

Б.М. Усеинов<sup>1</sup>, А.А. Солодовник<sup>1</sup>, Н.М. Алимова<sup>1</sup>, А.М. Жукешов<sup>2</sup>, Б.М. Ибраев<sup>2</sup>,  
А.У. Амренова<sup>2</sup>, А.Т. Габдуллина<sup>2</sup>, Ж.М. Молдабеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева,  
Казахстан, г. Петропавловск

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы  
e-mail: amrenova.asem77@gmail.com

## МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ В РАМКАХ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМО- ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА «ПЛАЗМЕННЫЙ ФОКУС»

**Аннотация.** В работе на основе анализа теоретических моделей образования солнечных вспышек, предлагается концептуальный модельный подход, основанный на протекания солнечной вспышки с процессами в электрической цепи. Одним из наиболее близких по ряду параметров к солнечным вспышкам являются процессы эволюции плазменных объектов в установке «Плазменный фокус». На основе физически обоснованного сходства процессов, протекающих в плазменном фокусе и солнечной вспышке выявлены закономерности, позволяющие проследить изменение температуры плазмы в зависимости от изменения рабочих параметров установки. В итоге получены параметры модели соответствующие максимальному приближению к реальным условиям. С использованием программного языка C++ приведены расчёты и анализ зависимости температуры от параметров установки: массы газа и скорости налетающих частиц, сопротивления нагрузки в плазменном фокусе. Доказано, что физическую модель солнечной вспышки «Электрическая цепь» возможно реализовать на существующей материальной базе установки плазменного фокуса с учётом масштабирования вспышечного процесса. Графики зависимости температуры вспышек от скорости частиц, сопротивления контура свидетельствуют об идентичности солнечной вспышки и плазменного фокуса. Полученные данные не противоречат реальным данным и имеют относительное совпадение в процессе протекания нестационарных процессов, процессах формирования энергетического всплеска.

**Ключевые слова:** солнечные вспышки, плазменный фокус, разрядный ток, индуктивность контура, скорость налетающих частиц, температура, энерговыделение, электрическая цепь, давление.

### Введение

Солнце как центральное тело нашей Солнечной Системы всегда привлекало научный интерес человека. Являясь, по сути, источником жизни на Земле, Солнце модулирует различные процессы, протекающие в атмосфере и в магнитном поле Земли, посредством солнечно-земных связей. Энергетическим источником осуществления последних, являются такие процессы как солнечные вспышки, эруптивные протуберанцы, корональные выбросы. Это обстоятельство обуславливают **актуальность** нашего исследования, которую дополнительно усиливает отсутствие такой физически точной модели происхождения и формирования солнечных вспышек, которую можно было бы реализовать экспе-

риментально. Наиболее перспективны в этом отношении импульсные плазменные ускорители, представляющие интерес для экспериментаторов не только как объекты прикладных исследований, но и в качестве модельных установок для исследования процессов, происходящих в космических объектах. В данной работе предлагается использовать экспериментальный термо-ядерный реактор "плазменный фокус" для изучения процессов образования солнечных вспышек.

### Модель исследования

Для того чтобы физически адекватно изучать недостижимые в земных условиях процессы, важно создать идеальную модель процесса, которая бы соответствовало

его объяснению с точки зрения известных физических законов, а позже усложняя и совершенствуя эту модель, приближать ее к реальным условиям.

Поставив целью обобщить модель солнечной вспышки, и приняв во внимание особенности управляемого термоядерного реактора «Плазменный фокус», имеет смысл провести сравнительный анализ на физическую совместимость по определенным параметрам этих двух объектов исследования. Для критериального сравнения мы рассмотрели четыре ключевых параметра: механизм протекания процесса, рабочий материал, наличие нейтронного выхода, параметрических данных, необходимых для протекания процесса образования плазмы [1-3]. Результат сравнительного анализа представлен в таблице 1.

Таблица 1. Взаимосвязь ПФ и солнечной вспышки.

Плазменный фокус	Солнечная вспышка
<b>Механизм образования</b>	
При разряде конденсаторной батареи по изолятору между электродами проходит электрический ток и образуется токоплазменная оболочка. Эта оболочка «всхлопывает» в плотное пинчевое образование при контакте с веществом	Конвергентные течения способствуют сжатию фотосферной плазмы, а сдвиговые течения – растянуть. В результате такого взаимодействия образуется свободная магнитная энергия, «способствующая» вспышечному процессу – «всхлопывания» плазмы.
<b>Параметры</b>	
$I_{max}=10^6$ А, $T=10^6$ К, $v=10^8$ см/с, $n=10^{18}$ см <sup>-3</sup>	$I_{max}=10^6$ А, $T=10^7$ К, $v=10^7$ см/с, $n=10^{17}$ см <sup>-3</sup>
<b>Нейтронный выход</b>	
присутствует	присутствует
<b>«Рабочий материал»</b>	
дейтерий или дейтерий-третиевая смесь	водородная плазма

Как видим, параметры установки плазменного фокуса очень близки к пара-

метрам солнечных вспышек, что дает все основания утверждать о возможности использования её в изучении солнечных вспышек.

Если проводить аналогию механизма образования солнечной вспышки с электрической цепью, то следует обратить внимание на два обстоятельства, о которых упоминается в источнике [4]:

- вспышка – это нестационарный процесс, для описания энерговыделения которого нельзя использовать закон Ома в его классическом выражении:

$$j = s \cdot E \quad (1)$$

- важно учитывать, что главную роль в диссипации энергии электрического тока во время вспышки принадлежит нейтральной компоненте плазмы, за счёт, соударения ионов с нейтралами.

Рассмотрим модель корональной магнитной арки, в узлах конвективных структур которой, расположены основания ячеек супергранул с характерным размером  $R_0 \approx 30$  тыс. км и со скоростью конвекции порядка 0.1-0.3 км/с. Появляющаяся благодаря конвективным движениям в фотосфере ЭДС поддерживает электрический ток, протекающий в арке от одного основания до другого и замыкающийся над фотосферой. Расчеты показывают, что при скорости конвекции около 0.1 км/с радиус сформировавшейся трубки приближается к  $10^3$  км, магнитное поле на высоте 500 км над фотосферой на оси арки характеризуется индукцией около  $2 \times 10^3$  Гс, а ток  $3 \times 10^{11}$  А. Индуктивность вспышечной арки, определяемая ее геометрией, достигает величины большей 10 Гн. Энергия электрического тока, запасенная в её контуре составляет величину порядка  $5 \times 10^{22}$  -  $5 \times 10^{24}$  Дж [5-9]. Это вполне соответствует энерговыделению вспышки, причиной которой является желобковая неустойчивость хромосферы. Схема корональной арки представлена на рисунке 1.

Магнитная арка с током обладает активным сопротивлением R, индуктивностью L, и ёмкостью C. Поэтому малые колебания тока в арке можно описать на языке колебаний RLC-контур с емкостью, зависящей от величины электрического тока по закону:

$$C(I) = \frac{\pi * a^4 * \rho}{l * I^2} \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность плазмы,  $l$  – длина арки.

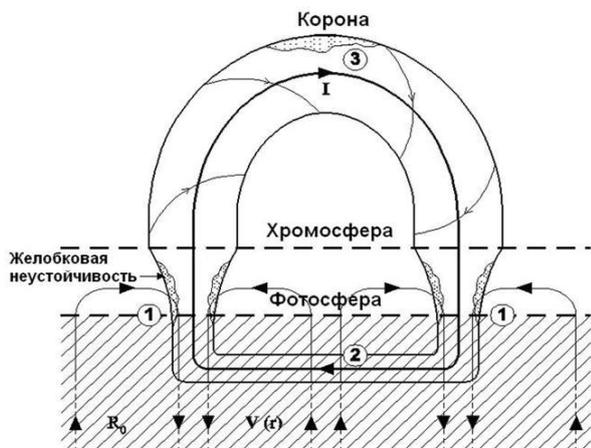


Рисунок 1 – Модель корональной арки с током

Период колебаний определяется формулой:

$$P = 2 * \pi * \sqrt{L * C(I)} \quad (4)$$

$$\approx 10 I_{11} C$$

Отсюда появляется возможность определения величины электрического тока во вспышке по периоду колебаний.

Поскольку, «плазменный фокус» это электрическая цепь, в которой энергетический запас сосредоточен в конденсаторной батарее, есть смысл утверждать о законе сохранения энергии в следующем виде:

$$\frac{C * U^2}{2} = \frac{m * v^2}{2} + k * T \quad (5)$$

приняв  $k=1$  и учитывая, что изменение скорости происходит по закону:

$$v = v_m * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (6)$$

где  $\tau=R*C$  (нагрузка).

Подставив значение (5) в (4) и выразив  $T$ , получим:

$$T \quad (7)$$

$$= \frac{C * U^2 - m * v_m^2 * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})^2}{2}$$

По данной закономерности, есть возможность проследить изменение температуры в зависимости от изменяющихся па-

раметров установки и добиться максимального приближения к реальным условиям.

### Результаты эксперимента

Реальные эксперименты проводились на управляемом термоядерном реакторе «Плазменный фокус» в Национальной нанотехнологической лаборатории открытого типа Физико-технического факультета КазНУ им.Аль-Фараби, а компьютерное моделирование проводилось на базе кафедры «Физика» СКГУ им.М.Козыбаева.

Для моделирования физики процесса солнечной вспышки мы использовали программный язык C++, который имеет, на наш взгляд, хорошие возможности для визуализации результатов и выполнение быстрых расчетов больших массивов данных и имеет понятный интерфейс.

Согласно выведенной формуле (6), было осуществлено компьютерное моделирование зависимости температуры плазмы от массы газа, скорости движения частиц, параметров установки «Плазменный фокус», результаты которого представлены на рисунках 2 и 3.

Уменьшение массы газа «приводит» к стандартным размерам установки, а «поведение» температуры плазмы падает более реалистично и сходится с параметра действительной солнечной вспышки, то есть температура соответствует  $10^3$ К.

Увеличение значения сопротивления установки приводит к уменьшению температуры практически в 1,5 раза, что еще более сильно приближает значение температуры к реальным параметрам поверхностной температуры.

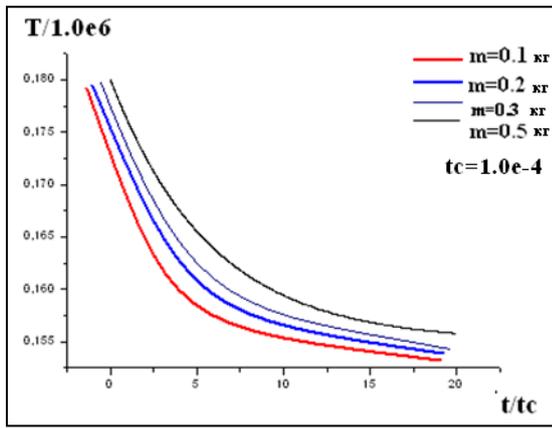


Рисунок 2 – Зависимость  $T$  от массы газа

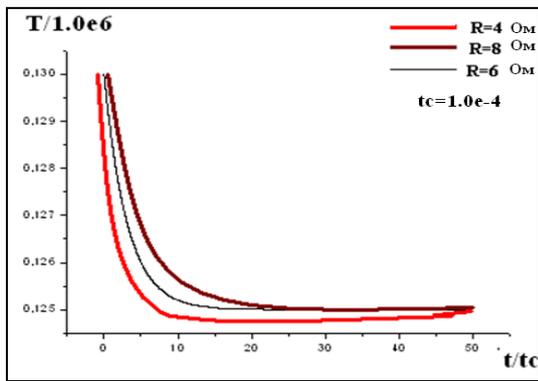


Рисунок 3 – Зависимость  $T$  от параметров установки

Изменяя параметры установки, мы задались вопросом, каким образом давление в плазменном фокусе будет влиять на значение скорости частиц и получили следующие результаты, представленные на рисунке 4

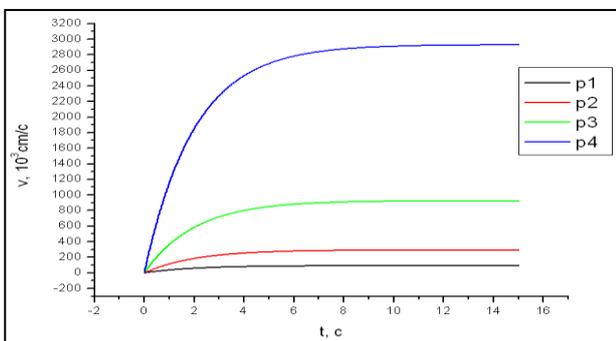


Рисунок 4 – Зависимости скорости плазменного сгустка от давления

Как видно из рисунка, значение скорости во всех случаях растет постепенно, достигая своего определенного насыще-

ния, подобно плазменным частицам в солнечной вспышке, в которой частицы за счет джоулевого тепла постепенно увеличивают свою скорость и в момент взрывного процесса достигают своей конечной скорости, улетая за пределы Солнца в виде солнечного ветра.

Используя значения полученной скорости, провели моделирование зависимости температуры плазменного сгустка от скорости частиц, которые будут взаимодействовать между собой. Результаты моделирования представлены на рисунке 5.

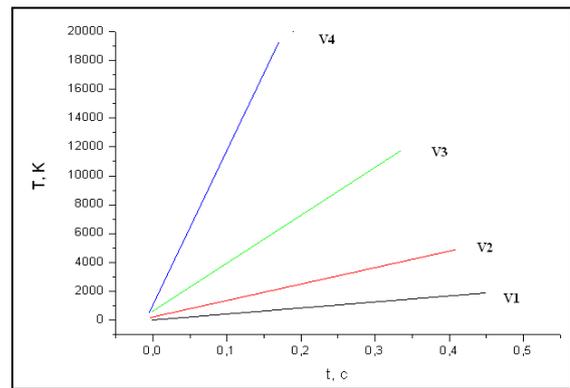


Рисунок 5 – Зависимость температуры плазменного сгустка от скорости налетающих частиц

Как видно из рисунка, температурный выход сильно зависит от скорости налетающих частиц. Самым оптимальным значением считается случай при скорости  $V_4$ , что соответствует минимальному давлению в плазменном фокусе.

Поскольку плазменный фокус представляет собой колебательный контур, для идеализации физических процессов образования вспышки в плазменном фокусе, мы решили прибегнуть к масштабированию солнечной вспышки и размеров плазменного фокуса. Как уже отмечалось ранее для возникновения солнечной вспышки согласно модели «электрическая цепь» значение сопротивления должно быть практически равным нулю, то есть соответствовать размыканию цепи и явлению короткого замыкания, а индуктивность самой в такой модели должна быть не менее 10 Гн, что в реальных условиях конечно не осуществимо. Если считать, что наша цель не реализация масштабности вспышки, а

лишь исследование физических параметров плазменного фокуса для реализации моделирования солнечной вспышки, мы решили принять стандартные значения индуктивности катушки плазменного фокуса в пределах  $10^{-9}$  Гн [10-13]. Результаты представлены на рисунке 6

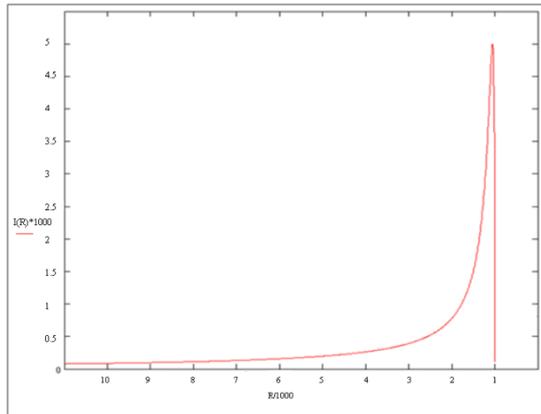


Рисунок 6 Зависимость силы тока от значения сопротивления контура

Как видно из рисунка 6 изменение значения сопротивления до нулевого значения приводит сначала к резкому возрастанию тока, а затем уменьшению его значения – размыкание тока, данный момент соответствует взрыву в токовом слое или ситуации короткого замыкания в цепи. Изменение значения индуктивности в катушке на 3 порядка приводит к уменьшению максимального тока в 2 раза и увеличению значения сопротивления в цепи на один порядок. На рисунке 6 представлена графическая зависимость этой ситуации. Из графика видно, что резкого прекращения тока не происходит, а наблюдается постепенное обнуление его значения, что подтверждает аналогию плазменного фокуса с солнечной вспышкой, когда наблюдается постепенный спад энергетического выхода, то есть когда происходит серия последовательных ослабевающих вспышек. Вычисления для зависимостей, представленных на рисунках 7 и 8, проводились по формулам:

$$I = \frac{E}{\sqrt{(R * f)^2 + (\omega * L - \frac{1}{\omega * C})^2}} \quad (8)$$

$$f = \frac{M * V * p}{R * T} \quad (9)$$

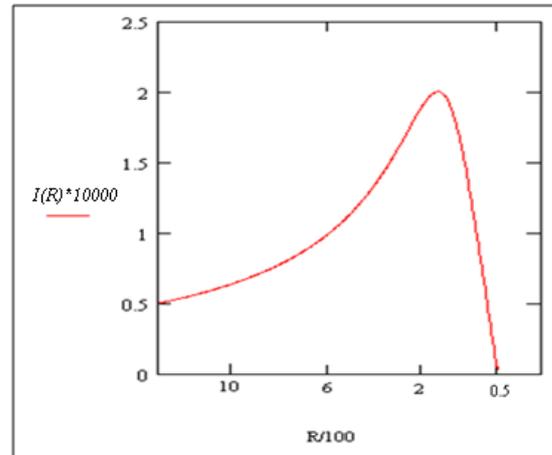


Рисунок 7 – Зависимость силы тока от параметров контура.

#### Анализ результатов исследования и выводы

В результате вариации различных ситуаций в основной модели «электрическая цепь» выраженных в изменении параметров установки: изменение сопротивления в плазменном фокусе, количество рабочего вещества и изменение скорости налетающих частиц, получены результаты, которые имеют место в идеализированной модели солнечной вспышки. Судить об этом можно, если провести сравнительный анализ следующих данных, полученных со спутников RHESSI и обработанных специалистами Астрофизического Института им. В. Г. Фесенкова и представленных на рисунке 8 [14-20].

Как видно из рисунка, выделено три области (временные отрезки отсчитываются по плазменному фокусу) от 0 до 7 секунд, от 7 до 25 секунд и от 25 секунд до 32 секунд. На этих участках наблюдаются наибольшие совпадения теоретических и реальных результатов. В данном случае происходит сравнение величин, различающихся наименованием, что может вызвать вопросы. Однако, и температурный показатель, и значение силы электрического тока напрямую связаны с энергетическим выходом. Поскольку задача моделирования ситуации сводилась к поиску про-

цессов, сходных с природными и доказательству возможности изучения солнечных вспышек на установке «Плазменный фокус», то сравнение именно этих параметров является правомерным.

Отметим, что средний период процессов, протекающих в области реальной вспышки составляет 65 с, а в плазменном фокусе 10 мкс. Разделив временной показатель солнечной вспышки на значение квазипериода для плазменного фокуса получаем значение так называемого коэффициента отличия  $65 \cdot 10^5$ . Поскольку размеры стандартного плазменного фокуса около 1 метра, то умножив коэффициент отличия на значение длины плазменного фокуса, можно получить приблизительные размеры солнечной вспышки около 6,5 тыс км, что вполне реально поскольку длина средней арки  $10^{10}$  см.

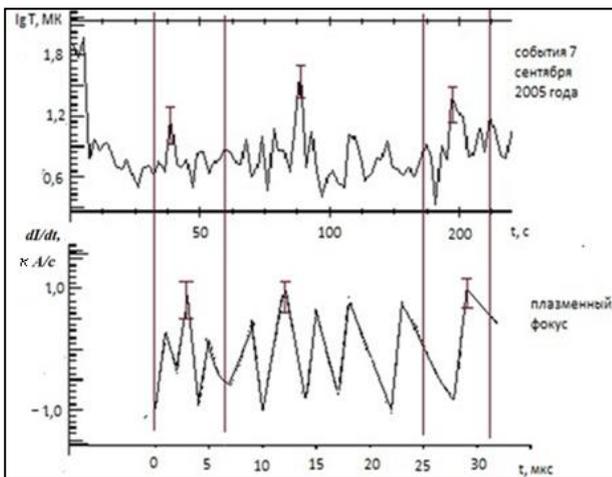


Рисунок 8 – Логарифмическая зависимость температуры солнечной вспышки 7 сентября 2005 года и осциллограмма производной силы тока плазменного фокуса

Кроме этого, сравнивались результаты, полученные от солнечной активности со 2 по 4 ноября 2003 года, представленные на рисунке 9 (Приложение А) часть а и теоретическая зависимость силы тока от изменяющегося сопротивления в плазменном фокусе [20]. На левой части рисунка представлены энергетические спектры для ионов четырех веществ Н, He, O, и Fe в предвспышечных и вспышечных потоках событий 2003 года. Поскольку рабочим

веществом в плазменном фокусе в нашей модели был дейтерий, то мы сравниваем кривую соответствующую водороду. Как видно, в 8 часов 2 ноября значение частиц водорода (средняя часть графика) происходящих на  $\text{см}^2$  колеблется в области значения 10, в 21 час это значение уже изменилось до значения  $10^0$  и 4 ноября в 3 часа (момент вспышки) это значение в области  $10^{-1}$ , что говорит о постепенном накоплении энергии и формированию максимума при минимальном значении ионов вещества соударяющихся на единице площади, что может быть объяснено «желобковой неустойчивостью» модели солнечной вспышки «электрическая цепь», о которой мы говорили выше. В свою очередь, путем идеализации процессов протекающих в плазменном фокусе, мы получили результаты, которые близки к реальным данным в том, что изменяя количество рабочего вещества, получается максимум (короткое замыкание) значения силы тока [21-25].

Произведем оценку реальной близости представленных процессов: в результате перевода значения максимума силы тока в электронную температуру, пользуясь формулой

$$T = \frac{I^2}{2\pi c^2 a_1^2 k n_e} \quad (10)$$

Получим значение температуры порядка  $10^6$  К, при этом можно округлить значение энергии из расчета  $1 \text{ эВ} \approx 10^4$  К. Тогда конечное значение будет соответствовать энергии 0,1 кэВ, коэффициент отличия составит  $10^4$ , такое расхождение опять можно объяснить масштабами происходящих процессов, но визуально прослеживается схожая морфология процессов накопления и выделения энергии в обоих процессах.

Таким образом, можно сделать вывод, что физически концептуальная модель солнечной вспышки «электрическая цепь» нашла свою возможность реализации на базе ПФ с учетом масштабирования вспышечного процесса к реальным установкам ПФ. В результате моделирования были получены данные, которые не противоречат реальным данным и имеют относительное совпадение в процессе протекания неста-

ционных процессов, процессах формирования энергетического всплеска.

**Список литературы:**

1. Hagen E.C., Lowe D., O'Brien R., Molnar S., Meehan B.T. // IEEE PPS 2013 Conf., San Francisco, California, USA. 2013. 7BB1
2. Zhukeshov A. M., Amrenova A.U., Gabdullina A.T., Ibraev B.M. A plasma Formation in Pulsed Coaxial Gun at Continuously Filling Regime // American Journal of Physics and Applications. – 2013. – Vol. 1, No. 1. – P. 5-9.
3. Eric J. Lerner, Syed M. Hassan, Ivana Karamitsos, and Fred Von Roessel // Confined ion energy >200 keV and increased fusion yield in a DPF with monolith tungsten electrodes and pre-ionization. Physics of Plasmas **24**, 102708 (2017); <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4989859>
4. A.M. Zhukeshov, B.M. Useinov, A.T. Gabdullina, A.U. Amrenova, K. Serik, г. Астана, с.90 // The 21st International Symposium on Heavy Ion Inertial Fusion | July 18-22, 2016 | Astana, Kazakhstan
5. A. Zhukeshov, A. Amrenova, A. Gabdullina, Z. Moldabekov . Pulsed plasma accelerator for steel samples surface modification // Thes. Of 43 Int. Conf. IEEE ICOPS–Banff, Canada June 19-23, 2016
6. А. Ю. Дидык, А. А. Ерискин, Г. Г. Бондаренко, В. Я. Никулин, П. В. Силин, И. В. Волобуев, А. Н. Тихонов, В. С. Куликаускас, В. Белоус, Я. Васяк, Е. Хаевска. «Распределение дейтерия и водорода в вольфрамовых фольгах при облучении импульсной высокотемпературной плазмой» // Перспективные материалы, - 2016 № 4, 28-35.
7. С. Н. Полухин, А. М. Джаманкулов, А. Е. Гурей, В. Я. Никулин, Е. Н. Перегудова, П. В. Силин, «Измерение лазерно-оптическим методом скорости плазменных струй, генерируемых в килоджоульном Плазменном фокусе для различных газов» // Физика плазмы, 2016, том 42, № 12, с. 54–60.
8. Майоров А.Н., Никулин В.Я., Огинов А.В., Жукешов А.М. Исследование аксиальных плазменных потоков в установке типа плазменный фокус ПФ-4 // Краткие сообщения по физике Физического института им. П.Н. Лебедева Российской Академии Наук. – 2015. – № 7. – С. 3-13.
9. В. Я. Никулин, В. Н. Колокольцев, В. С. Куликаускас и др. Изучение методом резерфордовского обратного рассеяния распределения элементов в пленках, напыленных на установке типа «Плазменный Фокус». // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования - 2017, № 1, с. 1–6
10. Жукешов А.М., Ибраев Б.М., Гиниятова Ш.Г., Амренова А. У. Разработка разрядной камеры экспериментальной установки «Плазменный фокус» // Вестник ЕНУ, 2016, №2, с 386 - 389
11. Вихрев В.В., Суслин С.В. — В сб.: XLII Межд. Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 2015 г., с. 180.
12. Mikhalyaev V.B., Ruderman M.S., Naga Varun E. // Geomagnetism and Aeronomy, 2016, v. 56, № 8, p. 1040.
13. С.С. Ананьев, С.В. Суслин, А.М. Харрасов *Вопросы атомной науки и техники*, т. 39, вып. 2, с. 69 —80 (2016).
14. Мячин Д. Ю. «Структура и развитие внепятенных солнечных вспышек»: диссертация кан. Физ.-мат. Наук. Иркутск, 2015. 214 с.
15. Abramov-Maximov V., Borovik V., Oreikina L., Tlatov A. *Solar. Phys.*, 290, 53, 2015.
16. Соловьев А.А. и др. Труды конф. ССЗФ-2017 (настоящий сборник), ГАО РАН, 2017.
17. Avakyan S.V., Gaponov V.A., Nicol'skii G.A., Solov'ev A.A., Possibilities of the forecast of generation of the high energy solar protons for the safety of Mars mission // *Acta Astro-nautica*, 2017, 135, 1, 187–191.
18. Mittal N. et al., 2016, *New Astronomy*, 47, 64.
19. Abramov-Maximov V., Borovik V., Oreikina L., Tlatov A. *Solar Phys.*, 290, 53, 2015.
20. GOES-15 // [http://www.n3kl.org/sun/noaa\\_archive/](http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive/)

21. V.M. Bogod, L.V. Yasnov. Determination of the Structure of the Coronal Magnetic Field Using Microwave Polarization Measurements // *Solar Phys.*, v. 291, N. 11, pp. 3317–3328 (2016).  
 22. Soto L. et al. — *Physics of Plasmas*, 2014, vol. 21, p. 122703.  
 23. Fossat, E., Boumier, P., Corbard, T. et al. (всего 14 авторов), Asymptotic g modes: Evidence for a rapid rotation of the solar core. (2017) *A&A*, 604, A40.

24. Strekalova P.V., Nagovitsyn Y.A., Riehoainen A, Smirnova V.V. Long-Period Variations in the Magnetic Field of Small-Scale Solar Structures // *Ge&A.*, 2016, V. 56, P. 1–8.  
 25. Tlatov A.G.; Skorbezh N.N.; Ershov V.N. // *ASP Conference Series*, V. 504, p. 237, 2016.

Принято к печати 23.08.2019

Приложение А

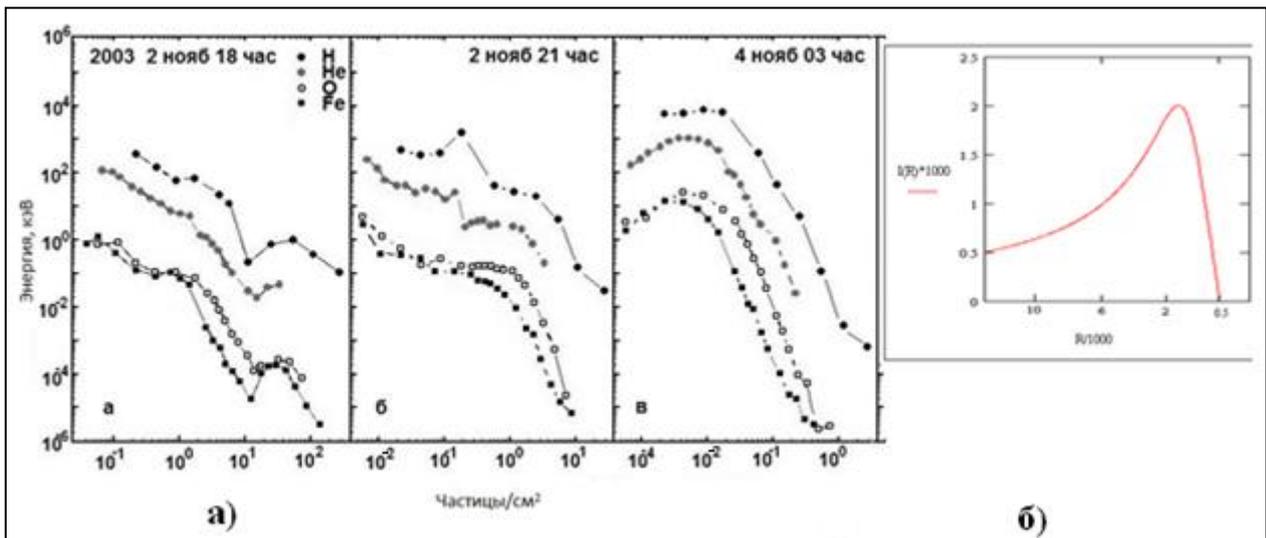


Рисунок 8. Энергетические спектры веществ в вспышечных потоках 2-4 ноября 2003 года и зависимость силы тока от параметров колебательного контура

(10)

**Б.М. Усеинов<sup>1</sup>, А.А. Солодовник<sup>1</sup>, Н.М. Алимова<sup>1</sup>, А.М. Жукешов<sup>2</sup>, Б.М. Ибраев<sup>2</sup>, А.У. Амренова<sup>2</sup>, А.Т. Габдуллина<sup>2</sup>, Ж.М. Молдабеков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Казахстан, г. Петропавловск

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы  
 e-mail: amrenova.ase77@gmail.com

**МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ В РАМКАХ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМО-ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА «ПЛАЗМЕННЫЙ ФОКУС»**

**Аннотация.** В работе на основе анализа теоретических моделей образования солнечных вспышек, предлагается концептуальный модельный подход, основанный на протекания солнечной вспышки с процессами в электрической цепи. Одним из наиболее близких по ряду параметров к солнечным вспышкам являются процессы эволюции плазменных объектов в установке «Плазменный фокус». На основе физически обоснованного сходства процессов, протекающих в плазменном фокусе и солнечной вспышке выявлены закономерности, позволяющие проследить изменение температуры плазмы в зависимости от изменения рабочих параметров установки. В итоге получены параметры модели соответствующие максималь-

ному приближению к реальным условиям. С использованием программного языка C++ приведены расчёты и анализ зависимости температуры от параметров установки: массы газа и скорости налетающих частиц, сопротивления нагрузки в плазменном фокусе. Доказано, что физическую модель солнечной вспышки «Электрическая цепь» возможно реализовать на существующей материальной базе установки плазменного фокуса с учётом масштабирования вспышечного процесса. Графики зависимости температуры вспышек от скорости частиц, сопротивления контура свидетельствуют об идентичности солнечной вспышки и плазменного фокуса. Полученные данные не противоречат реальным данным и имеют относительное совпадение в процессе протекания нестационарных процессов, процессах формирования энергетического всплеска.

**Ключевые слова:** солнечные вспышки, плазменный фокус, разрядный ток, индуктивность контура, скорость налетающих частиц, температура, энерговыделение, электрическая цепь, давление.

**B.M. Useinov<sup>1</sup>, Solodovnik<sup>1</sup> A.A., Alimova<sup>1</sup>, N.M., Zhukeshov<sup>2</sup> A.M., <sup>2</sup>Amrenova<sup>2</sup> A.U.  
Zh.M. Moldabekov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*M. Kozybayev North Kazakhstan state university, Kazakhstan, Petropavlovsk*

<sup>2</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty*

e-mail: [buseinov@gmail.com](mailto:buseinov@gmail.com)

## **SOLAR FLARE MODEL IN A CONTROLLED FUSION REACTOR “PLASMA FOCUS”**

**Abstract.** Based on the analysis of theoretical models of the formation of solar flares, a conceptual model approach based on the occurrence of a solar flare with processes in an electric circuit is proposed. One of the closest parameters to solar flares in a number of parameters is the evolution of plasma objects in the Plasma Focus setup. Based on the physically justified similarity of the processes occurring in the plasma focus and the solar flare, regularities are revealed that make it possible to trace the change in the plasma temperature depending on the change in the operating parameters of the setup. As a result, the model parameters corresponding to the maximum approximation to real conditions are obtained. Using the C ++ programming language, calculations and analysis of the temperature dependence on the installation parameters are given: gas mass and speed of incident particles, load resistance in the plasma focus. It is proved that the physical model of the solar flare “Electric circuit” can be implemented on the existing material base of the plasma focus setup taking into account the scaling of the flare process. Graphs of the dependence of the temperature of the flashes on the particle velocity, circuit resistance indicate the identity of the solar flare and plasma focus. The data obtained do not contradict real data and have a relative coincidence in the process of unsteady processes, in the processes of formation of an energy surge.

**Keywords:** solar flares, plasma focus, discharge current, circuit inductance, speed of incident particles, temperature, energy release, electric circuit, pressure.

Б.М. Усеинов<sup>1</sup>, А.А. Солодовник<sup>1</sup>, Н.М. Алимова<sup>1</sup>, А.М. Жукешов<sup>2</sup>, Б.М. Ибраев<sup>2</sup>, А.У. Амренова<sup>2</sup>, А.Т. Габдуллина<sup>2</sup>, Ж.М. Молдабеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Қазақстан, Петропавлов қ.

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.  
e-mail: buseinov@gmail.com

## «ПЛАЗМАЛЫҚ ФОКУСТЫҚ» БАСҚАРЫЛАТЫН ТЕРМОЯДРОЛЫҚ РЕАКТОР ШЕҢБЕРІНДЕГІ КҮН АЛАУЫНЫҢ МОДЕЛІ

**Аннотация.** Күн жарығының пайда болуының теориялық модельдерін талдау негізінде электр тізбегіндегі процестермен күн жарығының пайда болуына негізделген тұжырымдамалық модельдік тәсіл ұсынылған. Бірнеше параметрлердегі күн оттарына ең жақын параметрлердің бірі - бұл Плазма Фокус қондырғысындағы плазма нысандарының эволюциясы. Плазмалық фокуста және күн сәулесінің әсерінен болатын процестердің физикалық негізделген ұқсастығына сүйене отырып, қондырғының жұмыс параметрлерінің өзгеруіне байланысты плазма температурасының өзгеруін бақылауға мүмкіндік беретін заңдылықтар анықталды. Нәтижесінде нақты жағдайларға максималды жақындауға сәйкес келетін модель параметрлері алынады. С ++ бағдарламалау тілін қолдану арқылы есептеу параметрлеріне және қондырғы параметрлеріне температураның тәуелділігіне талдау жасалады: газ массасы және оқшауланған бөлшектердің жылдамдығы, плазмалық фокуста жүктеме кедергісі. «Электр тізбегі» күн жарығының физикалық моделін алау процесінің масштабын ескере отырып, плазмалық фокустық қондырғының қолда бар материалдық базасында қолдануға болатындығы дәлелденді. Жыпылықтайтын температураның бөлшектердің жылдамдығына, электр тізбегіне тұрақтылығының графикасы күн алауы мен плазмалық фокустың сәйкестігін көрсетеді. Алынған мәліметтер нақты мәліметтерге қайшы келмейді және тұрақсыз процестерде, энергетикалық толқындардың пайда болу процесінде салыстырмалы сәйкес келеді.

**Түйін сөздер:** күн жарқылы, плазмалық фокус, разряд тогы, тізбектің индуктивтілігі, оқшауланған бөлшектердің жылдамдығы, температура, энергияның шығуы, электр тізбегі, қысым.