

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СВЕРХЛЕГКИХ СКАЛЯРНЫХ БОЗОНОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

Мирзоева И.К.

Мирзоева Ирина Константиновна - кандидат физико-математических наук, ведущий сотрудник
Институт космических исследований РАН,
г. Москва

Аннотация: предложен метод выявления перманентно рождающихся из вакуума Эйнштейна-Глинера сверхлегких скалярных бозонов с массой $m_0 \approx 3 \times 10^{-66}$ г. Рассмотрено применение метода обнаружения сверхлегких скалярных бозонов на основе предположения о существовании у них ненулевого магнитного момента и возможности расщепления в магнитном поле такого бозона на два фотона, имеющих нулевой суммарный импульс. Использованы данные миссий Интербол-Хвостовой зонд, GOES, RHESSI, XMM-Newton. **Ключевые слова:** сверхлегкие скалярные бозоны, фотоны, вакуум, магнитное поле, ненулевой магнитный момент, рентгеновское излучение.

A METHOD FOR DETECTING ULTRALIGHT SCALAR BOSONS IN THE COSMIC PLASMA

Mirzoeva I.K.

Mirzoeva Irina Konstantinovna - Candidate of Physical and Mathematical Science,
SPACE RESEARCH INSTITUTE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
MOSCOW

Abstract: A method is proposed for detecting ultralight scalar bosons with a mass of $m_0 \approx 3 \times 10^{-66}$ g that are permanently born from the Einstein-Gleaner vacuum. The application of the method for detecting ultralight scalar bosons is considered based on the assumption that they have a nonzero magnetic moment and the possibility of splitting such a boson into two photons with zero total momentum in a magnetic field. Data from the Interball missions -Tail Probe, GOES, RHESSI, XMM-Newton - were used.

Keywords: ultralight scalar bosons, photons, vacuum, magnetic field, nonzero magnetic moment, X-ray radiation.

ВВЕДЕНИЕ

В [1] на основании развития представлений о вакууме [2]-[4] и обобщения решения работы [5] на случай ненулевого космологического члена предложена модификация уравнений Общей теории относительности (МОТО), которая допускает точное решение без сингулярности Большого взрыва и соответствует данным наблюдений ускоренного расширения Вселенной, без использования каких-либо подгоночных параметров.

Этому решению уравнений МОТО соответствует постоянная средняя плотность обычной материи в расширяющейся Вселенной и перманентное рождение из вакуума сверхлегких скалярных бозонов, имеющих массу $m_0 \approx 3 \times 10^{-66}$ г.

Развитие в [1] гидродинамической идеи работы Е.А. Новикова [6] о том, что пространство-время может характеризоваться не только кривизной, но и сжимаемостью позволило вывести общие уравнения МОТО и получить для них частное точное решение, не содержащее свободных подгоночных параметров. Именно это дало возможность установить и точное решение для указанной выше конкретной величины массы скалярного бозона, которое непосредственно следует из сопоставления решения уравнений МОТО с обобщением решения уравнений квантовой теории гравитации работы [5], получаемым при учете ненулевого значения космологической постоянной, которая предполагалась нулевой в [5]. В последующих работах [7]-[10] решение, полученное в [1] и описывающее неограниченное Большим взрывом в прошлом расширение Вселенной, при перманентном рождении из вакуума сверхлегких скалярных бозонов, используется как для новой теории формирования фонового микроволнового излучения (ФМИ) [8], так и для понимания механизма происхождения космических лучей [9] и гравитационных волн [10].

В частности, в [8] оценка температуры ФМИ делается на основе предположения о существовании ненулевого магнитного момента скалярного бозона, а также на основе его оценки исходя из данных наблюдений. вариации интенсивности рентгеновского фона плазмы солнечной короны в диапазоне энергий 2-6 кэВ, которые подтверждены исследованиями рентгеновского фона плазмы околоземной магнитосферы на международной космической обсерватории XMM-Newton.

При этом также предполагается, что в магнитном поле сверхлегкий скалярный бозон будет распадаться на два фотона противоположной спиральности при нулевом суммарном импульсе. Поскольку магнитные поля существуют практически везде во Вселенной, то по этой причине сверхлегкие скалярные бозоны в своем первоначальном виде наблюдаться не будут. Однако, должны наблюдаться косвенные эффекты, связанные с рождением сверхлегких скалярных бозонов и с последующем их распадом.

В следующем параграфе рассмотрены работы, в которых в связи с проблемой обнаружения темной материи уже предприняты попытки выявления других сверхлегких частиц - аксионов, которые имеют

большую массу по сравнению с массой скалярных бозонов, соответствующих точному решению, полученному в [1].

В третьем параграфе приведены выводы работы [8] относящиеся к возможности валидации альтернативы известным аксионам и другим аксионоподобным сверхлегким частицам в виде скалярных бозонов работы [1], так же приводятся некоторые методы для обнаружения сверхлегких скалярных бозонов экспериментальным путем.

СКАЛЯРНЫЕ БОЗОНЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА СОЛНЕЧНЫХ АКСИОНОВ

Поиск темной материи является одной из ключевых проблем современной астрофизики. Одним из кандидатов на роль темной материи предлагаются аксионы – гипотетические псевдоскалярные элементарные частицы, электрически нейтральные, участвующие в электромагнитном и гравитационном взаимодействиях. В оригинальной теории масса аксиона предполагалась достаточно большой - 100 кэВ. В дальнейшем, появились предположения, что аксионы должны быть частицами малой массы - 0,02 эВ - это стало главным их отличием от WIMP-ов (Weakly Interacting Massive Particles – Слабо Взаимодействующие Массивные частицы) – другого кандидата на роль темной материи. Все частицы, подобные аксионам и называемые общим термином WISP (Weakly Interacting Slim Particles – Слабо Взаимодействующие Легкие частицы), как предполагается, имеют очень маленькую массу и слабо взаимодействуют с другими частицами [11]. Изначально аксионы были введены искусственно: из-за нарушения CP-симметрии в сильных взаимодействиях [12]. Теоретически, под действием статического электрического или магнитного поля, аксион должен спонтанно распадаться на два фотона. Этот эффект получил название обратного эффекта Примакова. Соответственно, собственно эффект Примакова – резонансное превращение фотона в псевдоскалярную частицу аксион в электрическом или магнитном поле. Такие превращения аксиона в фотоны и обратно часто называют конверсией аксионов.

Согласно теории, конверсия аксионов в фотоны должна приводить к возникновению оптических свойств (двойное лучепреломление, дисперсия) у вакуума в магнитном или электрическом поле. На данном эффекте Примакова (прямом и/или обратном) основаны многие эксперименты по поиску аксионов. Источником аксионов, предлагается считать звездные ядра, в частности, ядро Солнца. Теоретически должен существовать целый ряд основных процессов, дающих вклад в потоки аксионов от Солнца: эффект Примакова, комптоновское рассеяние, рассеяние электрона на электроне и электрона на ионе, рекомбинация и девозбуждение.

Для обнаружения солнечных аксионов был предпринят ряд экспериментов. В частности, с 2003 г. в ЦЕРНе проводится эксперимент CAST (CERN Axion Solar Telescope) по обнаружению аксионов, предположительно испускаемых, вследствие эффекта Примакова, разогретой до $\sim 15 \cdot 10^6$ К плазмой солнечного ядра [13]. Однако, ни в одном из экспериментов, аксионы или ожидаемые эффекты, говорящие об их существовании, не были обнаружены [14], [15], [16].

В 2014 году на международной космической обсерватории XMM-Newton, обнаруживают косвенные данные, свидетельствующие в пользу существования аксионов. Эти результаты были опубликованы в статье Джоржа Фрейзера с соавторами: “Потенциальные сигнатуры солнечных аксионов в рентгеновских наблюдениях с обсерватории XMM-Newton” [17]. Основная идея эксперимента на XMM-Newton заключалась в том, чтобы попытаться зарегистрировать солнечные аксионы, которые, при их наличии, должны конвертироваться в фотоны в околоземной плазме в магнитном поле Земли, согласно эффекту Примакова. Зарегистрировать, разумеется, возможно только эти самые результирующие фотоны рентгеновского диапазона, своеобразный автограф, говорящий о наличии аксионов. Чтобы их увидеть, как считали авторы эксперимента, прибор не должен быть направлен прямо на Солнце, т.к. в магнитосфере Земли успевают произойти несколько превращений. Из-за движения Земли вокруг Солнца взаимная ориентация силовых линий геомагнитного поля, направления наблюдений и направления на Солнце меняется в течение года. Следовательно, прибор также должен видеть сезонное изменение рентгеновского фона в магнитосфере Земли. Фон, связанный с далекими галактиками, с межзвездным газом, с космическим излучением, проходящим через солнечную систему, должен оставаться примерно постоянным, а аксионная часть должна сезонно варьироваться. Кроме того, для чистоты эксперимента, были исключены из наблюдения яркие рентгеновские точки: звезды, звездные скопления и другие компактные рентгеновские объекты. Таким образом, был получен эффект “чистого рентгеновского неба”. На этом “очищенном” фоне были обнаружено искомое сезонное изменение рентгеновского фона в магнитосфере Земли.

На основании результатов, полученных от XMM-Newton, был сделан вывод [17] о том, что аксионы – кандидаты частиц темной материи – действительно производятся в ядре Солнца и действительно превращаются в мягкие рентгеновские лучи в магнитном поле Земли, что приводит к возникновению сезонно-переменной компоненты рентгеновского фона в диапазоне 2-6 кэВ. Дополнительно были обнаружены узкие аксионные линии, связанные с кремнием, серой и железом в этом же диапазоне.

В работах [18], [19] исследовалось нетипичное поведение энергетического спектра теплового рентгеновского фона плазмы солнечной короны. Были обнаружены падение, а в некоторых случаях увеличения интенсивности в узких полосках энергетического спектра. Напомним, что речь шла о том же диапазоне 2-6 кэВ, что и в эксперименте XMM-Newton. Разница заключается в том, что эти вариации были обнаружены в плазме солнечной короны, а XMM-Newton исследовал рентгеновский фон плазмы магнитосферы Земли. Напомним, что при исследовании рентгеновского фона плазмы солнечной короны

также, как и в эксперименте XMM-Newton, был проведен тщательный отбор данных, который заключался в исключении из рассмотрения данных с крупными солнечными событиями и достижении чистого рентгеновского фона плазмы солнечной короны. Совпадение диапазона энергий и эффекта вариации интенсивности рентгеновского фона в обоих случаях не может носить случайный характер. Скорее всего, можно считать экспериментально доказанным факт существования некой единой причины, которая дает в обоих случаях одинаковые рентгеновские “подписи”.

Таким образом, необходимо отметить, что долгие поиски одного из кандидатов на роль темной материи пришли к некоторому противоречию: с одной стороны, обнаружен и доказан экспериментально эффект вариаций рентгеновского фона плазмы солнечной короны и плазмы околоземной магнитосферы, как основное свидетельство существования аксионов. А с другой стороны, ни в одном из известных многочисленных экспериментов в наземных лабораториях не были найдены сами аксионы. Странность ситуации заключается в том, что мы видим эффект, в качестве косвенного доказательства, но не находим “виновника” этого эффекта – сам аксион. Данное противоречие можно устранить, если принять тот факт, что скорее всего, нет никаких аксионов, а наблюдаемые эффекты можно объяснить существованием сверхлегких скалярных бозонов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХЛЕГКИХ СКАЛЯРНЫХ БОЗОНОВ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА

Если предположить [8], что наблюдаемое на Солнце коронарное рождение кванта РГ с энергией $\Delta E \approx 3keV$ обусловлено расщеплением сверхлегких скалярных бозонов в плазме солнечной короны с магнитным полем $H = 100Gc(0.01Tл)$, то из соотношения $\Delta E = HM$ может быть определена следующая величина магнитного момента сверхлегкого скалярного бозона (объемная плотность которого определяется плотностью энергии короны):

$$M = 4.8 \times 10^{-14} \frac{Дж}{Тл} \quad (1)$$

Полученная оценка (1) для магнитного момента сверхлегкого скалярного бозона может быть учтена при интерпретации данных наблюдений в натуральных и лабораторных условиях, например, при реализации эффекта Фарадея.

Отметим, также что в [5] в связи с объяснением наблюдаемой барионной асимметрии, проведена оценка и электрического дипольного момента, сопряженного с каждым таким сверхлегким скалярным бозоном (в [7] он называется гравитоном).

Согласно теории [1] Вселенная существовала неограниченное время без какой-либо сингулярности в прошлом, связанной с Большим взрывом и какими-либо его инфляционными модификациями. При этом сверхлегкие скалярные бозоны рождаются непрерывно во всем пространстве и наблюдаемое фоновое микроволновое излучение (ФМИ) тоже должно быть следствием такого процесса рождения сверхлегких скалярных бозонов из вакуума в процессе расширения Вселенной (которое по оценке [1] должно продолжаться еще 38 миллиардов лет, а затем смениться на режим сжатия).

Механизм образования ФМИ в этом случае также может быть обусловлен расщеплением сверхлегких скалярных бозонов в межпланетном, межзвездном и межгалактическом магнитном поле. При этом, вклад галактического магнитного поля будет существенно больше влиять на картину распада бозонов, поскольку мы, находясь внутри нашей галактики, всегда будем наблюдать большее влияния всех галактических процессов по сравнению с межгалактическими. Действительно, при учете (1) для соответствующей таким полям характерной величины магнитного поля $H \approx 0.765 \times 10^{-5} Gc$ получается величина $T \approx 2.725K$ более известная, как температура ФМИ. Величина магнитного поля $H \approx 0.765 \times 10^{-5} Gc$ вполне согласуется с данными, представленными в работе [20].

Механизм процесса расщепления сверхлегкого скалярного бозона напоминает эффект Примакова, только без “посредника” в виде аксиона. В этой связи, представляет интерес проведение натуральных и лабораторных исследований указанной возможности расщепления сверхлегких скалярных бозонов в различных магнитных полях.

Предполагаемый сверхлегкий скалярный бозон, в действительности представляет из себя комбинацию из двух фотонов, которые, как и одиночный фотон, проявляют, как известно, как корпускулярные, так и волновые свойства, в зависимости от их энергии и свойств внешней среды. Так, чем ниже частота, выше длина волны и меньше энергия, тем свойства скалярного бозона ближе к волновым, а чем выше частота, меньше длина волны и выше энергия, тем ближе к корпускулярным. При этом, именно сверхлегкий скалярный бозон является квантом электромагнитного взаимодействия. На рис. 1 приводится предположительная структура сверхлегкого скалярного бозона в привычных обозначениях колеблющихся векторов электрического поля E_1 и E_2 и магнитного поля H_1 и H_2 . Каждый из фотонов имеет свою пару векторов E и H , которые колеблются под углом 90° относительно друг друга. Как известно, фотоны бывают как правоспиральные, так и левоспиральные. Следовательно, каждый член этой пары может обладать как правой, так и левой спиральностью. Однако, весь сверхлегкий скалярный бозон должна иметь нулевую суммарную спиральность. Поэтому пары компонуются из фотонов противоположной спиральности. Именно благодаря такой структуре происходит эффект расщепления сверхлегкого скалярного бозона в магнитном

поле. Выявить свойства скалярного бозона можно по косвенным признакам в результате взаимодействия с окружающими частицами, либо при эффекте расщепления.

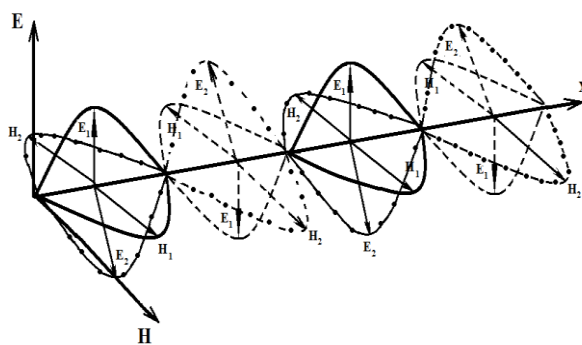


Рис. 1. Сверхлегкий скалярный бозон (фотонная пара).

Еще одним индикатором наличия сверхлегких скалярных бозонов может служить нетипичное поведение линий в спектре рентгеновского излучения мягкого диапазона: от 2 до 12 кэВ. По уточненным данным, в полосе от 3 до 4 кэВ. Нетипичное поведение линий может возникать так же в узких полосках электромагнитного спектра, при рассмотрении тонкой структуры этого спектра с шагом в 1 кэВ. Интенсивность на участке малых энергий в таком спектре может неожиданно аномально падать или, наоборот, возрасти. На рис. 2 приводится пример такого случая, полученный по данным проекта RHESSI, для рентгеновского теплового фона солнечной короны, то есть, взято число и час, в котором отсутствовали как крупные так и малые солнечные вспышки. Наблюдается падение интенсивности рентгеновского излучения в районе энергий 3 - 4 кэВ и 7 - 9 кэВ (рис. 2) в течении 7 минут. Аналогичное падение интенсивности рентгеновского излучения мы наблюдали и на большем временном отрезке данных того же проекта RHESSI (рис. 3). На рисунке 3 показан интегральный энергетический спектр теплового фона солнечной короны, полученный по данным RHESSI, с января по март 2003 года. Суммарно, в течении 3-х месяцев устойчиво наблюдался спад интенсивности рентгеновского излучения теплового фона солнечной короны в районе тех же энергий 3 - 4 кэВ, а так же спад в районе 12 - 14 кэВ. Спад в районе 12 - 14 кэВ можно объяснить нехваткой энергии излучения, однако, спад в районе меньших энергий 3-4 кэВ, исходя из известных законов физики, объяснить невозможно. Поэтому, существует очень большая вероятность того, что данное явление обусловлено влиянием сверхлегких скалярных бозонов на плазму солнечной короны.

Рентгеновское излучение мы можем наблюдать всюду в космосе: начиная от Солнца и солнечной короны, заканчивая рентгеновским фоном близ магнитосферы Земли. Однако, согласно [1], сверхлегкие скалярные бозоны продуцируются вакуумом повсеместно, и распадаются повсеместно в магнитных полях. Поэтому нарушение интенсивностей в линиях рентгеновских спектров можно наблюдать и в условиях земных лабораторных экспериментов. Например, в вакуумных камерах с рентгеновскими источниками и источниками магнитных полей внутри, с возможностью вариаций значениями магнитных полей.

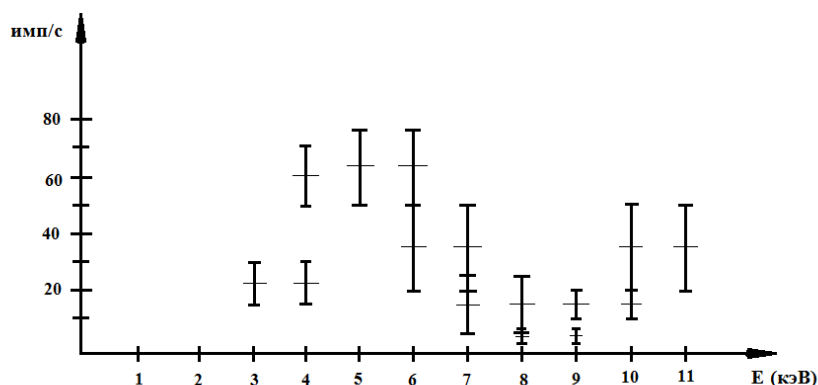


Рис. 2. Энергетический спектр теплового фона солнечной короны за 10 марта 2003г с 13:44 UT по 13:51 UT.

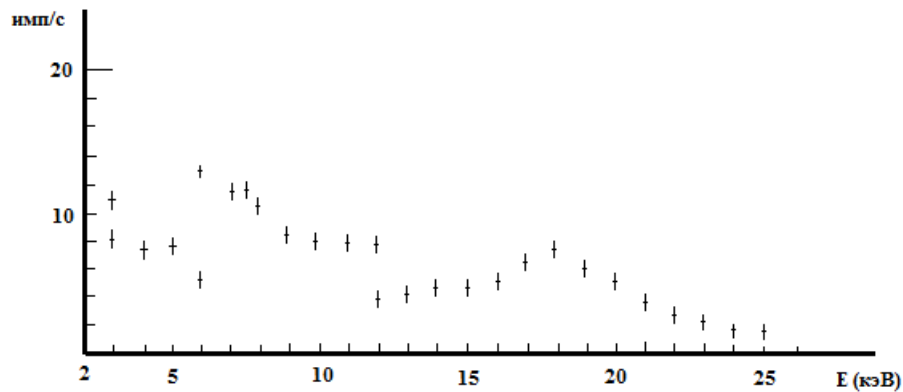


Рис. 3. Интегральный энергетический спектр теплового фона солнечной короны, полученный по данным RHESSI, с января по март 2003 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным в независимых исследованиях разных миссий экспериментальным данным, существует явление падения интенсивности рентгеновского излучения Солнца и теплового фона солнечной короны. Падение интенсивности рентгеновского излучения наблюдается так же в рентгеновском фоне магнитосферы Земли. При этом, диапазон падения интенсивности рентгеновских линий в спектрах всюду примерно один и тот же: по данным миссии RHESSI он четко определен как 3 – 4 кэВ, по данным миссии XMM-Newton наблюдается в виде вариации сезонно-переменной компоненты рентгеновского фона магнитосферы Земли в диапазоне 2 - 6 кэВ. Следовательно, именно в данном диапазоне рентгеновского излучения в лабораторных условиях на Земле мы можем с большой вероятностью наблюдать те же падения интенсивности в спектрах рентгеновских источников. При этом, для проведения лабораторных исследований, необходимо иметь вакуумные камеры с рентгеновскими источниками соответствующего диапазона внутри, и с возможностью варьирования интенсивностями магнитных полей. Полученные результаты можно будет считать одним из косвенных доказательств существования сверхлегких скалярных бозонов.

Список литературы / References

1. Чефранов С.Г., Новиков Е.А. ЖЭТФ. 138, 5(11), 830 (2010).
2. Глинер Э.Б. ЖЭТФ, 49, 542, (1965).
3. Сахаров А.Д. ДАН СССР, 177, 70 (1967).
4. Глинер Э.Б. Доклады Академии Наук СССР, 192, 4, 771 - 1970.
5. Старобинский А.А. ПАЖ, 4, 155 - 1978.
6. Novikov E.A. Vacuum response to cosmic stretching: accelerated Universe and prevention of singularity, arXiv:nlm/06080050 (2006).
7. Novikov E.A. Ultralight Gravitons with Tiny Electric Dipole Moment Are Seeping from the Vacuum. Modern Physics Letters A, 31, 2016.
8. Мурзоева И.К., Чефранов С.Г. Физика плазмы, 44, 10, 791 – 2018.
9. Chefranov A.S., Chefranov S.G. and Golitsyn G.S. Cosmic rays self-arising turbulence with universal spectrum - 8/3, The Astrophysical Journal, 951: 38 - 10 p. - 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/acd53a>
10. Novikov E.A. Gravitational waves background, as well as some UFO, FRB and supernova flares, are due to compressibility of the space-time (CoST), J. High Energy Physics, Gravitation and Cosmology, 10, 67 (2024); [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.4236/jhepgc.2024.101006>
11. Ringwald A. Exploring the Role of Axions and Other WISPs in the Dark Universe. Dark Universe 1, arXiv:1210.5081, 116 - 2012.
12. Ringwald A. Ultralight Particle Dark Matter. 25th Rencontres de Blois on "Particle Physics and Cosmology", Blois. France, May 26-31, arXiv:1310.1256, 2013.
13. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://CERN Axion Solar Telescope>.
14. Barth K., Belov A., Beltran B. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 5, 10 - 2013.
15. Iguaz F.J. on behalf of the CAST Collaboration. The CAST experiment: status and perspectives. Identification of Dark Matter 2010-IDM 2010 July 26-30, arXiv:1110.2116v1, (2010).
16. Irastorza I.G. CERN Axion Solar Telescope (CAST), Symposium on Detector Developments for Particle, Astroparticle and Synchrotron Radiation Experiments, SLAC. 6-10 April, Stanford. California. US, (2006).
17. G.W. Fraser, A.M. Read, S. Sembay, J.A. Carter and E. Schyns. Potential solar axion signatures in X-ray observations with the XMM-Newton observatory, arXiv: 1403.2436, (2014).
18. Мурзоева И.К. Физика плазмы, 39, 4, 355 (2013).

19. *Мурзоева И.К.* Физика плазмы, 44, 1, 102 (2018)..

20. *A. Tritsis, C. Federrath, V. Pavlidou.* Magnetic field tomography in two clouds towards Ursa Major using HI fibers arXiv:1810.00231v1, 29 Sep (2018).