**, 621 (1954). [3] W. Morgan, Ap. J., **83**, 252 (1936). [4] E. Gaviola, Ap. J., **118**, 234 (1953). [5] A. B. Wyse, Publ. Lick. Obs., **14**, 93 (1939). [6] Б. А. Воронцов-Вельяминов, Газовые туманности и новые звезды, М., 1948. [7] R. Baldwin, Publ. Obs. Univ. Mich., **8**, № 5 (1942). [8] W. Wright, Publ. Lick. Obs., **14**, II (1926). [9] D. McLaughlin, Publ. Obs. Univ. Mich., **9**, № 3 (1949). [10] D. McLaughlin, Publ. Obs. Univ. Mich., **6**, № 12 (1937). [11] J. G. Bolton et al., Austr. J. of Phys., **7**, 124 (1954). [12] В. Л. Гинзбург, Усп. физ. наук, **51**, 343 (1953). [13] Проблемы космической аэродинамики, 1953, стр. 143. [14] O. Wilson, Ap. J., **95**, 402 (1942). [15] F. T. Haddock, C. H. Mayer, R. M. Sloanaker, Nature, **174**, 176 (1954). [16] И. М. Гордон, ДАН, **94**, 813 (1954). [17] J. Firor, Phys. Rev., **94**, 1017 (1954). [18] J. Firor, J. Simpson, S. Treiman, Phys. Rev., **95**, 1015 (1954). [19] M. Walker, Publ. Astr. Soc. Pac., **66**, 71 (1954). [20] H. W. Dodson, E. R. Hedeman, Observ., **72**, No. 866 (1952). [21] J. B. Oke, Ap. J., **120**, 22 (1954).