

УДК 523.62-726

## ГДЕ ОБРАЗУЮТСЯ СРЕДНЕМАСШТАБНЫЕ ВАРИАЦИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА?

© 2014 г. Ю. И. Ермолаев

*Институт космических исследований РАН, г. Москва*  
*e-mail: yermol@iki.rssi.ru*

Поступила в редакцию 28.09.2011 г.  
После доработки 18.11.2013 г.

В работе обсуждается положение места образования периодических вариаций плотности солнечного ветра с учетом наблюдения изменения в противофазе плотностей протонов и альфа-частиц [Viall et al., 2009]. Принимая во внимание, что альфа-частицы движутся быстрее протонов, наблюдаемые вариации должны были образоваться на расстояниях не более 0.02 а.е. от точки наблюдения.

DOI: 10.7868/S0016794014020096

На орбите Земли (1 а.е.) солнечный ветер имеет два характерных масштаба. В области крупных масштабов солнечный ветер сохраняет информацию о распределении масштабов в солнечной атмосфере. В области мелких масштабов распределение масштабов определяется локальной турбулентностью среды. Это наглядно проявляется в изменении наклона степенного спектра флуктуаций межпланетного магнитного поля: на орбите Земли излом происходит на характерной частоте около  $\Omega_0 = 3 \times 10^{-5}$  Гц (т.е. флуктуации обладают характерным периодом около суток). При больших частотах показатель  $\alpha = 5/3$  (результат самоорганизации магнитных силовых трубок в кластеры более крупного размера), при меньших частотах —  $3/2$  (следствие эффекта памяти о распределении в солнечной атмосфере) (см., например, обзор [Зеленый и Милованов, 2004] и ссылки в нем). Это хорошо согласуется с размерами связанных с Солнцем крупномасштабных структур солнечного ветра, например, быстрых течений из корональных дыр или выбросов корональной массы. В области характерных времен менее минут существует развитая турбулентность, и информация об источнике на Солнце полностью отсутствует. Область с характерными временами от минут до суток (т.е. десятки и сотни минут) можно рассматривать, как переходную область средних масштабов, когда могут присутствовать и те и другие распределения масштабов в зависимости от конкретных условий. В настоящей работе будут рассмотрены некоторые экспериментальные данные, относящиеся к среднemasштабным вариациям солнечного ветра, и на их основе определено место образования этих вариаций.

Периодические вариации плотности с периодом около десятков минут иногда наблюдаются в солнечном ветре и могут служить источником

магнитосферных возмущений [Керко et al., 2002; Керко and Spence, 2003]. В работе [Viall et al., 2009] на основе анализа данных космического аппарата (КА) WIND для события 14 февраля 1996 года было показано, что во время периодических (~30 мин) вариаций плотности протонов наблюдались периодические изменения в противофазе плотности альфа-частиц. На основании этих наблюдений был сделан вывод: “Для этого события вариации в противофазе содержания альфа-частиц позволяют уверенно предположить, что структуры с периодическими вариациями плотности в солнечном ветре образуются в солнечной короне (For this event, the anti-phase nature of the AHe variations strongly suggests that periodic solar wind density structures originate in the solar corona)”. В настоящем комментарии мы покажем, что этот вывод базируется на некорректном предположении, и представленные данные свидетельствуют в пользу локального происхождения периодических структур плотности.

Viall et al. [2009] неявно предполагают, что переносные скорости протонов и альфа-частиц равны от момента выхода объема плазмы из солнечной короны до их регистрации на орбите Земли. Как показали многочисленные космические эксперименты, переносная скорость альфа-частиц обычно выше, чем скорость протонов, и разность их скоростей изменяется от очень малых величин (около 0) в медленном и плотном течении (например, в Гелиосферном токовом слое) до величины сравнимой (но несколько ниже) с альвеновской скоростью в быстрых течениях солнечного ветра [Formisano et al., 1970; Robbins et al., 1970; Bollea et al., 1972; Ogilvie, 1975; Asbridge et al., 1976; Bosqued et al., 1977; Neugebauer, 1981; Marsch et al., 1982; Ogilvie et al., 1982; Yermolaev and Stupin, 1997; Yamauchi et al., 2004]. При скорости солнечного

ветра 500 км/с, которая наблюдалась в рассматриваемый период, на 1 а.е. в среднем альфа-частицы движутся быстрее, чем протоны, на величину 2–5%. Для двух компонент, вместе вышедших из Солнца в межпланетную среду, на 1 а.е. пространственный сдвиг между ними достигнет 0.02–0.05 а.е. или временной сдвиг 100–250 мин. В реальной ситуации этот сдвиг будет еще больше, так как разница скоростей компонент убывает с ростом расстояния от Солнца [Marsch et al., 1982; Yermolaev and Stupin, 1990], а мы взяли для оценки наименьшую величину разности скоростей на 1 а.е. Полученный сдвиг существенно превышает период наблюдаемой структуры (30 мин). Это означает, что любая антикорреляция плотности альфа-частиц и протонов, рожденная вблизи Солнца, будет отсутствовать вблизи Земли, так как обе компоненты сдвинуты относительно друг друга на расстояние, превышающее как период структур, так и размер всего явления.

Таким образом, наблюдаемая антикорреляция плотностей протонов и альфа-частиц могла родиться лишь вблизи точки регистрации (не более 0.02 а.е.), чтобы сдвиг между компонентами за счет разности их скоростей был меньше периода зарегистрированных структур.

Работа частично поддержана РФФИ, гранты № 10-02-00277-а и № 13-02-00158-а, а также Программой Президиума РАН № 22.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зелёный Л.М., Милованов А.В. Фрактальная топология и странная кинетика: от теории перколяции к проблемам космической электродинамики // УФН. Т. 174. № 8. С. 809–852. 2004.
- Asbridge J.R., Bame S.J., Feldman W.C., Montgomery M.D. Helium and hydrogen velocity difference in the solar wind // J. Geophys. Res. V. 81. P. 2719–2727. 1976.
- Bollea D., Formisano V., Hedgcock P.C., Moreno G., Palmiotto F. Helios 1 helium observations in the solar wind // NASA Spec. Publ. V. 308. P. 588–597. 1972.
- Bosqued J.M., D’Uston C., Zertalov A.A., Vaisberg O.L. Study of alpha component dynamics in the solar wind using Prognoz satellite // Solar Phys. V. 51. P. 231–242. 1977.
- Formisano V., Moreno G., Palmiotto F.  $\alpha$ -particle observations in the solar wind // Solar Phys. V. 15. P. 479–498. 1970.
- Kepko L., Spence H.E. Observations of discrete, global magnetospheric oscillations directly driven by solar wind density variations // J. Geophys. Res. 108(A6). P. 1257–1269. doi:10.1029/2002JA009676. 2003.
- Kepko L., Spence H.E., Singer H.J. ULF waves in the solar wind as direct drivers of magnetospheric pulsations // Geophys. Res. Lett. 29(8). P. 391–394. doi:10.1029/2001GL014405. 2002.
- Marsch E., Muhlhauser K.-H., Rosenbauer H., Schwenn R., Neubauer F.M. Solar wind helium ions: Observations of the Helios solar probes between 0.3 and 1 AU // J. Geophys. Res. V. 87. P. 35–51. 1982.
- Neugebauer M. Observations of solar-wind helium // Fund. Cosmic Phys. V. 7. P. 131. 1981.
- Ogilvie K.W. Differences between the bulk speeds of hydrogen and helium in the solar wind // J. Geophys. Res. V. 80. P. 1335–1338. 1975.
- Ogilvie K.W., Coplan M.A., Zwickl R.D. Helium, hydrogen, and oxygen velocities observed on ISEE 3 // J. Geophys. Res. V. 87. № 9. P. 7363–7369. 1982.
- Robbins D.E., Hundhausen A.J., Bame S.J. Helium in the solar wind // J. Geophys. Res. V. 75. P. 1178–1187. 1970.
- Viall N.M., Spence H.E., Kasper J. Are periodic solar wind number density structures formed in the solar corona? // Geophys. Res. Lett. V. 36. L23102. doi:10.1029/2009GL041191. 2009.
- Yermolaev Yu.I., Stupin V.V. Some alpha-particle heating and acceleration mechanisms in the solar wind: Prognoz 7 measurements // Planet. Space Sci. V. 38. № 10. P. 1305–1313. 1990.
- Yermolaev Yu.I., Stupin V.V. Helium abundance and dynamics in different types of solar wind streams: the Prognoz 7 observations // J. Geophys. Res. V. 102. № A2. P. 2125–2136. 1997.
- Yamauchi Y., Suess S.T., Steinberg J.T., Sakurai T. Differential velocity between solar wind protons and alpha particles in pressure balance structures // J. Geophys. Res. V. 109. A03104. doi:10.1029/2003JA010274. 2004.