Доклады Академии наук СССР
1955. Том 101, № 3

АСТРОНОМИЯ

Академик Г. А. ШАЙН

ДИФФУЗНЫЕ ТУМАННОСТИ И МЕЖЗВЕЗДНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Теоретические работы по вопросу о влиянии межзвездного магнитного поля на устойчивость сферического тела дают несколько решений в зависимости от начальных условий, и эти результаты не могут быть применены к данным наблюдений. Имеет смысл рассмотреть этот вопрос с другой точки зрения. На данном этапе важно получить хотя бы качественно правильное решение. Мы исходим из доминирующего фактора в динамике эмиссионных туманностей — расширения последних ([1]). Далее, можно принять, что эмиссионная туманность является электропроводящей средой. Поэтому проблему можно свести к вопросу о взаимодействии между внешним магнитным полем и расширяющейся туманностью.

После теоретических работ Алфвена, Ферми и других стало очевидным, что магнитное поле порядка 10^{-5} гаусс должно в значительной степени контролировать движение ионизованного газа, а поле много меньше будет увлекаться этим газом ([2, 3]). Согласно Чандрасекару, Ферми и Каулингу, межзвездная диффузная материя будет вообще достаточно «притянута» к магнитным силовым линиям, так что только продольные смещения будут возможны ([4, 5]). Исходя из этого, можно грубо принять, что в расширяющейся туманности движения будут возможны вдоль силовых линий. В этом случае, если расширение происходит со скоростью звука $\sim$ 15 км/сек, то по истечении 10^6 лет сфера в 5 пс превратится в цилиндр длиною в 30 пс, а при отсутствии магнитного поля или при $H \leqslant 10^{-6}$ — в сферу такого же диаметра. В первом случае при увеличении размера в n раз поверхностная яркость уменьшится приблизительно в n^2 раз, а во втором случае в n^5 раз. Уже при $n = 2$ (это наступит не позже как через 10^5 лет) яркость во втором случае уменьшится в 32 раза и туманность едва ли будет видима. Наличие магнитного поля приводит к вытягиванию туманности вдоль силовых линий и вместе с тем сдерживает туманность от быстрого падения яркости. Комбинация двух факторов, магнитного поля и расширения туманностей, повидимому, обеспечивает вытягивание туманностей в 20—30 пс в течение 10^6 лет.

Несколько лет назад мы обратили внимание на существование очень вытянутых туманностей «космических газовых потоков» ([6]). Три очень вытянутые туманности S 48 — S 108 в Cygn., NGC 1499 (около ξ Pers.) и анонимная туманность в Lac. (около 10 Lac.) длиною в 6°, 5° и 5° представлены для примера на рис. 1. Вероятно не случайно, что приведенные на рис. 1 наибольшие по размеру туманности относятся к классу очень вытянутых: туманности имеют шансы сохраниться, когда расширение происходит не по всем направлениям, а лишь по одному. Одновременно мы высказали в самой общей форме предположение, что структура таких туманностей связана с магнитным полем. Главным аргументом было то, что такие образования нельзя понять в рамках газокинетических представлений. Вскоре эти загадочные образования привлекли к себе внимание и были высказаны предположения в таком же роде

([7], [8]). Теперь, когда мы имеем серьезные доводы в пользу того, что эмиссионные туманности расширяются, образование очень вытянутых туманностей представляется вполне возможным и для этого, повидимому, не требуется каких-то очень исключительных условий.

Для иллюстрации остановимся на рис. 1. Конфигурация NGC 1499 (рис. 1 *б*) как будто гармонирует с тем, что можно было бы ожидать для эффекта магнитного поля. Размер этой туманности известен (30 пс) и такая длина может быть согласована с расширением в течение порядка 10^6 лет при наличии магнитного поля порядка $H \sim 10^{-5}$ гаусс. Внутреннее магнитное поле может также играть некоторую роль. Однако наблюдения показывают, что значительное магнитное поле в туманности Ориона не сдерживает последнюю от расширения и диссипации ([1]). На первый взгляд, кажется, трудно объяснить, как могла сохраниться видимость чревычайно вытянутой туманности S48 — S108 в Cygni (рис. 1 *а*). Однако бросается в глаза, что очень вытянутая туманность S48 — S108 и анонимная в Lac. (рис. 1 *в*) не представляют собою одно целое, подобно NGC 1499 (рис. 1 *б*), а состоят из отдельных деталей, вытянутых приблизительно параллельно галактическому экватору. Последние могли вытянуться под влиянием магнитного поля и теперь производят впечатление одной очень вытянутой туманности.

Магнитное поле, вероятно, неоднородно, и если есть флуктуации в плотности силовых линий, то будут соответственно флуктуации в плотности материи и в особенности в яркости. Материя, устремляющаяся вдоль силовых линий, может образовывать детали вроде волокон (см. северную часть S48 — S108 и NGC 1499 на рис. 2 *а* и *б*). Такая структура, очевидно, будет чрезвычайно способствовать сохранению видимости туманностей. Этого не будет при расширении, не контролируемом магнитным полем.

Туманность S48—S108 расположена в той области неба, где луч зрения составляет, повидимому, небольшой угол с осью спиральной ветви, и если S48—S108 вытянута вдоль спиральной ветви, то мы видим ее в проекции. Но при упомянутой выше структуре даже эта исключительно большая длина при долготе $l = 49°$ не противоречит гипотезе магнитного поля. К туманности S48—S108 примыкает некоторое число других, более или менее одинаково ориентированных вытянутых туманностей, так что вся эта система вытянутых туманностей достигает длины в 12°!

В настоящее время принимается, что магнитные силовые линии ориентированы преимущественно вдоль спиральных ветвей. Показанные на рис. 1 туманности (а также и некоторые другие вытянутые туманности) имеют небольшой наклон к галактическому экватору. Но мы не можем ничего сказать об ориентации их в отношении спиральных ветвей. Более того, следует отметить, что имеются умеренно вытянутые туманности в 1—2° с большим наклоном к галактическому экватору. Но если туманность сравнительно мало вытянута, то нет необходимости обязательно связывать эту особенность с магнитным полем. Например, известны очень мало изогнутые дуги — вероятно, остатки сброса оболочек сверхновыми и новыми (например, NGC 6960 и длинная почти прямолинейная туманность между NGC 6960 и NGC 6992-5 длиною почти в 2°). Естественно, такая сохранившаяся дуга может иметь любую ориентацию по отношению к галактическому экватору. Однако можно думать, что наблюдаемые отклонения от параллелизма к галактической плоскости отчасти связаны также с тем, что существуют локальные магнитные поля, значительно отклоняющиеся от оси спиральных ветвей и даже от параллельности к галактической плоскости.

Для эмиссионной туманности мы можем ожидать только эффект локального магнитного поля, и в этом случае можно ждать бо́льшую дисперсию в ориентации, чем это выявляется из наблюдений поляризации звезд. Но и сами спиральные ветви, судя по внегалактическим ту-



а



б



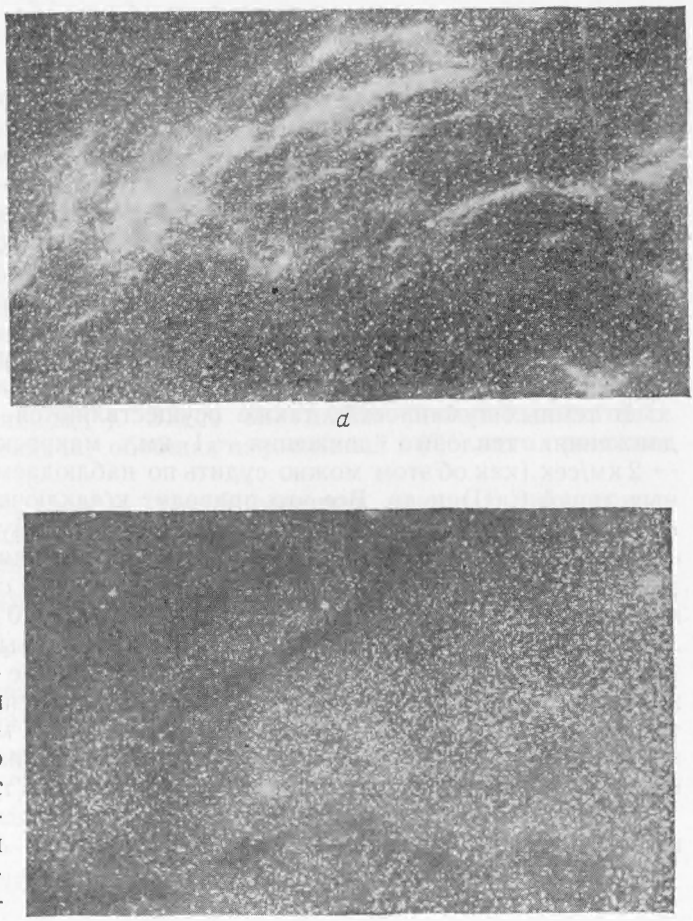
в

Рис. 1

манностям, часто состоят из отдельных различно ориентированных деталей.

Вытянутые туманности встречаются относительно редко и причины этому следующие: 1) магнитное поле должно быть достаточно сильное, порядка 10^{-5} гаусс, чтобы контролировать движение; 2) при возрасте туманностей порядка 10^6 лет могут сохраниться как очень вытянутые туманности только исключительно плотные; 3) магнитное поле должно быть регулярным в пределах нескольких или нескольких десятков парсек.

Феномен очень большой вытянутости эмиссионных туманностей не может быть обязан эффекту дифференциального галактического вращения: 1) при верхнем пределе для жизни эмиссионной туманности 10^7 лет дифференциальное галактическое вращение вызовет вытянутость меньше чем в 1,3 раза; 2) вытянутость должна быть только по долготе, между тем как наклон к экватору даже для указанных на рис. 1 туманностей довольно значителен (в среднем 18°); 3) очень вытянутые туманности часто выявляют волокнистую структуру, а это нельзя связать с галактическим вращением.



а

б

Рис. 2

Таким образом, сочетание двух факторов, расширения эмиссионных туманностей и магнитного поля, позволяет и с качественной и отчасти с количественной стороны интерпретировать замечательное явление очень вытянутых эмиссионных туманностей. Вместе с тем мы имеем здесь независимый аргумент в пользу наличия в межзвездном пространстве довольно сильного магнитного поля.

Уже в течение долгого времени привлекают к себе внимание и другие очень вытянутые образования, известные темные туманности, например в Taur. (рис. 2 *б*). При наличии пыли и газа в темной туманности вообще должно иметь место перераспределение кинетической энергии между пылью и газом, так что среда должна вести себя в целом как однородный газ. Образование очень вытянутых темных туманностей еще труднее понять в рамках газокинетических и общих звездно-динамических представлений, чем образование очень вытянутых эмиссионных туманностей. Число

вытянутых туманностей очень значительно, и к вопросу о природе их можно подойти отчасти и статистически. Для этой цели мы пользовались картами Бечвера ([9]), на которых нанесены очертания темных туманностей (оттуда взяты 164 вытянутые темные туманности, длина которых $\alpha > 1{,}3°$; а отношение ширины к длине β/α меньше 0,5). Заслуживает внимания выявляющаяся для вытянутых туманностей тенденция быть ориентированными преимущественно под небольшими углами к галактическому экватору. Для интервала 0—25° частота наклонов в 5 раз больше чем для 65—90°. На подобную тенденцию, базируясь на небольшом материале, ранее указала Е. Л. Рускол, которая связала это с дифференциальным галактическим вращением ([10]). Однако главная причина такой вытянутости не в этом эффекте: 1) действительно, для возраста темных туманностей $\sim 10^7$ лет вытянутость не превзойдет 1,3, между тем в списке 164 туманностей около 80% имеют $\alpha/\beta \geqslant 3$; 2) вытянутость должна была бы быть только по долготе, а между тем большей частью наклон к экватору $> 15°$; 3) не выявляется ожидаемая зависимость вытянутости от галактической долготы.

Выдвигая гипотезу магнитного поля для объяснения вытянутости эмиссионных туманностей, мы имели два условия— расширение горячей газовой среды и ее электропроводность. Но на основании некоторых данных можно принять, что среда и в темных туманностях является в целом электропроводящей (углерод ионизован, пылевые частицы имеют очень небольшой потенциал). Также и согласно Чандрасекару и Ферми, «диффузная материя в виде газа и пыли имеет достаточную электропроводность, чтобы быть прикрепленной к магнитным силовым линиям, так что были бы возможны только продольные движения» ([4]).

В темных туманностях также осуществляются известные небольшие движения. тепловые движения ~ 1 км, макроскопические движения ~ 2 км/сек (как об этом можно судить по наблюдаемой ширине межзвездных линий CaII) и др. Все это приводит к заключению, что уже в течение $5 \cdot 10^6$ лет можно ожидать образования вытянутых темных туманностей до 20 пс (соответственно, $\sim 5°$ для расстояния в 250 пс). При условиях, осуществляющихся в темных туманностях, образование большой вытянутости при наличии магнитного поля $H \sim 10^{-5}$ гаусс не представляется чем-то невероятным. Другого объяснения мы не имеем. Таким образом, представляется вероятным, что образование двух загадочных феноменов — очень вытянутых эмиссионных и очень вытянутых темных туманностей — связано с эффектом межзвездного магнитного поля. Для первых это представляется более вероятным, но как будто нет основания отказаться от этого механизма и в случае темных туманностей.

Выражаю глубокую благодарность за большую помощь Е. И. Иосько и Л. П. Метик.

Крымская астрофизическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
22 XII 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крым. астр. обс., **8**, 80 (1952); АЖ, **31**, 305 (1954) (здесь приведены все ссылки на теоретические работы, в частности на работу А. И. Лебединского, ДАН, **92**, 911 (1953) и на раннюю работу L. Spitzer, Harv. Obs. Mon., **7**, 87 (1948)). [2] E. Fermi, Phys. Rev., **75**, 1169 (1949). [3] H. Alfven, Cosm. Electrodyn., 1950. [4] S. Chandrasekhar, E. Fermi, Ap. J., **118**, 113 (1953). [5] T. G. Cowling, Proc. Roy. Soc. A. **183**, 453 (1945). [6] Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крым. астр. обс., **8**, 3 (1952); ДАН, **82**, 857 (1952); Trans. IAU, **8**, 693 (1954). [7] B. Bok, Sky and Telescope. **13**, Dec., 45 (1953). [8] O. Struve. ibid., **13**, Apr., 184 (1954). [9] A. Bečvar, Atlas Coeli Scalnate Pleso, 1948. [10] Е. Л. Рускол, АЖ, **27**, 341 (1950).