

В. Л. ГИНЗБУРГ

**МЕЖЗВЕЗДНАЯ МАТЕРИЯ И ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ,  
ПРИВОДЯЩИЕ К МЕРЦАНИЮ РАДИОЗВЕЗД**

*(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 14 III 1952)*

Как недавно было установлено <sup>(1)</sup>, флуктуации интенсивности дискретных источников галактического радиоизлучения (для краткости — мерцание радиозвезд) связаны с влиянием земной ионосферы и имеют ярко выраженный максимум примерно в 1 час ночи местного времени. Было высказано предположение <sup>(1)</sup>, что ионосферные возмущения, приводящие к мерцанию, в свою очередь вызваны межзвездной материей, падающей на Солнце и имеющей при пересечении земной орбиты скорость  $v = \sqrt{2 \times M_{\odot} / r} = 42,5$  км/сек (по предположению, скорость частиц вдали от Солнца равна нулю). По отношению к Земле ( $v_{\delta} = \sqrt{x M_{\odot} / r} = 30$  км/сек) скорость частиц равна  $v_0 = 52$  км/сек, и они в полночь падают под углом  $35^{\circ}$  к вертикали (к линии, соединяющей Землю и Солнце). Отсюда ясно, что если пренебречь притяжением Земли и другими возмущающими факторами, поток частиц должен быть максимален в 2 часа 20 мин. и должен упасть до нуля в 8 час. 20 мин. и 20 час. 20 мин., что в грубом приближении соответствует опыту <sup>(1)</sup>.

Целью настоящей статьи является обсуждение указанной гипотезы о природе агента, вызывающего мерцание радиозвезд, и, главное, в указании на возможность проверки этой гипотезы путем наблюдения экранирующего действия Луны, могущей в определенное время „затмить“ поток космических частиц, падающих на Землю. О какой межзвездной материи идет речь в <sup>(1)</sup>, нам осталось неясно. Но, очевидно, следует обсудить обе возможности, состоящие в том, что возмущения производятся межзвездным газом или мелкой космической пылью.

Атомы Н со скоростью  $5,2 \cdot 10^6$  см/сек имеют энергию всего в 14,2 эв, которая к тому же не вся может быть передана на возбуждение частиц, входящих в состав верхней атмосферы. Поэтому, даже из чисто энергетических соображений, атомы Н могут ионизировать только молекулы  $O_2$ , которых в верхней атмосфере должно быть очень мало. Энергия атомов He, O и Na со скоростью  $5,2 \cdot 10^6$  см/сек равна, соответственно, 56,7, 226 и 326 эв, и они могут ионизировать молекулы воздуха, а также ионизироваться сами (ввиду вероятной малой эффективности атомов He мы будем ниже иметь в виду преимущественно атомы O). Соответствующие эффективные сечения, однако, весьма малы и, как правило, значительно меньше  $10^{-16}$  см<sup>2</sup>. Примем, тем не менее, что каждый падающий атом дает один электрон и что эта ионизация происходит в слое толщиной порядка нескольких длин

свободного пробега  $l = 1/\sigma N_m \sim 10^5$  см (концентрация молекул в  $F$ -слое  $N_m \sim 10^{10}$ , сечение для упругого удара  $\sigma \sim 10^{-15}$ ). Полагая, далее, коэффициент рекомбинации  $\alpha \sim 10^{-11}$ , видим, что равновесная электронная концентрация  $N = \sqrt{J/\alpha} \sim 3 \cdot 10^5$ , если интенсивность ионизации  $J \sim 1$  электрон/см<sup>3</sup>, т. е. поток ионизирующих межзвездных атомов  $S = n v_0 \sim 10 J \sim 10^6$ , и, поскольку  $v_0 \sim 5 \cdot 10^6$  см/сек, концентрация атомов (помимо атомов H) в падающем потоке  $n \sim 10^{-1}$ . Это значение отвечает плотности  $\rho \sim 10^{-24}$  г/см<sup>3</sup>, но так как атомов H обычно значительно больше, чем всех других атомов, то  $\rho \sim 10^{-22}$ .

Такова, в силу характера сделанной оценки, нижняя граница плотности массы в падающем потоке межзвездного газа. Фактически, повидимому, для того, чтобы создать облако с электронной концентрацией  $N \sim 3 \cdot 10^5$ , необходим поток с плотностью в  $10 \div 10^3$  раза большей. Но вместе с тем нет необходимости, чтобы ионизация происходила все время; более того, облачная структура возмущающих ионосферных образований говорит в пользу того, что ионизация происходит отдельными порциями. Кроме того, эффект мерцания может быть вызван меньшим изменением электронной концентрации, чем это было принято выше (об этом см. ниже). В результате среднее значение плотности в потоке  $\rho \sim 10^{-22} \div 10^{-21}$  представляется довольно правдоподобным и, насколько мы можем судить, не противоречит другим имеющимся данным для средней плотности газа в солнечной системе. Особого рассмотрения требует вопрос о том, может ли межзвездный газ на радиусе земной орбиты оставаться в заметной степени неионизированным (ионы на средние широты попасть, очевидно, не могут).

Переходя к обсуждению возможности ионизации не газом, а космической пылью, заметим раньше всего, что размер соответствующих пылинок должен быть меньше  $10^{-2}$  см, так как они оптическими методами не наблюдаются (кроме того, оптические метеоры обладают эллиптическими скоростями (<sup>2</sup>, <sup>3</sup>)). Для определенности примем, что радиус пылинок  $r \sim 10^{-3}$  см,  $\pi r^2 \sim 3 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>, масса  $m \sim 10^{-8}$  г, энергия  $m v_0^2 / 2 \sim 10^5 \sim 10^{17}$  эв. Число соударений пылинки с молекулами воздуха в секунду равно  $\nu = \pi r^2 v_0 N_m$  и при  $N_m \sim 10^{10} \div 10^{11}$  равно  $\nu \sim 10^{11} \div 10^{12}$ . Энергия, например, молекулы N<sub>2</sub>, налетающей на пылинку (в системе, где она покоится),  $\sim 300$  эв. Учитывая возможность вторичной ионизации и действие испаряющихся атомов, образующих пылинку, для оценки представляется разумным считать, что каждая сталкивающаяся с пылинкой молекула приводит в среднем к образованию одного электрона, т. е. на 1 см пути создается  $N' = \nu / v_0 = \pi r^2 N_m \sim 3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^5$  электронов, а на всем пути в  $F$ -слое  $N' L \sim 10^{12}$  электронов ( $L \sim 10^7$ ). Как указано в (1), значение оптической толщины  $F$ -слоя  $NL$  должно изменяться на 1% в области с размерами 5 км, т. е. площадью  $\sim 10^{11}$  (само значение  $NL \sim 10^{12}$ ).

Таким образом, общее возмущение, приводящее к мерцанию, отвечает появлению  $10^{12} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{11} \sim 10^{20}$  электронов, для чего должно упасть  $10^{20} / N' L \sim 10^8$  пылинок на площадь  $\sim 10^{11}$  за время  $\sim 10$  сек. (последняя цифра имеет сугубо ориентировочное значение и отвечает среднему периоду флуктуаций интенсивности). Отсюда поток космических пылинок, падающих на Землю,  $S \sim 10^{-4}$  частиц/см<sup>2</sup> сек, и отвечающая ему плотность межзвездной материи  $\rho = 10^4 / v_0 m \sim 10^{-19}$  г/см<sup>3</sup>. Это значение, которое может быть завышено, так как частицы не должны падать все время равномерно, не противоречит средней плотности космической пыли между Землей и Солнцем, определяемой из яркости внешней солнечной короны ( $\rho \sim 5 \cdot 10^{-21}$ ; см. (4)).

Поскольку космическая пыль свободно проходит через  $F$ -слой, ее

падение не может привести к образованию облаков\*. Поэтому, если мерцание радиозвезд обусловлено облачной структурой верхней части  $F$ -слоя, как утверждается в (1), это явление не может быть связано с космической пылью. Межзвездный газ, напротив, не способен проникать глубоко в  $F$ -слой и может, в принципе, приводить к появлению ионизированных облаков, плотность которых вполне достаточна для объяснения мерцания (для появления мерцания достаточно образования  $10^{20}$ — $10^{21}$  избыточных электронов в области  $F$ -слоя с площадью  $\sim 10^{11}$ ; в приведенных же выше оценках ионизации, производимой межзвездным газом, на этой площади образуется, как легко видеть, даже  $3 \cdot 10^{22}$  электронов).

Помимо объяснения мерцания радиозвезд и некоторых спорадических явлений в  $F$ -слое, ночная ионизация ионосферы межзвездной материей\*\* может представлять большой интерес с точки зрения ряда других вопросов физики ионосферы (изменение ионизации различных слоев во время ночи, ионизация в полярных районах, энергетический баланс в ионосфере (6), свечение ночного неба). Поэтому особенно важно попытаться как-то непосредственно проверить гипотезу о падении на Землю значительных количеств межзвездной материи.

Таким методом может быть наблюдение экранирующего действия Луны. В периоды, когда поток межзвездной материи закрыт Луной, характер мерцания радиозвезд и некоторых других ионосферных возмущений должен, если падение межзвездной материи существенно, заметно измениться. Предсказание времени „затмения“ и определение охватываемых им районов требуют расчетов обычного типа, которые сейчас проводятся. Поскольку скорость экранирующих частиц равна всего  $5,2 \cdot 10^6$  см/сек, затмение этих частиц должно при грубой оценке предварять лунное затмение почти на 3 суток, но этот сдвиг так велик, что не исключена возможность полного „расхождения“ обоих затмений. При наивыгоднейших условиях диаметр тени на Земле равен диаметру Луны  $R = 3500$  км. При более точном расчете необходимо также учитывать возмущения потока межзвездной материи, обусловленные гравитационным притяжением Земли, Луны и, может быть, даже больших планет.

Согласно (1), характер флуктуаций не меняется в течение года, что и позволяет, если связывать эти флуктуации с межзвездной материей, считать скорость межзвездной материи вдали от Солнца равной нулю. Однако это утверждение нуждается в более тщательной проверке, тем более, что предсказание времени затмения без знания скорости частиц на бесконечности невозможно. Несмотря на все эти усложняющие моменты, нам представляется, что исследование экранирующего действия Луны является наиболее обещающим методом для надежной проверки гипотезы о падении на Землю межзвездной материи.

Физический институт им. П. Н. Лебедева  
Академии наук СССР

Поступило  
28 I 1952

\* Пылинка оставляет на своем пути быстро расширяющийся след, причем на 1 см пути приходится  $N' \sim 10^5$  электронов. За время свободного пробега  $\tau \sim l/v_0 \sim 10^{-2}$  сек. след расширится до размеров порядка длины свободного пробега  $l = 1/\sigma N_m$  и средняя избыточная плотность ионизации будет равна  $N = N'/l^2 \sim 10^{-3} \pm 10^{-5}$ .

\*\* Не следует, разумеется, думать, что мерцание радиозвезд обязательно должно быть связано с ионизацией ионосферы межзвездной материей. Как сейчас ясно (см., например, (2)), в ионосфере имеются различные движущиеся неоднородности, и вся ионосфера в целом обычно находится в нестационарном состоянии. Природа процессов, приводящих к „турбулизации“ ионосферы, еще не ясна, и вполне возможно, что эти процессы особенно сильны именно ночью, когда происходит охлаждение слоев.

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> M. Ryle and A. Hewish, M. N. Roy. Soc., **110**, 381 (1950). <sup>2</sup> В. Г. Фенков, Метеорная материя в межпланетном пространстве, Изд. АН СССР, 1947.  
<sup>3</sup> A. Lovell, Nature, **167**, 94 (1951). <sup>4</sup> Г. Ван де Хольст, Астрофиз. сборн., 1949, стр. 68. <sup>5</sup> Я. Л. Альперт и А. А. Айнберг, ЖЭТФ, **21**, 389 (1951).  
<sup>6</sup> D. R. Bates, Proc. Phys. Soc., **64B**, 805 (1951).