

**О РОЛИ ТУРБУЛЕНТНЫХ (НЕТЕПЛОВЫХ) ДВИЖЕНИЙ  
В НАГРЕВЕ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ**

Д.М.КУЛИ-ЗАДЕ\*, С.Г. МАМЕДОВ \*\*,  
Н.С.ДЖАЛИЛОВ \*\*, А.АДЖАБШИРЗАДЕ\*\*\*

\* - Бакинский Государственный Университет (Азербайджан)

\*\* - Шемахинская Астрофизическая Обсерватории  
им. Н. Туси (Азербайджан)

\*\*\* - Тебризский Университет (Иран)  
skulizade-e-mail.ru

*Как известно, нетепловые (турбулентные) движения возникают в результате неустойчивостей большинства механизмов нагрева Короны. Очевидно, что энергия нетепловых движений в конечном счете переходит в тепло (как это имеет место в случае колмогоровской турбуленции) и, по-видимому, обуславливает излучение Короны. Поэтому представляет интерес выяснить возможную роль нетепловых движений в нагреве и излучении Короны. Для проверки этого нами были рассчитаны, также плотности энергий излучения, плотности нетепловых и тепловых движений в слоях Короны в зависимости от скоростей нетепловых турбулентных движений в одних и тех же объемах. Оказалось, что указанные плотности энергий одинаковым образом изменяются в зависимости от скоростей нетепловых турбулентных движений. На основании этого делается вывод о том, что турбулентные движения могут играть существенную роль в нагреве солнечной Короны.*

**Ключевые слова:** Солнечная корона. Турбулентные движения. Нагрев солнечной короны.

Как известно, температура в солнечной Короне превышает  $10^6$  К, в то время как в нижележащих слоях атмосферы Солнца она на два порядка меньше. А механизмы нагрева Короны до сих пор окончательно не установлены. В своем обширном обзоре Зиркер [1] пришел к заключению, что независимо от механизма возникновения, нетепловые движения ставят ограничения на все другие механизмы нагрева солнечной Короны. Аналогичное заключение сделано так же в работе Чае [2].

Известно, что нетепловые движения возникают в результате неустойчивостей механизмов нагрева солнечной Короны. Очевидно, что энергия нетепловых движений в конечном счете переходит в тепло (как это имеет место в случае колмогоровской турбуленции) и, по-видимому, обуславливает излучение Короны. Поэтому, представляет интерес выяснить возможную роль нетепловых движений в нагреве и излучении солнечной Короны.

Отметим, что нетепловые движения приводят к дополнительному, помимо тепловых движений, расширению эмиссионных корональных линий. Обычно принимается, что для нетепловых движений имеет место распределение Максвелла. Тогда, принимая профиль наблюдаемой корональной линии как доплеровский и, используя известное из теоретических соображений температуру ионизации данного излучающего иона  $T_i$ , можно определить среднее значение скоростей нетепловых движений, которые обычно называются турбулентными ( $v_{tr}$ ).

Для выяснения роли турбулентных движений в нагреве Короны мы сочли целесообразным сопоставить плотности энергий тепловых ( $\epsilon_t$ ), турбулентных ( $\epsilon_{tr}$ ) движений, а также плотность излучения ( $\epsilon_r$ ) со значениями скоростей турбулентных движений  $v_{tr}$ .

Как известно,

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= 1.5 N_e k T_i, \\ \epsilon_{tr} &= 0.5 \rho v_{tr}^2, \\ \epsilon_r &= 4 \cdot 10^{-22} N_e.\end{aligned}$$

Здесь принято, что число частиц в единице объема равно электронной плотности

$$\rho = N_e m_H,$$

где  $\rho$  - плотность Короны,  $N_e$  - концентрация электронов, и  $m_H$  - масса атома водорода. Последнее выражение взята из кривой функции излучения [3] при  $T_i = 8 \cdot 10^5$  К, что соответствует температуре ионизации семикратно ионизированного силиция SiVIII, линии которого были использованы в данной работе.

Здесь важно отметить то обстоятельство, что значения  $N_e$  и  $v_{tr}$  должны относиться к одному и тому же конкретному объему Короны, т.е. недопустимо использовать значения  $N_e$ , полученные по одним излучающим ионам, а  $v_{tr}$  - по другим. Иначе значения  $N_e$  и  $v_{tr}$  будут относиться к различным корональным объемам, что для данной задачи не приемлемо. Необходимо, чтобы найденные  $N_e$  и  $v_{tr}$  относились к одному и тому же объему с одинаковой температурой ионизации  $T_i$ .

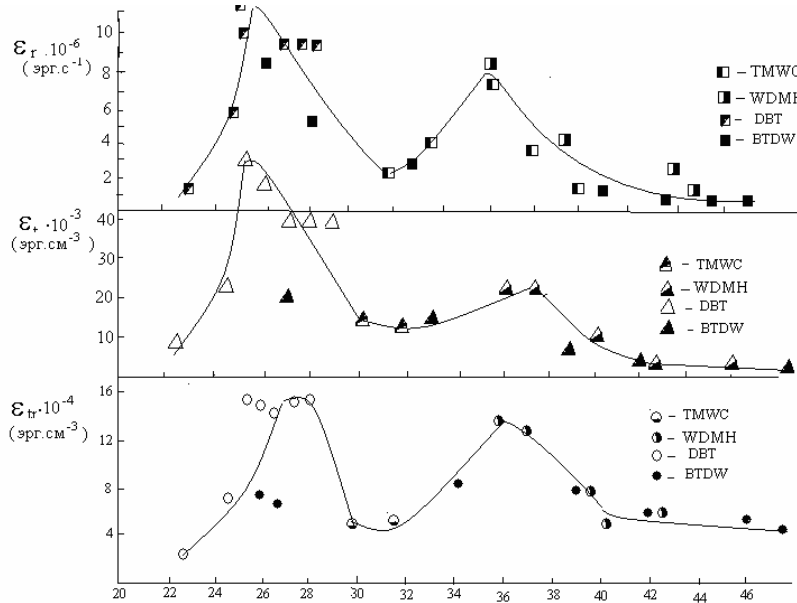
Для данной задачи наиболее подходящим является ион SiVIII. Этот ион замечателен тем, что отношение интенсивностей линий  $\lambda 1440 \text{ \AA}$  и  $\lambda 1445 \text{ \AA}$  чувствительно  $N_e$ . Зависимость отношения интенсивностей линий  $\lambda 1440 \text{ \AA}$  и  $\lambda 1445 \text{ \AA}$   $R = I(\lambda 1445)/I(\lambda 1440)$  от  $N_e$  теоретически вычислена в [4]. Определение  $N_e$  и  $v_{tr}$  одновременно по этим линиям обеспечивает локализацию значений этих величин в конкретном объеме солнечной Короны.

К сожалению, одновременное определение  $N_e$  и  $v_{tr}$  по этим линиям мы нашли только в работах [5,6,7]. В [8] приведены значения отношения интенсивностей  $R$  и полуширин  $\Delta\lambda_{1/2}$  этих линий. Используя значения полуширин, принимая  $T_i = 8 \cdot 10^5$  К мы по доплеровской ширине линий вычислили скорость турбулентных движений  $v_{tr}$  и, далее по значениям  $R$ , используя теоретические расчеты из [4], мы определили электронную плотность  $N_e$ .

По этим данным нами были вычислены плотности энергии тепловых ( $\epsilon_t$ ) и турбулентных ( $\epsilon_{tr}$ ) движений, а также плотность излучения ( $\epsilon_r$ ), которые представлены на прилагаемом рис. 1, где по оси абсцисс отложены скорость

турбулентных движений. Как видно из этого рисунка, все кривые плотностей энергий в зависимости от  $v_{tr}$  изменяются синхронно и почти одинаковым образом. Это говорит о том, что источником всех плотностей вышеуказанных энергий являются именно турбулентные движения.

Из этого можно сделать заключение о том, что Корону нагревают те физические механизмы, которые генерируют турбулентные движения, энергия которых переходит в тепло и, в конечном счете, в излучение. Таким образом, полученный нами результат позволяет ограничить круг теоретических механизмов играющих роль при нагреве Короны.



**Рис.1.** Зависимость плотностей энергий излучения ( $\epsilon_r$ ), тепловых ( $\epsilon_t$ ) и турбулентных движений ( $\epsilon_{tr}$ ) от скоростей турбулентных движений ( $v_{tr}$ ).  
(TMWC – Tu C.-Y., et all [7], WDMH– Wilhelm K. et all [8], DBP – Doyle et all [6], BTDW – Banerjee D. et all – [5].)

Следует сказать, что в большинстве механизмов нагрева Короны, выдвинутых теоретиками, имеет место генерация нетепловых (турбулентных) движений, вызванных различными видами неустойчивостей; однако, имеются некоторые механизмы, в которых не генерируются нетепловые (турбулентные) движения, напр. [9-10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zirker J.B. // Solar Phys. 1993, v. 147, p. 43-65.
2. Chae J. et al. // Astrophys. J. 1998, v.505, p. 957-973.
3. Cox F., Tucker H. // Astrophys.J. 1969, v.157, p.1157-1167.
4. Feldman E., Schule V., Lemair Ph. // Astrophys. J. 1978, v. 226, p.674-683.
5. Banerjee D., Teriaca J., Doyle J.G., Wilhelm K. // Astron. Astrophys. 1998, v. 339, p.208-217.
6. Doyle J.G., Banerjee D., Perez M.G. // Solar Phys. 1998, v. 181, p. 91-101.

7. Tu C.-Y., Marsch E., Wilhelm K., Curdt W. // Astrophys. J. 1998, v. 503, p. 475-482.
8. Wilhelm K., Dwivedi B., Marsch E., Hassler D. // Astrophys. J. 1998, v. 500, p. 1023-1040.
9. Berger J. H., Astron // Astrophys. 1991, v. 252, p. 369-376.
10. Vekstein G.E., Priest E.R. // Astrophys.J. 1992, v.384, p. 333-340.
11. Roumeliotis, G. // Astrophys. J. 1991, v. 379, p. 392-400.

## **GÜNƏŞ TACININ QIZMASINDA QEYRİ-İSTİLİK (TURBULENT) HƏRƏKƏTLƏRİNİN ROLU HAQQINDA**

**C.M.QULUZADƏ, S.H.MƏMMƏDOV, N.S.CƏLİLOV, Ə.ƏCƏBŞİRZADƏ**

### **XÜLASƏ**

Qeyri-istilik hərəkətləri Günəş tacının qızmasında rol oynayan mexanizmlərin dayanıqsızlığı nəticəsində əmələ gəlir. Aydınır ki, qeyri-istilik hərəkətlərinin enerjisi son nəticədə (komoqorov turbulensiyasında olan kimi) istiliyə çevrilir və yəqin ki, tacın şüalanmasını təmin edir. Ona görə də tacın qızmasında və şüalanmasında qeyri-istilik hərəkətlərinin mümkün rolunu aydınlaşdırmaq maraqlı kəsb edir. Bunu yoxlamaq üçün tacın eyni həcmində şüalanma, qeyri-istilik (turbulent) və istilik hərəkətlərinin enerji sıxlıqlarının turbulent hərəkət sürətlərindən asılılığı hesablanmışdır. Məlum olmuşdur ki, bu enerji sıxlıqlarının turbulent sürətlərindən asılılığı eyni xarakterlidir. Bunun əsasında nəticə çıxarılır ki, turbulent hərəkətlər tacın qızmasında xüsusi rol oynaya bilər.

**Açar sözlər: Günəş tacı. Turbulent hərəkətlər. Tacın qızması.**

## **ON THE ROLE OF NONTHERMAL (TURBULENT) MOTIONS IN THE HEATING OF THE SOLAR CORONA**

**D.M.QULUZADEH, S.G. MAMMADOV, N.S.JALILOV, A.AJABSHIRZADEH**

### **SUMMARY**

Nonthermal (turbulent) motions are the results of the non-stabilities of the majority of heating mechanisms of the solar Corona. It is obvious, that the energy of nonthermal motions ultimately turns into heat (as in the case of Kolmoqorov turbulence) and, apparently, causes the radiation of the Corona. Therefore, it is of interest to find out a possible role of nonthermal motions in the heating and radiation of the Corona. In order to check it we calculated the dependence of the energy densities of radiation, nonthermal and thermal motions in the layers of the Corona on velocities of the nonthermal (turbulent) motions in the same volumes. It was concluded that the specified energy densities vary identically on the nonthermal (turbulent) motion velocities. On the base of this we can summarize that the turbulent motions can play an essential role in heating the solar Corona.

**Key words: Solar Corona, turbulent motions, the heating of Corona.**