

Э. Р. МУСТЕЛЬ

**О МЕХАНИЗМЕ ВЫБРАСЫВАНИЯ ГЕОАКТИВНЫХ КОРПУСКУЛ  
С ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА**

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 6 XII 1946)

В своей предыдущей работе <sup>(1)</sup> автор указал, что прохождение факельных (и тем самым флоккульных) полей через видимый центр солнечного диска сопровождается, как правило, геомагнитными и ионосферными возмущениями. Отклонения от указанного правила наблюдались преимущественно лишь в тех случаях, когда данное факельное поле включало в себя солнечные пятна. Рассмотренный наблюдательный факт дал автору возможность в той же работе высказать гипотезу о том, что в большинстве случаев источником выбрасываемых Солнцем геоактивных корпускул являются не пятна, а факельные поля, их окружающие. Магнитное же поле самих пятен является некоторым возмущающим фактором, искривляющим траектории выбрасываемых заряженных корпускул. Искривление этих траекторий и приводит к тому, что связь между геомагнитными (и ионосферными) возмущениями и наблюдаемыми деталями на поверхности Солнца установить иногда весьма трудно.

В настоящем сообщении мы даем предварительное обсуждение вопроса уже о механизме выбрасывания корпускул из факелов. Исходным для всего дальнейшего является то обстоятельство, что при отсутствии внутри факельных полей солнечных пятен (т. е. возмущающего фактора) выбрасывание корпускул из этих полей происходит в большинстве случаев почти строго радиально (см. <sup>(1)</sup>). Повидимому, существуют только два возможных фактора, могущих приводить к такому радиальному выбросу, давление радиации и электрическое поле (см. далее).

Рассмотрим первый фактор. Непосредственные подсчеты показывают, что во внешних слоях солнечной хромосферы над невозмущенными частями солнечной поверхности каждый атом однажды ионизованного кальция почти в точности уравнивается против силы тяжести селективным давлением радиации в центральных частях линий *H* и *K* (см., например <sup>(2)</sup>). При этом данный факт имеет силу совершенно независимо от каких бы то ни было теорий происхождения хромосферы. Поток радиации в центральных частях *H*- и *K*-линий мы обозначим как  $F_v$ . Этот поток в невозмущенных частях солнечной поверхности и соответствует равновесию ионов  $Ca^+$ .

В то же время известно, что как раз в факельных областях поток  $F_v$  во всех частях линий *H* и *K* значительно превышает „равновесный“ поток  $F_v$ . Особенно большим это превышение оказывается для самых центральных частей линий *H* и *K*, которые, как известно, именуется *H*<sub>2</sub>- и *K*<sub>2</sub>-линиями. Здесь оно может достигать 500—800%. Даже в наименее интенсивных частях линий *H* и *K*, примыкающих к *H*<sub>2</sub>- и *K*<sub>2</sub>-линиям, указанное превышение составляет 100—200% от потока  $F_v$ .

С другой стороны, атомный селективный коэффициент поглощения, соответствующий переходам, создающим линии  $H$  и  $K$ , есть некоторая постоянная, которая не зависит от различия в температуре между факельными областями и остальными частями солнечной поверхности. Таким образом, в обоих случаях различие в селективном давлении радиации определяется различием в потоке. Следовательно, над факельными областями равновесие каждого однажды ионизированного атома кальция (во внешней хромосфере) невозможно. Эти атомы будут ускоряться наружу под действием селективного давления радиации, и тем самым вступит в действие механизм Милна<sup>(3)</sup>.

Однако мы сразу же должны учесть возможное влияние двух следующих факторов: а) сопротивления со стороны вышерасположенной материи, б) превращения ионов  $Ca^+$  в ионы  $Ca^{++}$  и т. д. благодаря усиливающейся ионизации в более высоко расположенных областях солнечной оболочки. Селективное же давление радиации на ионы  $Ca^{++}$  и т. д. является совершенно ничтожным. Однако, по видимому, первый фактор не является особо существенным. Плотность материи над хромосферой, т. е. во внутренней короне, чрезвычайно низка — порядка  $10^{-17}$  г/см<sup>3</sup>, а во внешней короне еще меньше. Подсчеты показывают, что при такой плотности тормозящее влияние корональной материи на ионы  $Ca^+$  не может играть решающей роли по сравнению с селективным давлением радиации на них<sup>(4)</sup>. Вторым фактором — увеличивающаяся ионизация атомов  $Ca^+$  является более серьезным. Особенно важно влияние высокой электронной температуры во внутренней короне, где эта температура может доходить, по различным оценкам, до миллиона градусов<sup>(4)</sup>. Какой-либо единичный ион  $Ca^+$ , попав в такую среду, будет немедленно превращен в ион с более высокой степенью ионизации.

Однако положение коренным образом изменится, если с достаточно большой части солнечной поверхности, обладающей площадью  $S$ , начнется непрерывное истечение однажды ионизированных атомов кальция. Действительно, корональные электроны, расположенные над площадью  $S$ , сразу же начнут терять свою энергию на ионизацию этих атомов, в результате чего электронная температура быстро понизится. Подсчеты показывают, что полное охлаждение внутренней короны над областью выбрасывания ионов  $Ca^+$  может наступить весьма скоро — за одни сутки или даже за меньший промежуток времени. При этом принимается, что концентрация выбрасываемых ионов  $Ca^+$  в верхних слоях хромосферы составляет  $10^5$  ионов на 1 см<sup>3</sup> и что на этом уровне скорость течения составляет 30 км/сек. Последняя цифра принимается по той причине, что она приблизительно соответствует полуширине ярких линий  $H_2$  и  $K_2$ . Концентрация  $10^5$  ионов/см<sup>3</sup> может показаться преувеличенной. Однако следует иметь в виду, что, благодаря большой яркости линий  $H_2$  и  $K_2$  над факелами, концентрация ионов  $Ca^+$  над ними должна быть, вследствие избыточного давления радиации, аномально высокой.

Далее, подсчеты показывают, что рассмотренный механизм является в смысле скорости охлаждения гораздо более эффективным, чем механизм, приводящий к нагреванию электронного газа внутренней короны. Таким образом, после охлаждения внутренней короны (в области, расположенной над факелом, отождествляемым с площадью  $S$ ) вновь выбрасываемые ионы  $Ca^+$  будут двигаться относительно долгое время, не претерпевая дальнейшей ионизации, т. е. увеличивая свою скорость под действием давления радиации.

Следует, однако, иметь в виду, что, благодаря большой скорости

<sup>(3)</sup> При достаточной концентрации выбрасываемых ионов  $Ca^+$  — порядка  $10^5$  ионов на 1 см<sup>3</sup> (см. далее).

ионов  $\text{Ca}^+$  и дисперсии в величине этой скорости, внутри короны над факелами будут эффективными процессы ионизации, связанные с соударениями между тяжелыми частицами. Иначе говоря, и в данном случае мы будем наблюдать обычную корональную эмиссию. Особенно мощной данная эмиссия должна быть для самих атомов кальция ввиду их весьма большого изобилия в короне над факелами. Кроме того, согласно еще неопубликованной работе Шкловского, наиболее интенсивной должна быть эмиссия, соответствующая высокой стадии ионизации. Все это согласуется с наблюдениями Вальдмейера<sup>(5)</sup>. Он нашел, что обычно весьма слабая линия  $\lambda$  5694, принадлежащая  $\text{Ca XV}$ , становится сильной (и иногда очень сильной) только над активными группами солнечных пятен (т. е., иначе говоря, над факельными областями).

Теперь мы должны обратиться к другому фактору, а именно — к электрическому полю. Можно было бы допустить, что поверхность Солнца (или даже только поверхность факелов) заряжена равномерно положительным электричеством. Тогда поле, возникающее вследствие этого заряда, будет действовать на ионы  $\text{Ca}^+$ , выбрасываемые в корону из хромосферы давлением радиации. Подсчеты показывают, что в этом случае для сообщения ионам  $\text{Ca}^+$  требуемых скоростей необходимы чрезвычайно небольшие поля. Кроме того, в данном случае мы также будем иметь дело с радиальным выбрасыванием материи (в случае наличия заряда только у факелов следует иметь в виду, что протяженность факелов гораздо больше, чем их толщина, так что искривление силовых линий будет существенным только вблизи границы факелов).

Однако введение электрического поля вызывает следующие возражения. В данном случае оказывается весьма трудным найти механизм, который бы компенсировал отрицательный заряд, непрерывно образующийся в результате выбрасывания ионов  $\text{Ca}^+$ . Поэтому, как можно думать, введение электрического поля является гораздо менее вероятным механизмом, чем механизм, предусматривающий введение только селективного давления радиации.

В заключение следует указать, что рассмотренные в настоящем сообщении соображения о выбрасывании ионов  $\text{Ca}^+$  полностью согласуются с последними результатами, найденными Ричардсоном<sup>(6)</sup>. Он нашел, что во время сильных магнитных бурь фиолетовое крыло линий  $H$  и  $K$  в солнечном спектре обнаруживает депрессию, что можно объяснить только существованием потока ионов  $\text{Ca}^+$ , движущихся от Солнца в направлении к Земле.

Крымская астрофизическая  
абсерватория  
Академии Наук СССР

Поступило  
6 XII 1946

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Э. Р. Мустель, ДАН, 42, № 3, 117 (1944). <sup>2</sup> A. Unsöld, Physik der Sternatmosphären, S. 423. <sup>3</sup> E. Milne, M. N., 86, 459 (1926). <sup>4</sup> M. Waldmeier, Z. f. Ap., 21, 85 (1942). <sup>5</sup> См., например, обзор его работ в Ap. J. 101, 117 (1945), сделанный Дейчем. <sup>6</sup> Carnegie Institution of Washington Year Book, № 43, for the year 1943—1944. Ежегодный отчет директора Обсерватории Монт Вилсон за 1944 г., стр. 7.