

В. Криводубский, д-р физ.-мат. наук,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Основная проблема электромагнитных моделей вспышек на Солнце состоит в том, что в условиях высокой электропроводности солнечной плазмы трудно обеспечить эффективное энерговыделение в результате джоулевой диссипации токов в "ядре вспышки". Для объяснения скорой диссипации электрических токов мы рассмотрели эффект уменьшения величины электропроводности в турбулентной среде. В местах нулевого магнитного поля в фотосфере (соответствующих "ядру вспышки"), где нет подавления турбулентности магнетизмом, проводимость будет турбулентной по своей природе. В то же время в окрестности пятен вне "ядра вспышки" турбулентные движения в значительной степени подавлены сильными магнитными полями ($B \approx 3000$ Гс), что почти нивелирует эффект влияния турбулентности на проводимость плазмы. Поэтому здесь электропроводность будет газокинетической, а ее величина значительно превысит турбулентную проводимость. Рассчитанная нами турбулентная проводимость в фотосфере $\sigma_T \approx 5 \cdot 10^8$ CGSE оказалась на 2-3 порядка меньше газокинетической проводимости $\approx \sigma \approx 10^{11}$ CGSE (в местах сильных магнитных полей). Обнаруженные участки аномально низкой турбулентной проводимости в местах нулевых магнитных линий сложных конфигураций групп солнечных пятен могут способствовать ускоренной диссипации токов, которая обеспечивает эффективное тепловое энерговыделение вспышек.

Кратко рассматривается проблема циркуляции двух токов в электрической цепи корона – фотосфера. Согласно модели фотосферного динамо конвективные движения на фотосферном уровне возбуждают электрическое поле величиной $E_0 \approx 10^4$ CGSE. В таком случае во внешних участках (по отношению к области "ядра вспышки") электрической цепи фотосфера – корона в местах сильных магнитных полей, где турбулентность почти подавлена, величина тока будет составлять $j_a = \sigma E_0 \approx 10^7$ CGSE. Вместе с тем в области "ядра вспышки", где нейтральные магнитные поля не влияют на турбулентность, величина тока будет значительно меньше: $j_T \approx \sigma_T E_0 \approx 5 \cdot 10^4$ CGSE. Существование в электрической цепи корона – фотосфера двух участков с различными величинами токов может способствовать пространственному разделению зарядов, что, в свою очередь, может быть полезным при дальнейшей разработке электромагнитных моделей вспышки.

Ключевые слова: солнечные вспышки, магнитные поля, солнечные пятна, турбулентная электропроводность, электроток.

V. Krivodubskij, Dr.Sci.,
Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF PLASMA IN MAGNETIC CONFIGURATIONS OF THE SUNSPOTS

The main problem of electromagnetic models of flares on the Sun is that in conditions of high electrical conductivity of the solar plasma it is difficult to provide an effective energy release as a result of Joule dissipation of currents in the "kernel of the flare". In order to explain the rapid dissipation of electric currents in the "kernel of the flare", we, within the framework of macroscopic magnetohydrodynamics, have considered the effect of reducing the electrical conductivity in a turbulent environment. The idea of redistribution of the electrical conductivity in groups of sunspots with complex magnetic field configuration is proposed. The proposed concept for the redistribution of electrical conductivity is based on the following physical effects and well-known observational conditions in the solar atmosphere. 1. Decreasing of the electrical conductivity (increase in the resistivity) in a turbulent environment. 2. Magnetic inhibition of the turbulence under the influence of magnetic fields. 3. Excitation of a large-scale electric field by macroscopic movements of the plasma in the photosphere in the presence of a weak general magnetic field of the Sun (photosphere dynamo). 4. Observed spatial heterogeneous structure of magnetic configurations in the vicinity of groups of sunspots, which leads to the formation of the current layers with the zero (neutral) magnetic fields.

In the places of the zero magnetic field in the photosphere (which correspond to the "kernel of the flare"), where there is no suppression of turbulence by magnetism, the conductivity is turbulent in the nature. At the same time, in the vicinity of the sunspots outside the "kernel of the flare", turbulent motions are largely suppressed by strong magnetic fields ($B \approx 3000$ G), which almost alleviates the effect of the influence of turbulence on the conductivity of the plasma. Therefore, the electrical conductivity here will be gas-kinetic in the nature, the value of which greatly exceeds the turbulent conductivity. The turbulent conductivity calculated by us in the photosphere $\sigma_T \approx 5 \cdot 10^8$ CGSE turned out to be 2-3 orders of magnitude smaller than the gas-kinetic conductivity $\sigma \approx 10^{11}$ CGSE (in the places of strong magnetic fields). The discovered areas of the abnormal reduced turbulent conductivity in the places of the zero magnetic lines of complex configurations of the sunspot groups can contribute to the efficient dissipation of the electric currents, which provides efficient thermal energy release of the flares.

The problem of circulation of two currents in the electric circuit of the corona-photosphere is briefly considered. According to the model of the photosphere dynamo, the convective movements on the photosphere level excite an electric field of magnitude $E_0 \approx 10^4$ CGSE. In this case, in external areas (in relation to the region of the "kernel of the flare") of the electric circuit of the corona-photosphere in the places of strong magnetic fields, where the turbulence is almost suppressed, the value of the current will be $j_a = \sigma E_0 \approx 10^7$ CGSE. At the same time, in the area of the "kernel of the flare", where neutral magnetic fields do not affect turbulence, the current value will be much smaller: $j_T \approx \sigma_T E_0 \approx 5 \cdot 10^4$ CGSE. The existence of two sections with different currents in the electric circle of the corona-photosphere may contribute to the spatial division of charges, which in turn may be useful in the further development of the electromagnetic models of the flare.

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

УДК 51-71

С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук,
Астрономічна обсерваторія
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ПРИ СТАТИСТИЧНОМУ ОПРАЦЮВАННІ АСТРОНОМІЧНИХ ДАНИХ

Аналізуються проблеми, що виникають при коректному статистичному опрацюванні астрономічних даних та пошуку лінійних статистичних залежностей. Показано, що застосування стандартних статистичних програм може дати хибні результати. Із залученням багаторічного досвіду запропоновано процедуру опрацювання, що охоплює всі етапи: створення вибірки, відкидання промахів, пошук статистично значущих регресорів, установлення багатопараметричних залежностей.

Вступ. Ця стаття є методологічною і присвячена переліку потенційних пасток, які підстерігають науковця при статистичному опрацюванні даних спостережень. Конкретніше, ми обговорюємо проблему встановлення кількісної залежності деякої величини Y від чинників X_i , які можуть потенційно впливати на неї, тобто маємо певний набір значень величини Y , які ми позначимо Y_k , у N точках $k = 1, 2, \dots, N$ та набори величин X_i , які ми позначимо як $X_{i,k}$, що їм відповідають. Усі вони отримані зі спостережень та належним чином скоректовані. Треба вирішити, які саме чинники

X_i є статистично значущими та як саме залежить від них величина Y . Для наочності ми обмежимося випадком пошуку лінійної залежності типу

$$Y = \sum_{k=1}^M C_k Y_k, \quad (1)$$

оминувши нелінійні залежності, які слід опрацьовувати за методом максимальної правдоподібності чи більш складними способами.

Є велика кількість стандартних програм та пакетів програм, які мають робити це автоматично і якими користуються багато астрономів. Але слід пам'ятати, що результати роботи таких універсальних програм статистичного опрацювання можуть потерпати від певних проблем, пов'язаних із їхніми особливостями. При цьому науковець може бути впевнений, що все виконано коректно, зроблено правильно. Тому зробимо короткий огляд цих проблем.

Процедура. Перші з них починаються ще до етапу статистичної обробки. Перед цим є сенс обміркувати отриману вибірку. Чи є вона повною? Що саме її обмежує? Часто це світність або відстань до об'єктів. Варто поміркувати, чи вплине селекція на результат обробки. Інколи має сенс опрацьовувати не повну вибірку, а її підвибірку, що має більшу повноту, або кілька таких підвбірок, обмежених різними значеннями якогось параметра, тобто зробити оптимальний вибір між обсягом та мірою повноти вибірки.

Після визначення, яку саме вибірку будемо опрацьовувати, слід обговорити відбір даних. Часто серед масиву даних є такі, які при стандартних значеннях X_i , k дуже відхиляються за величиною Y_k . Це можуть бути просто промахи або значні похибки та відхилення при спостереженні. Чи можна відкидати такі дані? Як вирішити, це елементарна помилка чи результат статистичного розкиду? Інколи доцільно за можливості ще раз подивитися на об'єкт спостереження або навіть перемерити дані. Але інколи це вже неможливо, особливо якщо ми говоримо про дуже велику вибірку. Тоді треба вирішувати на етапі уточнення вибірки для опрацювання.

Зрозуміло, що якщо, наприклад, 2 % вибірки мають відхилення на рівні не менше 5σ , то це неможливо пояснити розкидом. Зазвичай такі дані з великими відхиленнями відкидають. Припустимо, що ми викинули всі спостереження, які відхиляються більше ніж на $p\sigma$, де p – деяка стала величина, а σ – довірчий інтервал. Тоді постають два питання: відхиляють від чого саме та як вибрати величину p ?

Відхилення від середнього слід розглядати тільки тоді, коли є підстави вважати, що Y має бути сталою. У загальному випадку треба розглядати відхилення від апроксимації, тобто спочатку після відкидання явних промахів ми будемо регресійну криву, отриману за допомогою статистичного аналізу решти вибірки, та її довірчий інтервал, а потім дивимось на те, у скільки разів відхилення перевищує цей інтервал для кожного даного. Тільки тепер можна відкидати точки із занадто великим відхиленням. Не рекомендується брати величину p менше за 2.5, інакше це може призвести до замивання слабких залежностей. Це підтверджується результатами математичного моделювання та застосування методу Монте-Карло, наведеними в роботі [1]. Ще краще зробити відкидання у два етапи. Спочатку відкинути дані, використовуючи попереднє значення $p_1 > p$, потім для тих даних, що залишились, знайти нову регресію та вже остаточно відкинути дані, застосувавши остаточно величину p . Чи має сенс ще раз повторити відкидання, оскільки величина σ після відкидання зменшилась? Не раджу це робити і зовсім не раджу повторювати цю процедуру до збійності.

Тепер ми маємо вибірку для опрацювання. Час вирішити, що саме ми будемо апроксимувати у вигляді (1) – Y чи якусь функцію від Y ? Регресійний аналіз зазвичай базується на припущенні про гауссів розподіл відхилень та похибок. Але деякі величини в астрономії мають інший розподіл, наприклад лог-нормальний. Для них природним вибором буде апроксимація величини $\ln(Y)$ або $\lg(Y)$.

Ми дійшли до багатовимірного лінійного регресійного аналізу [2, 3]. За його допомогою ми знайдемо величини, похибки (точніше матрицю похибок та кореляцій) і статистичну значущість за Фішером для кожного регресора у залежності (1). Деталі див. у [4]. Регресори зі значущістю, меншею за деяку порогову, можна відкинути і повторювати відкидання до отримання остаточної залежності. Але тут теж є підводні камені. Наприклад, якщо як незалежні регресори використовують дві величини, що мають велику лінійну кореляцію, то тест Фішера дає низьку значущість для обох і їх можуть відкинути одночасно. Деякі методи та програми, що використовуються для обернення матриці Фішера, наприклад за методом singular-value decomposition (SVD) [5], дають можливість це відстежувати, але інші, наприклад метод Гаусса – Жордана, потребують ретельного контролю з боку користувача. Загалом метод SVD допомагає виявити групи регресорів, близьких до пов'язаних лінійною залежністю. Інші методи вимагають відкидати несуттєві регресори поодиноці або маленькими групами.

Крім того, зазвичай одним із регресорів є константа. З огляду на те, що краще мати справу з регресорами, що є ортогональними між собою на множині точок, корисно шукати залежності не від деякої величини f , а від величини $f - \bar{f}$, де риска зверху позначає середнє значення для даної вибірки.

Після цього етапу ми маємо перелік значущих регресорів, їхніх коефіцієнтів та їхніх похибок. Але справу ще не завершено. Слід поміркувати, чи на отриманий результат не мала впливу селекція даних або ефект Малмквіста. Приклад суттєвого впливу ефекту, спорідненого Malmquist bias, див. у статті [6]. Варто вирішити, чи не могли корекція або інші деталі первинного опрацювання призвести до помилкової залежності від деяких регресорів. У роботі [7] для компактних галактик з активним зореутворенням було виявлено статистично значущу залежність частки теплого компонента у радіоконтинуумі від їхнього індексу кольору. Але цю значущість не виявлено для більш рафінованої підвбірки, з якої вилучено галактики з великою поправкою за апертурою. Причина в тому, що як поправка на апертуру, так і індекс кольору застосовують сильно зкорельовані величини, що й зумовлює виявлену статистичну залежність. Обмеження області відхилення цих величин значно зменшує вплив цього ефекту.

Чого не можна робити в жодному разі, так це шукати статистично значущі регресори за залежністю Y від одного регресора X_i . Регресори зазвичай сильно зкорельовані між собою, тому залежність тільки від одного регресора нічого не доводить.

Ці рекомендації базуються на багаторічному досвіді застосування статистичних методів у астрономії.

Висновок. Ми розглянули процедуру пошуку залежностей вигляду (1) астрономічних спостережних величин від різних факторів. Вона базується на багатовимірному статистичному аналізі. На кожному етапі (відбір даних, пошук значущих регресорів, аналіз результатів) вона передбачає певну ітераційну процедуру та контроль із боку користувача. Застосування стандартних статистичних програм може натомість інколи ввести в оману.

Список літератури

1. Parnovsky S. L. Yet another sample of RFGC galaxies / S. L. Parnovsky, A. S. Parnovsky // *Astrophysics and Space Science*. – 2013. – V. 343. – P. 747–754.
2. Fisher R. A. *Statistical Methods for Research Workers* / R. A. Fisher. – London : Oliver and Boyd, 1954.
3. Себер Дж. *Линейный регрессионный анализ* / Дж. Себер // М. : Мир, 1980. – 456 с.
4. Худсон Д. *Статистика для физиков* / Д. Худсон // М. : Мир, 1970; Hudson D. J. *Statistics Lectures on Elementary Statistics and Probability* / D. J. Hudson. – Geneva : CERN, 1964.
5. *Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing* / W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery. – 1st edition. – Cambridge University Press, 1986.
6. Parnovsky S. L. Influence of measurement errors on the cosmological deceleration parameter obtained from the semirelativistic model of collective galactic motion / S. L. Parnovsky, A. S. Parnovsky // *Journal of Physical Studies*. – 2010. – V. 14, № 3. – 3901.
7. Parnovsky S. *Compact star-forming galaxies: the fraction of thermal emission in the radio continuum at 1.4 GHz* / S. Parnovsky, I. Izotova // *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Астрономія*. – 2018. – V. 57(1). – P. 41–46.

Надійшла до редколегії 18.10.19

С. Парновский, д-р физ.-мат. наук,
Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Анализируются проблемы, возникающие при корректной статистической обработке астрономических данных и поиске линейных статистических зависимостей. Показано, что применение стандартных статистических программ может дать неверные результаты. Предложена процедура обработки, охватывающая все этапы: создание выборки, отбрасывание промахов, поиск статистически значимых регрессоров, установление многопараметрических зависимостей, основанная на многолетнем опыте.

S. Parnovsky, Dr.Sci.,
Astronomical Observatory,
Taras Shevchenko National University of Kyiv

SOME PROBLEMS IN THE STATISTICAL PROCESSING OF ASTRONOMIC DATA

The problems that could arise with a correct statistical processing of astronomical data and a search for linear statistical dependences are analyzed. It has been shown that the use of standard statistical software can yield incorrect results. The iterative procedure of processing based on multi-year experience is proposed. It covers all stages: creation of sampling, discarding of outliers, search for statistically significant regressors, excluding insignificant regressors, finding out multiparametric dependencies and their analysis, etc. This paper is a methodological one and is it describes some potential traps in the statistical processing of observational data.

We forewarn against some actions that may lead to data selection or to incorrect conclusions about the influence of some factors on the quantity being studied. Some examples of problems associated with data selection, correlation between regressors, Malmquist bias and correction are given.

УДК 523.682.2, 523.683, 523.68-36, 681.785.55

О. Голубасв, канд. фіз.-мат. наук,
Науково-дослідний інститут астрономії
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Харків,
А. Мозгова, канд. фіз.-мат. наук,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРНИХ ЯВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДЕОСПЕКТРАЛЬНОГО МЕТЕОРНОГО ПАТРУЛЯ ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

У 2018 році було розроблено і сконструйовано спостережний комплекс (автоматизований відеоспектральний метеорний патруль (АВСМП)) у НДІ астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна для отримання кінематичних і фізичних характеристик метеорних тіл та їхніх спектрів. Проведено тестування камер у режимі астрономічних спостережень із метою виявити технічні можливості пристрою. У даній роботі представлено деякі перші результати спостережень, виконаних за допомогою АВСМП. Створений спостережний комплекс призначений розширити матеріальну, наукову, а також навчально-наукову бази НДІ астрономії. Він використовуєватиметься у навчальному процесі на кафедрі астрономії та космічної інформатики ХНУ імені В. Н. Каразіна під час проведення практичних і лабораторних занять, виконання бакалаврських і магістерських робіт та розробки новітніх методик дистанційного дослідження астрономічних об'єктів Сонячної системи.

У серпні 2019 року виконано перші базисні спостереження метеорного потоку Персеїди за допомогою АВСМП. На Чугуївській спостережній станції НДІ астрономії, де розташовано комплекс, зафіксовано 225 відео фрагментів з метеорами в інтегральному світлі та 98 відео зі спектрами метеорів. У Харкові на допоміжну відеокамеру отримано 132 відео з метеорами в інтегральному світлі. Серед отриманого спостережного відеоматеріалу 98 метеорів, зафіксованих у інтегральному світлі, є базисними, ще 40 відео фрагментів зі спектрів метеорів мають відповідні базисні спостереження в інтегральному світлі.

Ключові слова: метеорний патруль, метеор, метеороїд, спектр метеора, хімічний склад метеороїдів.

Вступ. У практиці Науково-дослідного інституту астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна до цього часу майже не використовувались методи метеорної астрономії для вивчення речовини Сонячної системи. Проте ці методи дають додатково багато нових та унікальних наукових можливостей. Так, метеоро-