

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2019.03.034>

УДК 523.98

**В. Н. Криводубский**

Астрономическая обсерватория  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко  
ул. Обсерваторная 3, Киев, 04053, Украина  
krivod2@ukr.net

## **О роли МГД-турбулентности в уменьшении электропроводимости плазмы в активной магнитной области Солнца**

*Для преодоления затруднения эффективной диссипации токов в электромагнитных моделях вспышек, связанного с высокой газокинетической проводимостью солнечной плазмы, мы обращаем внимание на возможность локального уменьшения проводимости в местах сильно развитой МГД-турбулентности вблизи нейтральных линий фотосферных магнитных конфигураций. Мы предложили концепцию перераспределения электропроводности, которая базируется на следующих физических эффектах и известных из наблюдений условиях в солнечной атмосфере. 1. Уменьшение параметра электропроводности (увеличение резистивности) в турбулентной среде. 2. Магнитное подавление турбулентности под воздействием сильных магнитных полей. 3. Возбуждение крупномасштабного электрического поля макроскопическими движениями плазмы в фотосфере в присутствии магнитного поля (фотосферное динамо). 4. Наблюдаемая пространственная неоднородная структура магнитных конфигураций в окрестности групп солнечных пятен, которая приводит к формированию токовых слоев с нулевыми (нейтральными) силовыми линиями. Рассчитанные нами значения МГД-турбулентной проводимости вблизи нейтральных магнитных линий в фотосфере оказываются почти на три порядка величины меньше значений обычной газокинетической проводимости в местах сильных магнитных полей в окрестности солнечных пятен. Существенно пониженная проводимость в участках сильно развитой МГД-турбулентности может способствовать здесь ускоренной джоулевой диссипации тока, энергия которой согласуется с характеристиками тепловых вспышек.*  
**Ключевые слова:** Солнечные вспышки, магнитные поля, солнечные пятна, турбулентная электропроводность, электрические токи.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из первых, кто исследовал электромагнитную природу солнечных вспышек, был Р. Джioванелли [9—11]. Позже изучение электромагнитной природы вспышек продолжали многие исследователи [5—7, 12—14, 16, 20, 23, 25, 26, 28]. В этих исследованиях был достигнут значительный прогресс в объяснении наблюдаемого многообразия процессов, связанных со вспышками. В большинстве электромагнитных моделей вспышек для объяснения энерговыделения используется эффект диссипации сильных электрических токов. А. Северный [24] в результате магнитографических измерений установил, что в окрестности солнечных пятен величина токов может достигать значений  $I \sim 10^4$  CGSE. Однако эффективная диссипация токов затруднена из-за высокой газокINETической проводимости солнечной плазмы. Поэтому для преодоления этого затруднения исследователи обычно привлекают аномально пониженную проводимость (повышенное сопротивление). Вспышка может возникнуть лишь в том случае, если во вспышечной электрической цепи корона хромосфера фотосфера в силу каких-то причин быстро происходит значительно увеличение сопротивления [28]. Причина такого увеличения сопротивления цепи составляет одну из основных проблем моделей солнечных вспышек. Обычно полагают, что увеличение сопротивления обусловлено токовыми неустойчивостями мелкомасштабных волн (аномально высокое сопротивление турбулизованной плазмы). Однако условия возникновения токовых неустойчивостей на Солнце довольно жесткие [28], что ведет к многочисленным трудностям электромагнитных моделей солнечных вспышек. В частности, плотность тока в цепи значительно ниже порога развития мелкомасштабных неустойчивостей, которые приводят к возникновению аномально высокого сопротивления турбулизованной плазмы [28]. Цель нашей работы — поиск альтернативных причин увеличения сопротивления солнечной плазмы в ограниченных областях электрической цепи вспышки. Мы обращаем внимание на возможность локального увеличения сопротивления в местах вблизи нейтральных магнитных линий солнечных пятен, где согласно моделям фотосферного динамо находится «ядро вспышки». Такая возможность появляется в рамках эффекта макроскопической МГД, суть которого состоит в понижении электрической проводимости турбулентной среды [1, 17, 29].

## ВЛИЯНИЕ МГД-ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПРОВОДИМОСТЬ ПЛАЗМЫ

Поскольку турбулентность — типичное состояние космической плазмы, в частности, наблюдаемые движения на солнечной поверхности и конвекция в подфотосферных слоях имеют чрезвычайно нерегулярный (турбулентный) характер, то исследователи сосредото-

чили свои усилия на изучении механизмов влияния турбулентных движений на эволюцию и перестройку магнитных полей. Кроме того, сильно нестационарные процессы в астрофизических условиях часто сопровождаются плазменной турбулентностью. Для возбуждения плазменных кинетических явлений нужны особые условия (сильное излучение, пучки частиц и т. п.), которые совсем не редкость в космосе. Однако все же чаще там случается магнитогидродинамическая турбулентность, для которой характерны просто движения плазмы в магнитном поле. Именно МГД-турбулентность играет решающую роль в возбуждении и перестройке космического магнетизма [1, 17, 29]. Поэтому мы привлекаем к рассмотрению один из важных эффектов макроскопической МГД, суть которого состоит в существенном понижении проводимости турбулизованной плазмы по сравнению с газокинетической электропроводностью.

Предлагаемая концепция перераспределения проводимостей основана на следующих физических эффектах и известных из наблюдений условиях в солнечной атмосфере.

1. Уменьшение параметра электропроводности (увеличение резистивности) в турбулентной среде.
2. Магнитное подавление турбулентности сильными магнитными полями.
3. Возбуждение крупномасштабного электрического поля макроскопическими движениями плазмы в фотосфере при наличии магнитного поля в окрестности солнечных пятен (фотосферное динамо).
4. Наблюдаемая пространственная неоднородная структура магнитных конфигураций в окрестности групп солнечных пятен, которая приводит к формированию токовых слоев с нулевыми (нейтральными) магнитными полями.

Согласно работе [1] величина коэффициента турбулентной электропроводности  $\tau$  определяется выражением

$$\tau = \tau_0 / (1 + \tau_0 / m)^{1/2}, \quad (1)$$

где  $\tau_0 = (1/3)ul$  и  $m = c^2/(4\eta)$  — турбулентная вязкость и магнитная вязкость соответственно,  $u$  и  $l$  — эффективная скорость и характерный размер турбулентных пульсаций,  $\eta$  — обычная газокинетическая электропроводность плазмы,  $c$  — скорость света. Если для неглубоких подфотосферных слоев взять значения физических параметров из модели солнечной конвективной зоны [27], то значения рассчитанных коэффициентов вязкости  $\tau_0$  и  $m$  различаются более чем на шесть порядков величины:  $\tau_0 = 10^{12} \dots 10^{13} \text{ см}^2/\text{с}$ ,  $m = 10^4 \dots 10^6 \text{ см}^2/\text{с}$  [18, 19]. Поэтому  $(\tau_0 / m)^{1/2} \gg 1$ , в результате чего коэффициент турбулентной проводимости согласно выражению (1) будет значительно меньше коэффициента газокинетической электропроводности.

### ИНДУЦИРОВАННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ФОТОСФЕРНОГО ДИНАМО

Х. Сен и М. Уайт [23] для объяснения солнечных вспышек предложили механизм фотосферного динамо. Согласно этому механизму слабо ионизованный фотосферный слой в окружении солнечных пятен удовлетворяет условию динамо, приводящему к возбуждению системы фотосферных токов. Следует отметить, что Сен и Уайт предложили не классическую модель самосогласованного динамо, а упрощенный механизм динамо, основанный на простом правиле элементарного электричества, когда проводник, движущийся поперек магнитных силовых линий, создает электрическое поле

$$\mathbf{E}_0 = \mathbf{U} \times \mathbf{B}/c, \quad (2)$$

перпендикулярное как к магнитному полю  $\mathbf{B}$ , так и к вектору скорости  $\mathbf{U}$ . При этом Сен и Уайт принимали во внимание конвективные движения, хотя не исключали другие возможности возникновения индуцированного электрического поля (вращательные и вихревые движения).

Для эффективной работы этого механизма он должен действовать в области, где может быть большая скорость движений проводящей среды относительно магнитных силовых линий. Такая область усиленных механических движений находится в слабо ионизованной плазме фотосферы и нижней хромосферы. Вне этой области магнитные поля заморожены в плазму и движутся вместе с ней. Условия для возбуждения электрического поля оптимальны в окрестности солнечных пятен. При этом нагрев плазмы вследствие джоулевой диссипации токов и ускорение некоторого количества частиц происходят на небольшой высоте в области непосредственно примыкающей к пятну (область первичного энерговыделения). Поэтому предложенный механизм получил название «фотосферное динамо» [6, 13, 14, 23].

Проведем оценку индуцируемого электрического поля  $E_0$  фотосферного динамо. Принимая характерные значения скорости конвективных движений вещества ( $U \approx 3 \cdot 10^5$  см/с) и магнитного поля ( $B \approx 10$  Гс) в окрестности солнечных пятен [21] в результате расчетов получаем  $E_0 = UB/c \approx 10^4$  CGSE.

### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ И ТУРБУЛЕНТНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ

Источником энергии вспышек служат магнитные поля. Об этом свидетельствуют как расположения вспышек, так и наблюдаемые изменения магнитных полей во время вспышек. Вспышки появляются в местах, где велики градиенты магнитного поля: вблизи нейтральных

(нулевых) линий, разделяющих области разных магнитных полярностей в сложных конфигурациях поля [4, 21].

В работе Дж. Хейвартса, Э. Приста и Д. Раста [13] сделано предположение, что вспышка возникает при взаимодействии поднимающейся магнитной трубки с магнитным полем корональной арки, направление которого противоположно направлению поля восходящего магнитного потока. В области взаимодействия противоположно направленных магнитных полей формируется токовый слой, где происходит джоулева диссипация магнитных полей, которая сопровождается нагревом плазмы и ускорением частиц. Механизм быстрой диссипации магнитного поля основан на возникновении аномально высокого сопротивления (пониженной электропроводности), обусловленного ионно-звуковой турбулентностью. Однако из-за расширения токового слоя и повышения температуры электронов ионно-звуковая неустойчивость срывается, поэтому проводимость может уменьшиться по сравнению с газокинетической проводимостью не более чем в 10—30 раз, чего недостаточно для эффективной джоулевой диссипации магнитного поля [5]. Поэтому для объяснения быстрой диссипации магнитного поля мы, в отличие от идей работы [13], привлекаем МГД-турбулентность, которая приводит к более существенному понижению проводимости плазмы по сравнению с влиянием на проводимость ионно-звуковой турбулентности.

Общей чертой вспышек является их связь с движениями вещества. Наличие в сложных конфигурациях областей неоднородного поля, в которых сильные магнитные напряженности перемежаются с нейтральными магнитными слоями, создает благоприятные условия для образования участков с различной интенсивностью МГД-турбулентности.

В местах сильных магнитных полей ( $B \approx 3000$  Гс) активной области турбулентные движения в значительной степени будут подавляться этими полями, что почти нивелирует эффект влияния МГД-турбулентности на проводимость плазмы. Поэтому здесь проводящие свойства плазмы можно описать величиной, близкой к газокинетической проводимости  $\sigma_0$ . Вместе с тем в местах с нулевым магнитным полем турбулентность не подавлена. В результате здесь влияние турбулентности на проводимость должно проявиться в полной мере. В связи с этим проводимость плазмы в этих участках будет носить турбулентный характер и описываться параметром  $\sigma_T$  ( $\ll \sigma_0$ ).

Таким образом, благоприятные условия в солнечной плазме для турбулентного понижения электропроводности должны создаваться в местах слабых магнитных полей, в первую очередь вблизи нейтральных линий магнитного поля. Обычно формирование участков с нулевыми магнитными полями описывается как процесс пересоединения магнитных силовых линий [22]. В связи с этим отметим, что в результате аннигиляции полей магнитная энергия превращается в тепловую, за счет которой может поддерживаться режим турбулентных движе-

ний или даже увеличиваться их интенсивность. Это может дополнительно способствовать эффекту уменьшения проводимости плазмы.

Итак, неоднородные магнитные поля в фотосфере, которые приводят к образованию неоднородной турбулентности, в конечном итоге должны способствовать формированию участков с различными величинами проводимости плазмы.

Проведем анализ коэффициентов проводимостей. Газокинетическая проводимость вычислялась по формуле [15]:

$$\lg \kappa = 15.00 + 0.93 \lg(P_e/P), \quad (3)$$

где  $P_e$  и  $P$  — электронное и полное давление солнечной плазмы, значения которых брались из модели фотосферы [8]. В результате проведенных расчетов [2, 3] получены следующие значения для коэффициентов классической проводимости  $\kappa$  и магнитной вязкости  $\eta$ :

$$10^{11} \text{ CGSE}, \quad \eta = 7 \cdot 10^8 \text{ см}^2/\text{с}. \quad (4)$$

Именно такие значения параметров  $\kappa$  и  $\eta$  характерны для областей в окрестности солнечных пятен, где МГД-турбулентность подавлена сильными магнитными полями ( $B = 3000$  Гс). Посмотрим теперь, к чему приводит учет развитой МГД-турбулентности в местах нулевых магнитных силовых линий (где  $B = 0$ ). Для этого воспользуемся параметрами турбулентности из модели фотосферы [8]:

$$\begin{aligned} u &= 3.3 \cdot 10^5 \text{ см/с}, \\ l &= 2 \cdot 10^8 \text{ см}, \\ \tau &= (1/3)ul = 6.6 \cdot 10^{13} \text{ см}^2/\text{с}. \end{aligned}$$

В результате расчетов согласно выражению (1) находим, что значение МГД-турбулентной проводимости

$$\kappa_T = 3 \cdot 10^8 \text{ CGSE} \quad (5)$$

оказывается почти на три порядка меньше значения коэффициента классической газокинетической проводимости  $10^{11} \text{ CGSE}$ .

#### ДЖОУЛЕВА ДИССИПАЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОГО» ТОКА

В этом случае вблизи нулевых магнитных линий устанавливается «турбулентный» ток

$$j_T = \tau E_0 = 3 \cdot 10^4 \text{ CGSE}, \quad (6)$$

значение которого согласуется с оценкой токов в окрестности пятен, полученной А. Северным [24] из магнитографических измерений. Принимая протяженность участка пониженной турбулентной проводимости  $r$  равной примерно  $10^8$  см (примерный размер «ядра вспышки» в фотосфере [21]), находим, что характерное время джоулевой диссипации этого тока

$$t_0 = 4 \pi r^2 / c^2 \quad (7)$$

составляет примерно  $4 \cdot 10^4$  с. Оценим энергию джоулевой диссипации тока в области фотосферного динамо. Следуя методике [23], полагаем объем области динамо  $V$  равным  $1.4 \cdot 10^{25}$  см<sup>3</sup> (толщина слоя динамо в работе [23] принималась примерно равной фотосферной шкале высот 140 км, а площадь соответствовала площади пятна  $10^{18}$  см<sup>2</sup>). В таком случае величина энергии джоулевой диссипации «турбулентного» тока  $j_T$  за время  $t_0$  составляет:

$$= (j_T^2 / \sigma_T) V t_0 \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ эрг}, \quad (8)$$

что достаточно для обеспечения энергией субвспышек и вспышек средней мощности.

Таким образом, существенно пониженная проводимость в участках сильно развитой МГД-турбулентности вблизи нейтральных магнитных линий вследствие ускоренной здесь диссипации тока может способствовать энерговыделению, соизмеримому с энергетикой вспышек средней мощности. Полученные оценки времени и энергии джоулевой диссипации удовлетворительно согласуются с характеристиками так называемых тепловых вспышек (наблюдаемых в оптическом диапазоне медленно развивающиеся вспышечных явлений) [21].

## ВЫВОДЫ

Мы предложили сценарий перераспределения параметра электропроводности в активной области Солнца вблизи нейтральных магнитных линий с учетом турбулентности и неоднородности магнитного поля. Предложенная концепция базируется на следующих физических эффектах и известных из наблюдений условиях в солнечной атмосфере.

1. Уменьшение параметра электропроводности (увеличение резистивности) в турбулентной среде.
2. Магнитное подавление турбулентности под воздействием сильных магнитных полей.
3. Возбуждение крупномасштабного электрического поля макроскопическими движениями плазмы в фотосфере при наличии слабого общего магнитного поля Солнца (фотосферное динамо).
4. Наблюдаемая пространственная неоднородная структура магнитных конфигураций в окрестности групп солнечных пятен, которая приводит к формированию токовых слоев с нулевыми (нейтральными) магнитными полями.

В результате проведенных нами расчетов найдено, что значение коэффициента МГД-турбулентной проводимости в фотосфере вблизи нулевых линий магнитных конфигураций оказывается почти на три порядка величины меньше значения коэффициента классической электропроводности в местах сильных магнитных полей в окрестнос-

ти солнечных пятен. Существенно пониженная проводимость в участках сильно развитой МГД-турбулентности может способствовать здесь ускоренной джоулевой диссипации тока, энергия которой согласуется с характеристиками тепловых вспышек.

Полученный результат может быть интересен для модели вспышки на основе пересоединяющихся электрических токов, поскольку в этой модели для прерывания электрических токов достаточно локального увеличения сопротивления (уменьшения проводимости) в области магнитного пересоединения [26].

1. Вайнштейн С. И., Зельдович Я. Б., Рузмайкин А. А. Турбулентное динамо в астрофизике. М.: Наука, 1980. 352 с.
2. Криводубский В. Н. Электропроводность вещества в подфотосферных слоях Солнца. *Пробл. космич. физ.* 1973. 8. С. 3—15.
3. Криводубский В. Н. О турбулентной проводимости и магнитной проницаемости солнечной плазмы. *Солнеч. данные.* 1982. № 7. С. 99—109.
4. Обридко В. Н. Солнечные пятна и комплексы активности. М.: Наука, 1985. 255 с.
5. Степанов А. В. Основные модели вспышек // Плазменная гелиогеофизика. Т.1. / Ред. Л. М. Зеленый, И. С. Веселовский. М.: Физматлит, 2008. 672 с.
6. Akasofu S.-I. An electric-current description of solar flares. *Astrophys. Space Sci.* 1988. 144, N 1-2. P. 303—309.
7. Alfvén H., Carlqvist P. Currents in the solar atmosphere and a theory of solar flares. *Solar Phys.* 1967. 1, N 2. P. 220—228.
8. Gingerich O., Noyes R. W., Kalkofen W., Cuny Y. The Harvard-Smithsonian reference atmosphere. *Solar Phys.* 1971. 18, N 3. P. 347—365.
9. Giovanelli R. G. A theory of chromospheric flares. *Nature.* 1946. 158. P. 81—82.
10. Giovanelli R. G. Magnetic and electric phenomena in the Sun's atmosphere associated with sunspot. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1947. 107. P. 338—355.
11. Giovanelli R.G. Chromospheric flares. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1948. 108. P. 163—176.
12. Gold T., Hoyle F. On the origin of solar flares. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1960. 120. P. 89—105.
13. Heyvaerts J., Priest E., Rust D. An emerging flux model for the solar flare phenomenon. *Astrophys. J.* 1977. 216. P. 213—231.
14. Kan J. R., Akasofu S.-I., Lee L. C. A dynamo theory of solar flares. *Solar Phys.* 1983. 84. P. 153—167.
15. Копецкий М., Ку克林 Г.В. On a more precise calculation of the electric conductivity in the photosphere and in sunspot. *Solar Phys.* 1969. 6, N 2. P. 241—250.
16. Kosovichev A. G., Zharkova V. V. Magnetic energy release and transients in the solar flare of 2000 July 14. *Astrophys. J.* 1991. 550, N 1. P. L105—L108.
17. Krause F., Rädler K.-H. Mean field magnetohydrodynamics and dynamo theory. Oxford: Pergamon Press, Ltd., 1980. 271 p.
18. Krivodubskij V. N. Turbulent dynamo near tachocline and reconstruction of azimuthal magnetic field in the solar convection zone. *Astron. Nachr.* 2005. 326, N 1. P. 61—74.
19. Krivodubskij V.N. Turbulent effects of sunspot magnetic field reconstruction. *Kinematics and Phys. Celest. Bodies.* 2012. 28, N 5. P. 232—238.
20. Melrose D. B. Solar flares – Current dissipation or magnetic annihilation? *Australian J. Phys.* 1993. 46, N 1. P. 167—193.
21. Priest E. R. Solar magnetohydrodynamics. Dordrecht: D. Reidel Company, 1982. 471 p.



22. Priest E., Forbes T. Magnetic reconnection: MHD theory and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
23. Sen H. K., White M. L. A. Physical mechanism for the production of solar flares. *Solar Phys.* 1972. 23, N 1. P. 146—154.
24. Severny A. B. Solar magnetic fields. *Space Sci. Rev.* 1964. 3. P. 451—486.
25. Somov B. V. Physical processes in solar flares. Dordrecht, Boston: Kluwer Akad. Publ., 1992.
26. Somov B. V. On the magnetic reconnection of electric currents in solar flares. *Astron. Lett.* 2012. 38, N 2. P. 128—138.
27. Stix M. The Sun. 2nd edition. Berlin: Springer-Verlag. 2002.
28. Zaitsev V. V., Stepanov A. V. On the dynamo theory of solar flares. *Sov. Astron.* 1991. 35, N 2. P. 189—193.
29. Zeldovich Ya. B., Ruzmaikin A. A., Sokoloff D. D. Magnetic fields in astrophysics. New York: Gordon and Breach, 1983.

*V. N. Krivodubskij*

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ПРО РОЛЬ МГД-ТУРБУЛЕНТНОСТІ  
У ЗМЕНШЕННІ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ПЛАЗМИ  
В АКТИВНІЙ МАГНІТНІЙ ОБЛАСТІ СОНЦЯ

Для подолання труднощів ефективної дисипації струмів у електромагнітних моделях спалахів, пов'язаних з високою газокінетичною електропровідністю сонячної плазми, ми звертаємо увагу на можливість локального зменшення провідності у місцях сильно розвинутої МГД-турбулентності поблизу нейтральних ліній фотосферних магнітних конфігурацій. Ми пропонуємо концепцію перерозподілу електропровідності, яка базується на таких фізичних ефектах і відомих із спостережень умовах в сонячній атмосфері. 1. Зменшення параметра електропровідності (збільшення резистивності) в турбулентному середовищі. 2. Магнітне пригнічення турбулентності під впливом сильних магнітних полів. 3. Збудження великомасштабного електричного поля макроскопічними рухами плазми у фотосфері при наявності магнітного поля (фотосферне динамо). 4. Спостережена просторова неоднорідна структура магнітних конфігурацій в околі груп сонячних плям, яка призводить до формування струмових шарів з нульовими (нейтральними) силовими лініями. Розраховані нами значення МГД-турбулентної провідності поблизу нейтральних магнітних ліній у фотосфері виявляються майже на три порядки величини меншими від значень звичайної газокінетичної провідності у місцях сильних магнітних полів у околі сонячних плям. Істотно знижена провідність в ділянках сильно розвинутої МГД-турбулентності може сприяти тут прискореній джоулеві дисипації струму, енергія якої узгоджується з характеристиками теплових спалахів.

**Ключові слова:** сонячні спалахи, магнітні поля, сонячні плями, турбулентна електропровідність, електроструми.

*V. N. Krivodubskij*

Astronomical observatory, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

ON THE ROLE OF MHD TURBULENCE  
IN THE DECREASE OF ELECTRIC CONDUCTIVITY OF PLASMA  
IN THE ACTIVE MAGNETIC AREA OF THE SUN

To overcome the difficulty of effective dissipation of currents in electromagnetic flare model associated with the high gas-kinetic conductivity of solar plasma, we draw attention

to the possibility of a local decrease in the conductivity in places of highly developed MHD-turbulence near the neutral lines of photospheric magnetic configurations. We proposed the concept of redistribution of electrical conductivity, which is based on the following physical effects and the conditions known from observations in the solar atmosphere: 1. Reducing of the electrical conductivity parameter (increasing of the resistivity) in a turbulent medium. 2. Magnetic suppression of turbulence under the influence of strong magnetic fields. 3. Excitation of a large-scale electric field by macroscopic plasma motions in the photosphere in the presence of a magnetic field (photospheric dynamo). 4. The observing spatial inhomogeneous structure of magnetic configurations in the vicinity of sunspot groups, which leads to the formation of current layers with zero (neutral) magnetic fields lines. The values of the MHD turbulent conductivity near neutral magnetic lines in the photosphere that we calculated turn out to be almost 3 orders of magnitude smaller than the values of the usual gas-kinetic conductivity in the places of strong magnetic fields in the vicinity of sunspots. Significantly reduced conductivity in the areas of highly developed MHD turbulence can contribute here to accelerated Joule current dissipation, whose energy is consistent with the characteristics of thermal flares.

**Keywords:** solar flares, magnetic fields, sunspots, turbulent electrical conductivity, electric currents.

Стаття надійшла до редакції 26.12.2018

Після доробки 12.02.2019

Прийнята до друку 21.02.2019