

noticed that the microlens influence is almost perceptible when microlens approaches a source.

We can obtain the most valuable information about focusing effect from magnification factor of the whole lens. The dependence of the magnification factor of a complex system on different microlens position into a galaxy is presented on fig. 4. Values on the axis are normalized to the magnification factor of macro images created by galaxy. From this figure we noticed that the microlens influence is almost perceptible when microlens approaches a source.

The results for second case is illustrated on fig. 3b when microlens is located between the macrolens centre and observer ($\eta_{mp} = Z_m/Z_p$). Again, microlens is placed directly in the plane passing through the center of the galaxy on the first graph. And then microlens is removed in the direction to the observer. From this figure we noticed that isophots structure is changed besides splitting of macro image. Isophots structure are approached the image of the microlens Einstein ring closer and closer with increasing Z_m . But when we shift the microlens in the direction of the observer microlens effect on the total magnification becomes more and more evident. This circumstance is also confirmed by the structure of the intensity contours what it's already seen on fig 3b. By moving the microlens, we projected it on the micro image centre. In this case, microlens influence is maximum. The magnification factor of microlens can be estimated as ratio of solid angle of micro image and source [7]: $q_m \approx \Psi_g / \sqrt{q_1} \Psi_0$. It's necessary to consider the value q_m as maximum value of magnification by microlens.

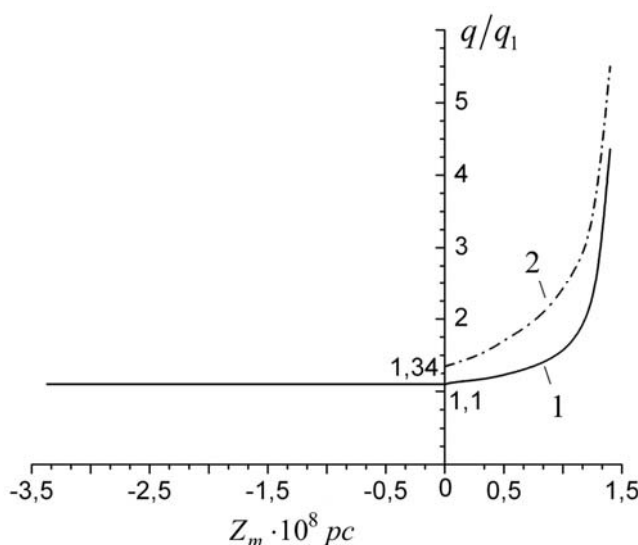


Fig. 4. Magnification factor of complex lens (1) and magnification factor of microlens (2), normalized to magnification factor of macro image

Conclusion. Based on the analysis and results of numerical estimation, we conclude that the degree of influence of the microlens-stars on the characteristics of a complex system depends on the microlens position inside macrolens - galaxy. The microlens has the most influence on the focusing effect when it is located on the path macrolens - observer. This fact must be taken into account at the processing of observational data of the microlensing effect.

1. S. Sobolev. Equations of Mathematical Physics. – Moscow, 1966. 2. L. Berdina, A. Minakov. Focusing of quasar radiation in the gravitational field of a microlens-star situated inside a macrolens-galaxy. I. Construction of solution on the basis of Sobolev formula // Radio Physics and Radio Astronomy. – 2010. – Vol. 15, №3 - P. 271 – 284. 3. M. Jaroszynski, J. Skowron. Microlensing of Q2237+0305: Simulations and statistics // Acta Astronomica, – 2006. – Vol. 56. – P. 171–182. 4. A. Minakov, V. Shalyapin. An estimation of the gravitational lens 2237+0305 // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal. – 1991. – Vol. 17, № 4.– P. 331–340. 5. R. Schmidt, R. Webster, G. Lewis. Weighing a galaxy bar in the lens Q2237+0305 // MNRAS. – 1998. – Vol. 295. – P. 488–496. 6. A. Cherepashchuk. Gravitational microlensing effect and dark mass problem // SOZH. - 1998. – Vol. 3. – P. 92 – 99. 7. P. Blioh, A. Minakov. Gravitational lenses. Kyiv, 1989.

Надійшла до редколегії 01.07.11

УДК 523.9-377

М. Пасечник, канд. фіз.-мат. наук, С. Чорногор, канд. фіз.-мат. наук.

ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ВО ВРЕМЯ ДВУХ ХРОМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ

Исследовано поле лучевых скоростей движения плазмы нижней атмосферы на участке одной из первых активных областей NOAA 11024 южного полушария Солнца нового 24-го цикла солнечной активности во время двух хромосферных выбросов. Наблюдения были проведены 4 июля 2009 г. на франко-итальянском телескопе THEMIS (Испания, о. Тенерифе). Скорость подъема движения хромосферного вещества в первом выбросе достигала - 44 км/с, а во втором – -75 км/с.

The line-of-sight velocity field of plasma motion in the lower atmosphere of one of the first the active region NOAA 11024 at the new solar activity cycle onset phase during two chromospheric ejections are investigated. Observations on July 4, 2009 with the Franco-Italian telescope THEMIS (Spain, Tenerife) were conducted. The chromospheric line-of-sight velocities in the first surge reached - 44 km /s, while the second – -75 km/s.

Введение. Наблюдаемые в активных областях (АО) хромосферные выбросы плазмы типа серджей относятся к короткоживущим (10–20 мин.) протуберанцам. Они возникают снизу — в хромосфере, и связаны со вспышками или активными солнечными пятнами. Скорости выбросов составляют от 50 до 200 км/с, $n \sim 10^{16} \text{ м}^{-3}$. По мере продвижения вверх они расширяются и охлаждаются. Многие из них возвращаются по тем же траекториям, по которым происходил их подъем. Динамические модели хромосферных выбросов представлены в работах [2–5]. В некоторых статьях рассматривается связь серджей с микровспышками (бомбы Эллермана) [7]. В последнее время появились работы, в которых на основе многоволновых наблюдений подтверждается, что серджи формируются в результате магнитных пересоединений, во время которых происходит превращение магнитной энергии токового слоя в кинетическую энергию движения плазмы [1, 7, 8].

Одной из важных составляющих таких исследований является изучение поля лучевых скоростей ($V_{\text{луч}}$) АО на фотосферном и хромосферном уровнях и сравнение их с процессами в более высоких слоях атмосферы Солнца. Детальный анализ движений вещества в АО является важным фактором для понимания физических процессов, которые происходят в АО во время формирования выбросов.

Наблюдательный материал и его обработка. В нашей работе исследована структура поля хромосферных и фотосферных лучевых скоростей на участке одной из первых активных областей NOAA 11024 южного полушария Солнца нового 24-го цикла солнечной активности. Наблюдения одновременно в нескольких участках спектра были проведены Е. В. Хоменко 4 июля 2009 г. (09:30:53 – 09:49:34 UT) на франко-итальянском телескопе THEMIS Института астрофизики на Канарах (Испания, остров Тенерифе). Спектры получены с интервалом ~3 секунды. Участок АО, вырезанный щелью спектрографа, включал две поры и два флоккула. За время наблюдений в хромосфере АО развились два выброса плазмы.

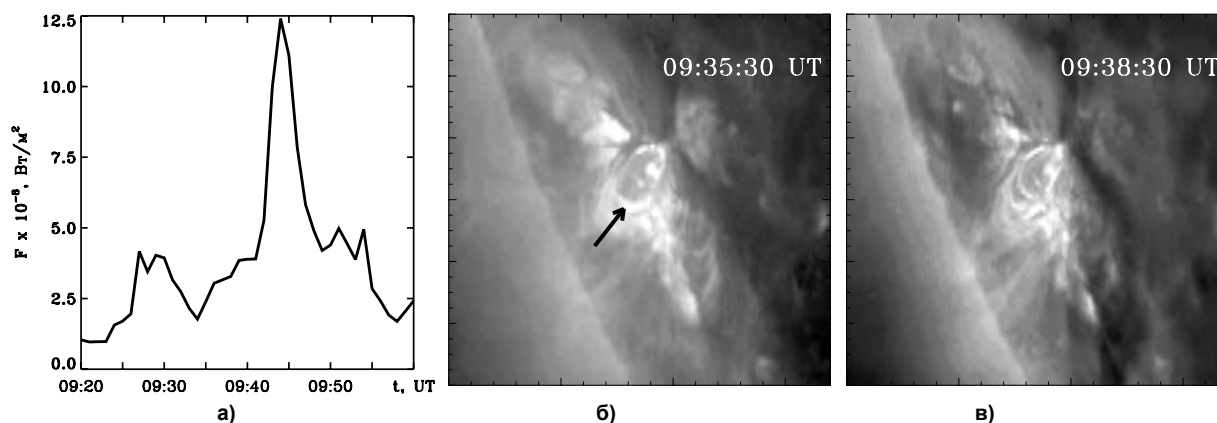


Рис. 1. а) временной ход мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 0.1–0.8 нм по данным спутника GOES; б) и в) УФ-изображения активной области NOAA 11024 по данным спутника STEREO-A (стрелкой указана петля, заполняющаяся разогретой плазмой)

Магнитограмма активной области NOAA 11024 по данным SOHO/MDI показывает, что группа пятен АО была биполярной с вкраплениями небольших пятен и пор противоположной полярности, что говорит о всплывании новых трубок магнитного поля. Важной характеристикой, которая дает информацию о физических процессах в атмосфере АО, является изменение интенсивности ее излучения в мягком рентгеновском диапазоне. Оно описывает тепловую фазу энерговыделения. На рис. 1а представлен временной ход мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 0.1–0.8 нм по данным спутника GOES. В период наблюдений АО были зарегистрированы слабые (балла А4 и В1) всплески интенсивности излучения с максимумами в 09:26 и в 09:43 UT. Это указывает на то, что происходили магнитные пересоединения, т.е. произошла субвспышка [1]. На рис. 1б и в даны изображения активной области NOAA 11024 в ультрафиолетовом (УФ) излучении по данным спутника STEREO-A в моменты, близкие к максимумам развития выбросов. Видна система корональных магнитных петель, заполненных горячей плазмой.

На рис. 2а приведен участок спектра, включающий линию $H\alpha$, в синем крыле которой виден темный выброс, указанный стрелкой (1-й выброс), на рис. 2в то же самое для 2-го выброса. Выбросы развивались возле небольшой эмиссии (основание корональной петли в хромосфере). Для исследования изменений $V_{\text{луч}}$ вдоль участка АО, занятого выбросами, были сделаны разрезы вдоль спектра, шаг между разрезами соответствовал расстоянию на поверхности Солнца 160 км. На этом же рисунке приведены профили линии $H\alpha$, полученные для разных моментов наблюдений для 1-го и 2-го выбросов. Видно, что профили сильно изменяются со временем. Многие профили для 2-го выброса состоят из двух компонент. Это значит, что распределение скорости в выбросе сильно отличалось от распределения скорости в хромосфере.

Лучевые скорости определялись по доплеровским смещениям центров линий в спектрах относительно их положений в лабораторном спектре с использованием близлежащих теллурических линий. При этом учитывались поправки за вращение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, вращение Солнца и гравитационное смещение. Лучевая скорость в хромосфере вычислялась по линии $H\alpha$. Для определения лучевых скоростей движения плазмы фотосферы использовались 3 линии нейтрального железа (λ 630.15, 630.249, 630.346 нм), высоты образования которых в спокойной фотосфере – 489, 381 и 140 км и линия титана (λ 630.375 нм) — высота образования 180 км. Ошибка определения хромосферной скорости составляет 0.3 км/с, а фотосферной – 0.1 км/с.

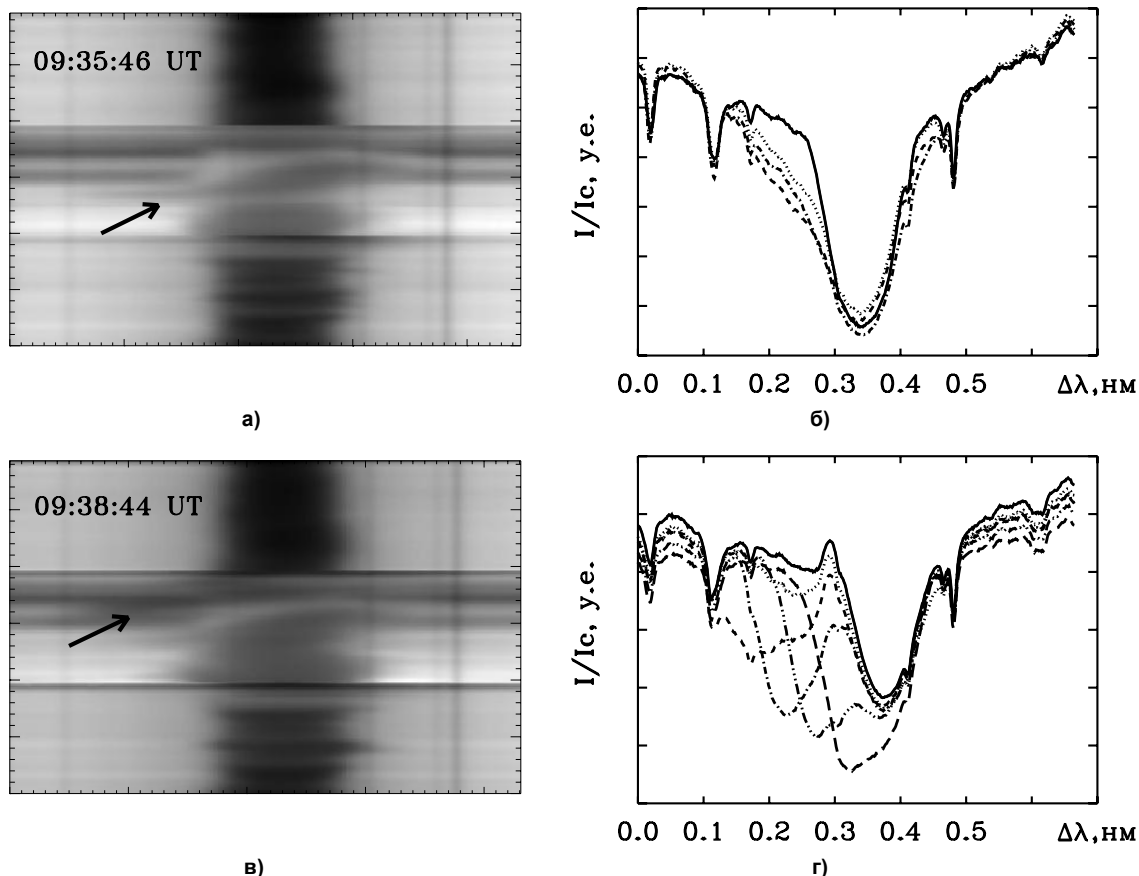


Рис. 2. $H\alpha$ -спектры, стрелками показаны выбросы (левые панели) и профили линии $H\alpha$ (правые панели), полученные для разных моментов наблюдений для первого (а и б) и второго (в и г) выбросов. На рис. б: сплошная линия – 09:34:57 UT, пунктирная – 09:35:08 UT, штриховая – 09:35:17 UT, штрих-пунктирная – 09:35:26 UT; на рис. г: сплошная линия – 09:35:32 UT, пунктирная – 09:37:11 UT, штриховая – 09:37:42 UT, штрих-пунктирная – 09:38:44 UT, три пунктира-штрих – 09:39:43 UT, длинные штрихи – 09:40:38 UT

Лучевые скорости. На участке АО без активных образований хромосферное вещество двигалось к наблюдателю с $V_{\text{луч}} = -0.6 \div -2.5$ км/с, $V_{\text{луч}}$ на разных уровнях фотосферы изменялась от -1.5 км/с до 0.8 км/с.

Первый выброс. На рис. 3 приведены изменения лучевой скорости по площади во время 1-го выброса, которые произошли в области выброса (панель а), в хромосфере (панель б) и в разных слоях фотосферы (панель в). На панелях а и б: кружки – скорости в центральной части выброса, плюсы и треугольники – на расстоянии 490 км по разные стороны от центральной части, квадраты – на расстоянии 810 км; на панели в: кружки – скорости на высоте 140 км, звездочки – 180 км, квадраты – 381 км, треугольники – 489 км. Отрицательные значения лучевой скорости соответствуют смещениям линий в коротковолновую часть спектра и движениям по направлению к наблюдателю. Из рис. 3а видно, что наибольшие изменения скорости движения хромосферного вещества произошли в центральной части выброса. Максимальное значение $V_{\text{луч}} = -44$ км/с было достигнуто в 09:35:40 UT. Так же видно, что скорость уменьшалась от центра выброса к его периферии от -44 км/с до -13 км/с. Подобные изменения скорости в сердце получены в работе [6]. На некоторых спектрограммах выброс виден до 0.2 нм от центра линии $H\alpha$. Это значит, что в нижней хромосфере $V_{\text{луч}}$ в выбросе достигали 130 км/с.

В области хромосферы (рис.3б) перед выбросом изменялось направление движения – на краю выброса опускание с $V_{\text{луч}} = 0.8$ км/с сменилось подъемом с $V_{\text{луч}} = -1.2$ км/с. На спектре (рис. 2а) в линии $H\alpha$ видны наклонные детали, что говорит о вращении вещества. Во время максимума выброса скорость подъема увеличилась до -4.4 км/с.

На уровне фотосферы происходил подъем вещества. В верхних слоях (489 и 381 км) средняя скорость подъема составляла -0.7 км/с, а в средних слоях около -1 км/с. После того как скорость в выбросе достигла максимума (09:35:40 UT) скорость во всех слоях фотосферы начала уменьшаться и стала примерно одинаковой -0.4 км/с.

Второй выброс. Изменения скорости в области 2-го выброса приведены на рис. 4. На панелях а и б: кружки – скорости в центральной части выброса, квадраты и треугольники – на расстоянии 650 км по разные стороны от центральной части, ромбы – на расстоянии 130 км, плюсы – на расстоянии 1950 км; на панели в: то же самое, что на рис. 3в. В центральной части выброса вначале, примерно в течение 50 сек, скорость росла медленно. Резкое увеличение скорости началось в 09:37:34 UT ($V_{\text{луч}} = -46$ км/с), а в 09:37:50 UT она достигла своего максимального значения -73 км/с. На расстоянии 650 и 1300 км от центральной части увеличение скорости от -44 км/с до -56 км/с произошло раньше в 09:37:32 UT. В 09:37:36 UT от выброса отделился фрагмент, в котором скорости были большими, чем в выбросе, и достигали 75 км/с. Профили линии $H\alpha$ на спектрах, полученных в это время, стали более сложными (на рис. 2г профиль, полученный в 09:37:42 UT).

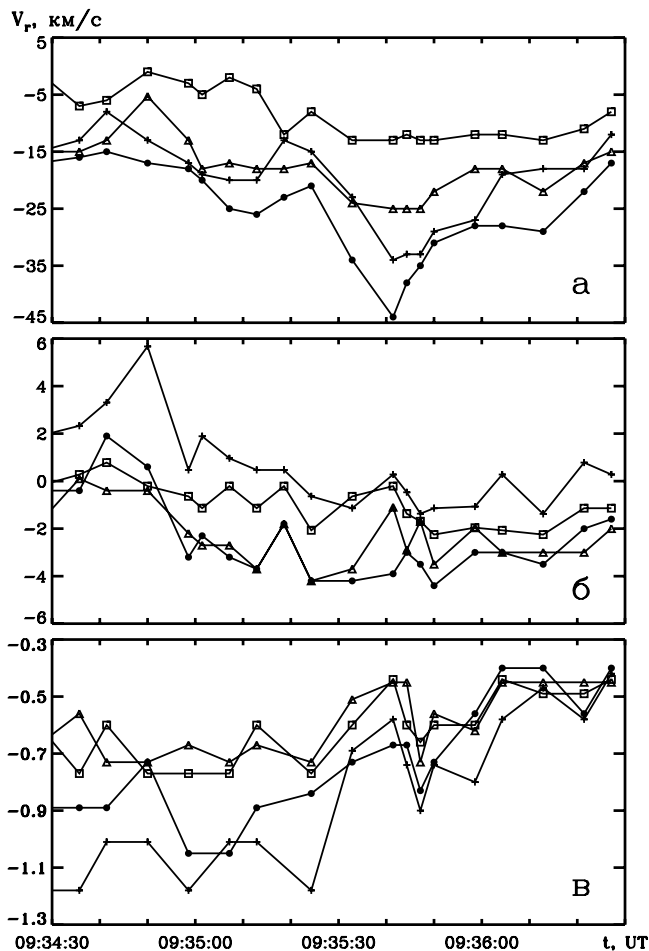


Рис. 3. Изменения лучевых скоростей во время первого выброса: а) в области выброса; б) в хромосфере; в) в фотосфере в центральной части выброса на разных высотах.

После достижения максимума $V_{\text{луч}}$ как в выбросе, так и в его фрагменте, скорости уменьшались, а в промежутке времени 09:38:32 – 09:38:53 UT фрагмент соединился с выбросом. На расстоянии 650 км от центра выброса до момента 09:38:47 UT скорость была меньше, чем в центральной части, а потом стала большей, т.е. произошло изменение направления максимальной скорости, вероятно, из-за перестройки магнитного поля. В конце выброса скорость подъема в его периферийной части начала резко уменьшаться, и чем дальше от центра, тем раньше происходило уменьшение $V_{\text{луч}}$.

В области хромосферы вещество двигалось от наблюдателя со скоростью от 4 км/с до 17 км/с. С момента наблюдения 09:37:50 UT (максимальная $V_{\text{луч}}$ в выбросе) скорость подъема начала уменьшаться в центральной части медленно, а чем дальше от нее, тем раньше и более резко происходило уменьшение $V_{\text{луч}}$, изменялось ее направление, а затем увеличивались скорости опускания.

В области фотосферы наблюдался подъем вещества. В верхней фотосфере скорость составляла около – 0.9 км/с. Наибольшие скорости отмечены на уровне 180 км до –2.3 км/с. Амплитуда колебаний скорости на уровне 140 км уменьшилась во время выброса.

Выводы. Сопоставление данных с космических спутников (GOES, SOHO, STEREO) и полученных нами изменений величины и направления лучевой скорости движения хромосферного (на уровне образования ядра линии $H\alpha$) и фотосферного (140 – 490 км) вещества АО во время двух хромосферных выбросов позволило сделать такие выводы:

1. Во время выбросов изменения скорости произошли как в хромосфере, так и в фотосфере АО.
2. Максимальная скорость в 1-м выбросе $V_{\text{луч}} = -44$ км/с была достигнута в 09:35:40 UT, а во 2-м $V_{\text{луч}} = -73$ км/с – в 09:37:50 UT. В области выбросов скорости уменьшались от центра к периферии.
3. На уровне хромосферы во время выбросов увеличивалась скорость подъема вещества. Перед 1-м выбросом изменялось направление движения вещества, что говорит о его вращении. Во время 2-го выброса после его максимума резко изменялось направление скорости в его периферийной части.
4. На уровне фотосферы во время 1-го выброса скорость подъема уменьшалась, после достижения в нем максимальной скорости. Во время 2-го выброса изменения $V_{\text{луч}}$ произошли только в средних слоях фотосферы.
5. Выбросы хромосферного вещества произошли на стадии роста интенсивности мягкого рентгеновского излучения. Поэтому вероятно, что обнаруженные изменения лучевой скорости движения плазмы активной области были связаны с всплыванием новых магнитных потоков и процессами магнитного пересоединения.

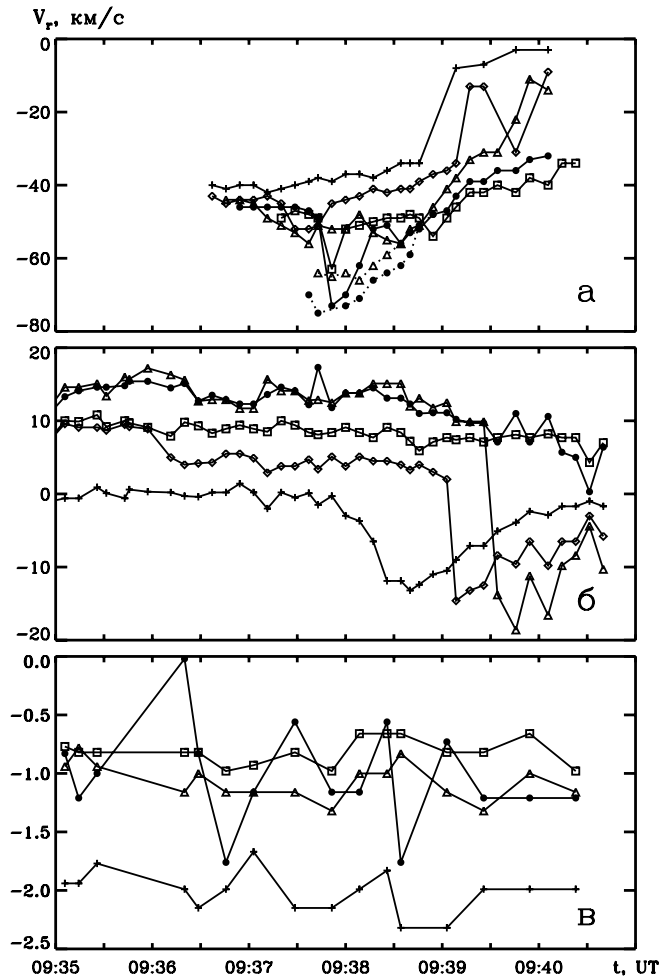


Рис. 4. То же, что и на рис. 3. во время второго выброса (пунктирные линии со значками – для фрагмента выброса)

1. Лившиц М.А. Солнечные вспышки: результаты наблюдений и газодинамические процессы // Плазменная гелиогеофизика / Под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - С.60–81. 2. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. - М., 1985. 3. Сыроватский С.И., Сомов Б.В. Физика солнечных вспышек. Теория наблюдаемых проявлений вспышек // Итоги науки и техники. Астрон. - 1982. - Т.21. - С.221–237. 4. Canfield R.S., Reardon K.P., Leka K.D. et al. На surges and X-ray jets in AR 7260 // Astrophys. J. - 1996. - Vol.464, N 2. - P.1016–1029. 5. Gaizauskas V. Magnetic reconnection as a driver of chromospheric surges // Solar Physics. - 1996. - Vol.169. - P.357–366. 6. Li K., Li J., Gu X., Zhong S. A quantitative analysis of the surge of March 19, 1989 // Solar Physics. - 1996. - Vol.168. - P.91–103. 7. Madjarska M.S., Doyle J.G., de Pontieu B. Explosive events associated with a surge // Astrophys. J. - 2009. - Vol.701. - P.253–259. 8. Priest E.R., Hood A.W., Bewsher D. The Nature of Blinkers and the Solar Transition Region // Solar Physics. - 2002. - Vol.205. - P.249–264.

Поступила в редколлегию 10.06.11

УДК 523.9-355 + 523.9-36

А. Сухоруков, асп., Н. Щукіна, д-р фіз.-мат. наук

СОЛЯНИЙ ВМІСТ КРЕМНІЮ В НАБЛИЖЕННІ ЛТР В ОДНОВИМІРНИХ МОДЕЛЯХ

Визначено вміст кремнію в одновимірних напівемпіричних моделях атмосфери Сонця в наближенні ЛТР. Для моделі HOLMUL він дорівнює 7.594 ± 0.015 dex. Для сонячних сил осциляторів, за якими визначався вміст, доведені якість, легітимність та можливість прив'язки до експериментальних даних.

The LTE abundance of silicon was determined for one-dimensional semiempirical models of the solar atmosphere. The abundance value for the HOLMUL model is 7.594 ± 0.015 dex. Solar oscillator strengths, which were used for abundance determination, were shown to be of high quality, legitimate and able to be linked to the experimental ones.

Вступ. Дослідження сонячного спектру кремнію важливе по багатьом причинам. По-перше, кремній — один з найбільш поширених елементів у Всесвіті. За кількістю атомів він посідає 6-е місце.

По-друге, атоми та йони кремнію сильно поглинають випромінювання в ультрафіолетовому континуумі. Врахування поглинання кремнію важливе при моделюванні та дослідженні глибоких шарів фотосфер Сонця та зір пізніх класів.

По-третє, кремній — основний донор вільних електронів у верхніх шарах атмосфер зір різних класів на рівні із залізом та магнієм.

По-четверте, інфрачервоні лінії спектру кремнію достатньо чутливі до Зеєманівського розчеплення та деполяризації Ханле під дією магнітного поля [18]. Завдяки достатньо сильному сигналові у Стокс-компонентах, ці лінії можна використовувати для дослідження фізичних процесів у різних магнітних структурах на Сонці. Зокрема, дуже зручною є лінія