

## АСТРОФИЗИКА

Г. А. Гурздян

**Возможность излучения непрерывной эмиссии  
планетарными туманностями**

(Представлено В. А. Амбарцумяном 24.XII.1956)

Как показано акад. В. А. Амбарцумяном, некоторым нестационарным объектам — объектам Хербига-Харо, звездам типа Т Тельца, UV Кита, кометарным туманностям и т. д. — свойственно вырабатывать особый тип излучения, которому было дано название „непрерывная эмиссия“. По своему характеру это излучение не может быть теплового происхождения и, поэтому, оно приписывается некоторому агенту, который, выбрасываясь из недр звезд, выносит с собой энергию, освобождая ее уже вне пределов звезды (1).

Следует отметить, что в случае упомянутых выше типов нестационарных объектов непрерывная эмиссия по своей величине обычно порядка „нормальной“ энергии, излучаемой этими объектами в периоды минимума их яркости. Иначе говоря, относительная доля непрерывной эмиссии в общем излучении у них достаточно велика, что облегчает обнаружение и изучение этих объектов. Это обстоятельство следует отметить особо, так как если существование упомянутого агента („внутризвездного вещества“) и способность этого агента излучать при определенных условиях энергию по особому, пока неизвестному закону, реальны, то можно ожидать существование непрерывной эмиссии и у заведомо стационарных объектов, в том числе и у Солнца. И если оно не наблюдается в действительности, то это следует объяснить тем, что у них доля непрерывной эмиссии в общем излучении мала. В частности, выделение непрерывной эмиссии у стационарных объектов может иметь место и в другой — „микроскопической“ форме. Например, некоторые явления, наблюдавшиеся на поверхности Солнца — хромосферные вспышки, спорадическое радиоизлучение и т. д., возможно, можно будет объяснить этим новым механизмом излучения.

Планетарные туманности, конечно, следует отнести к разряду нестационарных объектов, хотя по скорости протекания процессов нестационарного характера они занимают промежуточное положение между типичными нестационарными объектами и стационарными звездами. Поэтому можно ожидать существование непрерывной эмиссии и у этих объектов. Однако здесь возникает существенное затрудне-

ние, заключающееся в том, что в отличие, например, от кометарных туманностей, где яркость ядра и яркость туманности являются величинами одинакового порядка, у планетарных туманностей, как правило, яркость самой туманности в несколько десятков, сот и даже тысяч раз превышает яркость ядра. Если допустить, что выделение непрерывной эмиссии у планетарных туманностей происходит с такой же мощностью, что и у объектов Хербига-Харо, или у кометарных туманностей, то получается, что энергия, выделенная в виде непрерывной эмиссии, в случае планетарных туманностей едва ли составит один процент в сравнении с общей энергией, излученной туманностью обычным способом (флуоресцентное излучение и излучение запрещенных линий).

Однако, если относительная слабость непрерывной эмиссии не позволяет обнаружить ее „грубым“ способом, то тонкий спектрофотометрический и фотометрический анализ, проведенный в отношении отдельных планетарных туманностей, даст возможность проверить реальность предположения о существовании непрерывной эмиссии у них. В настоящей заметке приводятся примеры, правда немногочисленные, которые как будто говорят в пользу этого предположения.

1. *Спектрофотометрические данные.* Непрерывные спектры планетарных туманностей, как известно, в последние годы стали предметом интенсивного изучения. В настоящее время в этом вопросе достигнута значительная ясность. Исследованиями Киппера (2), Спитцера и Гринштейна (3), Пурселла (4), Ситона (5, 6) была показана несомненная роль двухфотонного ( $2q, 2s \rightarrow 1s$ ) излучения водородных атомов при образовании непрерывного спектра планетарных туманностей. Особо следует отметить работы Пурселла (4) и Ситона (6), доказывающие значение так называемого явления деактивации при двухфотонном излучении. Учет деактивации приводит к тому, что относительная энергия двухфотонного излучения становится зависимой от электронной концентрации туманности — обстоятельство, которое ускользало в некоторых первоначальных работах, посвященных проблеме непрерывного излучения планетарных туманностей. Деактивация характеризуется коэффициентом  $X$ , равным

$$X = \frac{0,32}{1 + 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot N_e} .$$

В тех случаях, когда  $N_e < 10^3 \text{ см}^{-3}$ , имеем  $X = 0,32 = \text{const.}$  и двухфотонное излучение достигает максимальной интенсивности. С увеличением  $N_e$  уменьшается  $X$ , а при  $N_e > 10^4 - 10^5 \text{ см}^{-3}$ , г. е. в более плотных планетарных туманностях, интенсивность двухфотонного излучения сильно уменьшается.

Полная теория происхождения непрерывного спектра у планетарных туманностей учитывает, помимо двухфотонного излучения, также свободно-связанные переходы водородных и гелиевых атомов

и свободно-свободные переходы электронов в полях иона водорода и иона гелия. На рис. 1 приведены кривые (вычисления Ситона (6)) распределения непрерывных спектров (в долях  $J_{H\delta} \cdot 10^{-3}$ , где  $J_{H\delta}$  интенсивность водородной линии  $H\delta$ ) в интервале длин волн 5000—3333 Å и для случая  $T_e = 10000^\circ K$ , обусловленных: рекомбинационным излучением водорода (кривая *a*); рекомбинационным излучением ионизованного гелия (кривая *b*); двухфотонным излучением водорода (кривая *c*).

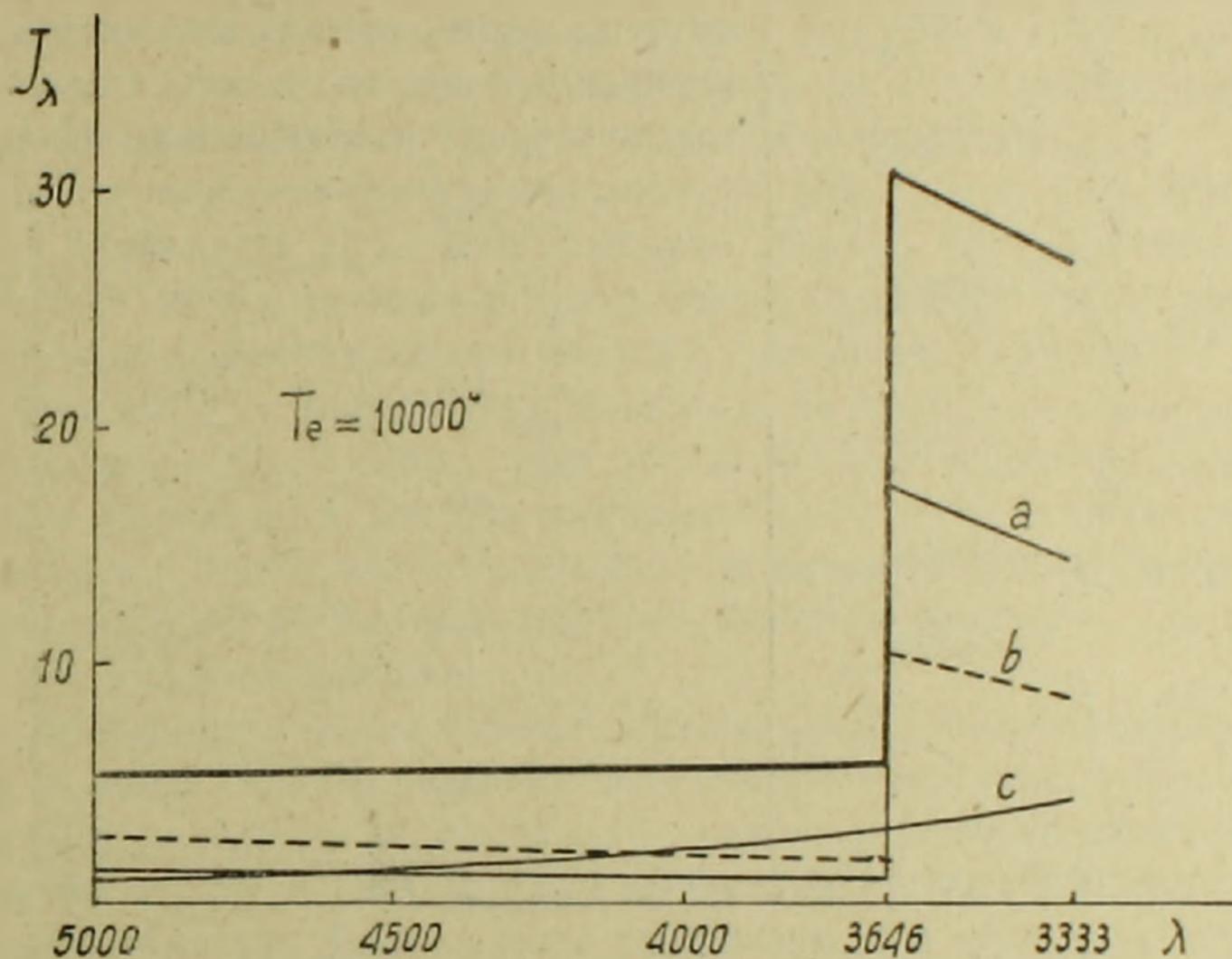


Рис. 1

Последний приведен без учета деактивации, т. е. когда интенсивность двухфотонного излучения максимальна. Сплошной кривой обозначена сумма этих трех кривых. Из этой кривой можно сделать следующие выводы;

1. Интенсивность непрерывного излучения планетарных туманностей в интервале длин волн 5000—3646 Å приблизительно постоянна.

2. Интенсивность непрерывного спектра в сторону коротких волн ( $\lambda < 3646 \text{ Å}$ ) уменьшается с уменьшением длины волны практически линейным законом (во всяком случае до  $\lambda = 3300 \text{ Å}$ ).

3. Теоретическое значение бальмеровского скачка равно  $D = -0.71$  ( $= \lg J_{3646+} / J_{3646-}$ ).

Наиболее полные исследования по изучению непрерывных спектров планетарных туманностей были проведены Пейджем (7, 8). Для 12 туманностей им произведены тщательные измерения интенсивностей непрерывных спектров (в единицах  $10^{-3} J_{H\delta}$ ). Ситон, сравнивая свои теоретические результаты с измерениями Пейджа, находит, что они в среднем хорошо согласуются с теорией (6). Однако нам кажется, что

тут имеются некоторые расхождения, на которые следует обратить внимание.

На рис. 2 приведены кривые распределения непрерывной энергии в бальмеровском континууме для семи планетарных туманностей, согласно измерениям Пейджа. Общий характер этих кривых хорошо со-

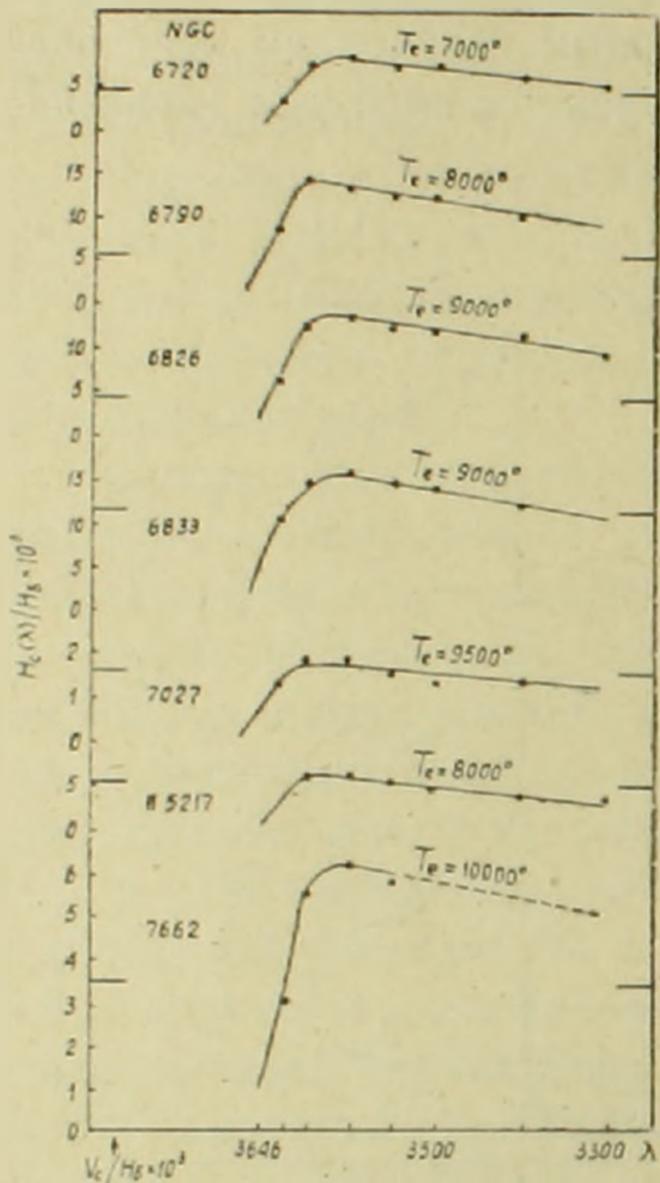


Рис. 2

гласуется с теоретической кривой, приведенной на рис. 1. Оставляя пока количественные соображения в стороне, можно утверждать, что для приведенных туманностей имеет место качественное согласие теории с наблюдениями. Иначе об-

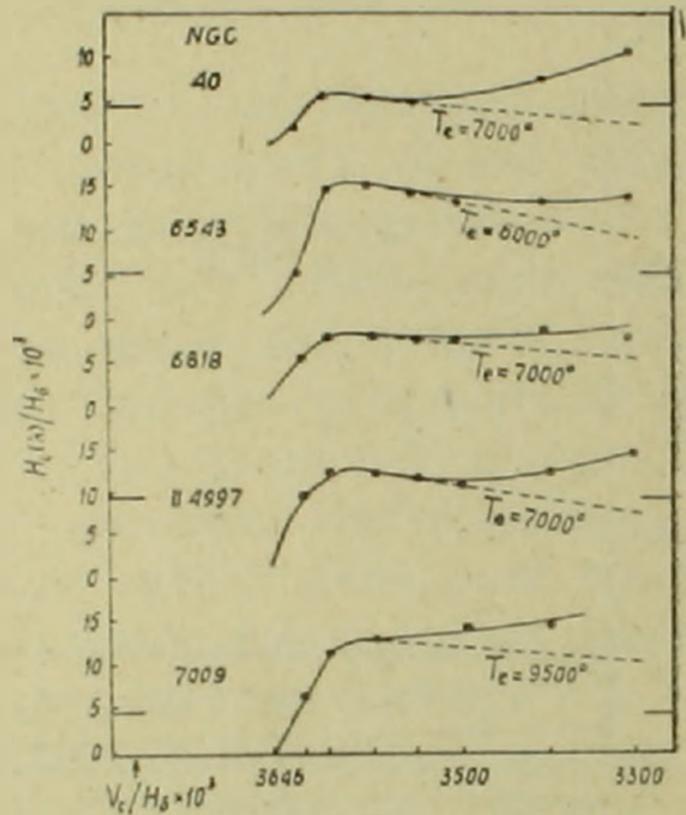


Рис. 3

стоит дело в случае пяти других планетарных туманностей, кривые энергии непрерывных спектров которых приведены на рис. 3 (опять по измерениям Пейджа). Тут уже обнаруживается значительное отклонение в характере распределения энергии в ультрафиолетовой области спектра (начиная от  $\lambda$  3600 Å) от теоретического распределения, причем наблюдения дают *большую* энергию.

Очевидно, в случае приведенных на рис. 3 туманностей имеется дополнительное непрерывное излучение совершенно другого характера и мы полагаем, что это и есть непрерывная эмиссия (в определении В. А. Амбарцумяна).

В связи с этим следует указать, что распределение энергии излучения туманности в бальмеровском континууме зависит только от электронной температуры туманности. Поэтому неправильно объяснение, данное Пейджем, согласно которому избыток энергии в далекой ультрафиолетовой области спектра у туманностей, представленных на рис. 3, является следствием избытка излучения ядра этих туманностей в той же области спектра.

Из факта отсутствия отклонения наблюдаемой кривой от прямо-

линейно-теоретической в случае туманностей, приведенных на рис. 2, не следует делать заключения о том, что у этих туманностей нет непрерывной эмиссии. Непрерывная эмиссия может быть и у этих туманностей, но в относительно меньшей степени, что и затрудняет ее обнаружение.

Что же касается количественного анализа, то сопоставление данных наблюдений с теорией выявляет большой разброс, особенно в визуальной области спектра (наблюдения дают большую энергию, чем теория). Этот разброс также можно будет отнести за счет непрерывной эмиссии. Однако, ввиду некоторой неуверенности количественных данных, мы предпочитаем не делать окончательных выводов.

Следует также обратить внимание на факт, установленный в отношении туманности NGC 7662 Пейджем<sup>(8)</sup> и IC 418 Минковским<sup>(9)</sup>, что относительная интенсивность непрерывного спектра *увеличивается* при переходе к более плотным частям упомянутых туманностей. Как мы увидели выше, с повышением плотности материи (т. е. электронной концентрации) уменьшается доля двухфотонного излучения, поэтому следовало бы ожидать как раз *уменьшения* интенсивности непрерывного спектра в более плотных областях туманности. Весьма возможно, что эти относительно плотные области являются областями, где выделяется непрерывная эмиссия.

*2. Фотометрические данные.* Убедительное доказательство возможности выделения непрерывной эмиссии у планетарных туманностей можно получить, фотографируя их с помощью определенных фильтров. Этим путем можно надеяться даже выявить области, испускающие непрерывную эмиссию. Такая работа специально для этой цели пока не была проведена, но имеется один случай, когда этим путем, по-видимому, был получен положительный результат. Речь идет о планетарной туманности NGC 6826, изученной Кэртисом<sup>(10)</sup>. Эта туманность двухоболочная (вторая оболочка обнаружена позже Дунканом<sup>(11)</sup>), круглой формы, в центре которой, около ядра, заметно неправильное уплотнение. Кэртис утверждает, что на снимке, полученном через фиолетовый фильтр, это уплотнение вышло гораздо ярче, чем остальные части туманности. Весьма вероятно, что это уплотнение является областью, выделяющей непрерывную эмиссию.

Особый интерес представляет с точки зрения рассмотренных здесь вопросов планетарная туманность NGC 7293. В недавно появившемся снимке этой туманности (Паломарские фото, а также в<sup>(12)</sup>), полученном в красных лучах с помощью 200" телескопа, были обнаружены новые, ранее неизвестные особенности структуры этой туманности, которые имеют важное значение для понимания природы планетарных туманностей вообще. Речь идет о тех ярких кометообразных удлинённых образованиях, которые рассеяны на внутренней границе туманности. Характерно, что эти образования, без исключения, направлены к центру, где находится возбуждающая звезда. В центральной же области туманности вместо кометообразных образований заметно несколь-

ко десятков пятнышек почти круглой формы. По имеющимся данным такую же структуру имеет также планетарная туманность NGC 6720.

Занстра попытался объяснить существование этих образований, допустив, что они являются областями (конденсациями) пониженной температуры, а, следовательно, повышенной плотности материи <sup>(13)</sup>. Сами же конденсации образовались, согласно Занстра, вследствие израсходования энергии свободных электронов, на возбуждение запрещенных линий, что приводит к понижению электронной температуры. Ядрами же конденсаций, как полагает Занстра, являются маленькие пылевые облака, которые, подобно рифам, рассеяны во всем пространстве. Последнее допущение кажется довольно искусственным, так как в этом случае остается непонятным отсутствие подобных конденсаций на внешних областях туманности.

Естественно предположить, что здесь мы опять-таки имеем дело с выделением непрерывной эмиссии и что это явление непосредственно связано с процессами, идущими в центральной звезде. Проверить это предположение можно, фотографируя туманность с помощью различных фильтров, а также сопоставляя два снимка туманности, полученные через сравнительно большой интервал времени, так как весьма вероятно, что эти кометообразные образования имеют небольшую продолжительность жизни и обнаружить изменения в их яркостях будет легко.

Перечисленные в настоящей заметке факты, говорящие, по нашему мнению, о возможности излучения непрерывной эмиссии планетарными туманностями, следует считать далеко недостаточными, чтобы сделать окончательные выводы. Необходимо еще провести специальные наблюдения в этом направлении. Однако уже сейчас ясно, что в излучении планетарных туманностей имеются отступления от известных и хорошо изученных закономерностей. По своей природе эти „отступления“ примыкают к явлениям, обычно наблюдающимся у нестационарных и недавно образовавшихся объектов. Тем самым мы получаем дополнительное доказательство в пользу представления <sup>(14)</sup>, согласно которому планетарные туманности являются результатом звездообразовательного процесса и что сами ядра суть недавно возникшие звезды.

Бюраканская астрофизическая обсерватория  
Академии наук Армянской ССР

**Անընդհատ առարման ճառագայթման հեարավորութիւնը  
մոլորակաձև միգամածութիւնների կողմից**

Հենվելով մի շարք մոլորակաձև միգամածութիւնների համար հայտնի սպեկտրոֆոտոմետրիկ և ֆոտոմետրիկ տվյալների վրա ցույց է տրված, որ մոլորակաձև միգամածութիւնների ճառագայթման մեջ հալսնորեն որոշ դեր է կատարում անընդհատ առարումը, հասկանալով այն, ըստ Վ. Հ. Համբարձումյանի բնորոշման: Քանի որ անընդհատ առարումը հատուկ է գլխավորապես երիտասարդ, անկայուն և դեռևս լրիվ չկազմավորված աստղերի համար, ապա նշված տվյալները վկայում են որ մոլորակաձև միգամածութիւնների կորիզները հանդիսանում են բոլորովին երիտասարդ աստղեր և որ ինքը՝ միգամածութիւնը հանդիսանում է աստղառաջացման պրոցեսի մնացորդ:

**ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ**

<sup>1</sup> В. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюраканской обсерватории, XIII, 1954. <sup>2</sup> А. Я. Киплер, О развитии сов. науки в Эстон. ССР, стр. 316, 1950, публ. Тартуской астр. обсер. 32, № 2, 1952. <sup>3</sup> Л. Спитцер и Дж. Гринстейн, Ap. J., 114, 407, 1951. <sup>4</sup> Е. Пурселл, Ap. J., 116, 457, 1952. <sup>5</sup> М. Ситон, Ann. d'Astr., 17, 296, 1954. <sup>6</sup> М. Ситон, М. N., 115, 279, 1955. <sup>7</sup> М. Пейдж, Ap. J., 96, 76, 1942. <sup>8</sup> Т. Пейдж, М. N., 96, 604, 1936. <sup>9</sup> Р. Минковский, PASP., 65, 161, 1953. <sup>10</sup> Г. Кэртис, Publ., Lick Obs., 13, 1917. <sup>11</sup> Дж. Дункан, Ap. J., 86, 496, 1937. <sup>12</sup> Sky a. Telescope, 13, № 9, 1954. <sup>13</sup> Г. Занстра, Vista<sup>6</sup> on Astronomy, I, стр. 256, London, 1955. <sup>14</sup> Г. А. Гурзадян, О структуре планетарных туманностей (в печати).