

ISSN 0552-5829

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ГЛАВНАЯ (ПУЛКОВСКАЯ) АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

*ВСЕРОССИЙСКАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ФИЗИКЕ СОЛНЦА*

**СОЛНЕЧНАЯ  
И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ  
ФИЗИКА – 2013**

**ТРУДЫ**



Санкт-Петербург  
2013

Сборник содержит доклады, представленные на Всероссийской ежегодной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика – 2013» (XVII Пулковская конференция по физике Солнца, 25–27 сентября 2013 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН) – при соединенного симпозиума к Всероссийской конференции «Многоликая Вселенная» (ВАК-2013). Конференция проводилась Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН при поддержке секции «Солнце» Научного совета по астрономии РАН и секции «Плазменные процессы в магнитосферах планет, атмосферах Солнца и звезд» Научного совета «Солнце – Земля», а также при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, программ Президиума РАН, Отделения Физических Наук РАН, гранта поддержки ведущих научных школ России НШ-1625.2012.2.

Тематика конференции включала в себя широкий круг вопросов по физике солнечной активности и солнечно-земным связям.

В конференции принимали участие учёные Российской Федерации, Украины, Польши, Финляндии, США, Японии, Израиля, Азербайджана, Германии.

### Оргкомитет конференции

**Сопредседатели:** А.В. Степанов (ГАО РАН), В.В. Зайцев (ИПФ РАН)

#### Члены оргкомитета:

В.М. Богод (САО РАН)

И.С. Веселовский (НИИЯФ МГУ, ИКИ РАН)

К. Георгиева (ИКСИ-БАН, Болгария)

В.А. Дергачев (ФТИ РАН)

М.А. Лившиц (ИЗМИРАН)

Н.Г. Макаренко (ГАО РАН)

Ю.А. Наговицын (ГАО РАН)

В.Н. Обридко (ИЗМИРАН)

О.М. Распопов (СПбФ ИЗМИРАН)

А.А. Соловьёв (ГАО РАН)

Д.Д. Соколов (МГУ)

А.Г. Тлатов (ГАС ГАО РАН)

**Ответственные редакторы – А.В. Степанов и Ю.А. Наговицын**

В сборник вошли статьи, получившие по результатам опроса одобрение научного комитета.

Труды ежегодных Пулковских конференций по физике Солнца, первая из которых состоялась в 1997 году, являются продолжением публикации научных статей по проблемам солнечной активности в бюллетене «Солнечные данные», выходящем с 1954 по 1996 гг.

Синоптические данные о солнечной активности, полученные в российских обсерваториях (главным образом, на Кисловодской Горной станции ГАО РАН) в продолжение программы «Служба Солнца СССР», доступны в электронном виде по адресам:

<http://www.gao.spb.ru/english/database/sd/index.htm>

<http://www.solarstation.ru/>

Компьютерная верстка Е.Л. Терёхиной

ISBN 978-5-9651-0782-7

© Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, 2013

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

<b>Абраменко В.И.</b> Мульти-фрактальная структура солнечных магнитных полей и проблема турбулентного динамо .....	3
<b>Абрамов-Максимов В.Е., Боровик В.Н., Опейкина Л.В., Тлатов А.Г.</b> Динамика микроволнового излучения активных областей на Солнце перед большими X-вспышками .....	7
<b>Бакунина И.А., Мельников В.Ф., Соловьев А.А., Абрамов-Максимов В.Е.</b> Межпятенные микроволновые источники .....	11
<b>Беневоленская Е.Е.</b> Детальная эволюция, вращение и диссипация активной области NOAA 11106 по данным SDO/HMI .....	15
<b>Беневоленская Е.Е.</b> Синоптическая структура солнечного цикла 24 в короне, хромосфере и фотосфере по наблюдениям космической обсерватории ‘Solar Dynamics observatory’ .....	19
<b>Беневоленская Е.Е., Шаповалов С.Н.</b> Задачи исследований вариаций TSI и энергии UV в 24 цикле СА (проект программы ГАО – ААНИИ) .....	23
<b>Беневоленская Е.Е., Шаповалов С.Н., Костюченко И.Г.</b> Спектральное и полное излучение Солнца (SSI, TSI) в минимуме солнечной активности .....	27
<b>Биленко И.А.</b> Эволюционные изменения глобального магнитного поля Солнца и параметры эруптивных процессов .....	31
<b>Блудова Н.Г., Бадалян О.Г.</b> О временных изменениях числа малых пятен за 1874–2012 гг. ....	35
<b>Веретененко С.В., Огурицов М.Г.</b> Роль стратосферного циркумполярного вихря в формировании долгопериодных эффектов солнечной активности и галактических космических лучей в тропосферной циркуляции .....	39
<b>Вернова Е.С., Тясто М.И., Баранов Д.Г.</b> Дисбаланс фотосферных и гелиосферных магнитных полей разной полярности .....	43



<b>Волобуев Д.М., Макаренко Н.Г.</b> Глобальная корреляция приземных тепловых потоков и инсоляции в 11-летнем цикле: широтный эффект .....	47
<b>Вохмянин М.В., Понявин Д.И.</b> Межпланетное магнитное поле в 19-м веке и геоэффективные секторные границы .....	51
<b>Ганиев В.В., Смирнова В.В.</b> Зависимость собственных долгопериодических колебаний солнечных пятен от напряженности магнитного поля .....	55
<b>Гетлинг А.В., Исикава Р., Бучнев А.А.</b> Играет ли всплывание трубки магнитного поля ключевую роль в формировании групп пятен? .....	59
<b>Глобина В.И., Чариков Ю.Е., Кудрявцев И.В., Мельников В.Ф.</b> Временные задержки жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек: обработка результатов измерений на CGRO и численное моделирование .....	63
<b>Голубчина О.А., Коржавин А.Н.</b> Яркостные температуры и электронные концентрации в полярной корональной области Солнца по данным наблюдений в микроволновом диапазоне .....	67
<b>Гриб С.А., Пушкарь Е.А.</b> Могут ли солнечные медленные ударные волны нагревать корону Солнца? .....	71
<b>Григорьева И.Ю., Лившиц М.А.</b> Микроволновое излучение небольших активных областей: электрические токи и развитие нестационарных процессов .....	75
<b>Ерофеев Д.В.</b> Влияние 22-летнего магнитного цикла Солнца на поляризацию турбулентных флуктуаций солнечного ветра .....	79
<b>Ефремов В.И., Парфиненко Л.Д., Соловьев А.А.</b> Локальные и интегральные параметры НЧ-колебаний солнечных пятен по данным MDI (SOHO) .....	83
<b>Зайцев В.В.</b> Спорадический нагрев плазмы в нижней хромосфере .....	87
<b>Злотник Е.Я., Зайцев В.В., Шапошников В.Е.</b> О происхождении зебра-структуры в километровом излучении Юпитера .....	91

<b>Золотова Н.В., Понявин Д.И.</b> О природе слабого полярного поля в минимуме 23/24 солнечных циклов .....	95
<b>Иванов В.Г., Милецкий Е.В.</b> Закон Шпёрера и связь широтных характеристик солнечной активности с амплитудными .....	99
<b>Иванов Е.В., Обридко В.Н.</b> Роль крупномасштабной структуры магнитного поля Солнца в глобальной организации солнечной активности .....	103
<b>Ихсанов Р.Н., Иванов В.Г.</b> Циклическая эволюция солнечных крупномасштабных магнитных полей в период 1960–1985 годов .....	107
<b>Ишков В.Н.</b> Периоды пониженной и повышенной солнечной активности: наблюдательные особенности и ключевые факты .....	111
<b>Кацова М.М., Лившиц М.А.</b> Активность Солнца в возрасте 1–2 миллиарда лет .....	115
<b>Костюченко И.Г., Беневоленская Е.Е.</b> Активные долготы в минимумах солнечной активности .....	121
<b>Кравцова М.В., Сдобнов В.Е.</b> Сравнительный анализ форбуш-понижений в периоды сильных геомагнитных бурь в марте–апреле 2001 г. ....	125
<b>Кузнецов В.Д., Джалилов Н.С.</b> Бесстолкновительные МГД волны и нагрев короны .....	129
<b>Луковникова А.А., Сдобнов В.Е.</b> Вариации космических лучей в июле-сентябре 2012 года .....	133
<b>Мерзляков В.Л.</b> Динамическая модель солнечного протуберанца .....	137
<b>Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.</b> Источники крупномасштабного магнитного поля короны периода низкой активности Солнца .....	141
<b>Милецкий Е.В., Иванов В.Г.</b> Моменты отсчёта широтной фазы и длина 11-летнего цикла солнечных пятен .....	145

<b>Мирошниченко Л.И., Сидоров В.И., Кузьминых Ю.В.</b> Солнечное протонное событие 14 декабря 2006 г.: генерация и регистрация релятивистских частиц? .....	149
<b>Можаровский С.Г.</b> Сравнение глубин отклика спектральных линий на изменения физических параметров в фотосфере методом пробного слоя .....	153
<b>Моргачев А.С., Мельников В.Ф.</b> Инверсия поляризации микроволнового излучения и радиодиагностика параметров вспышечной петли .....	157
<b>Моторина Г.Г., Кудрявцев И.В., Лазутков В.П., Савченко М.И., Скородумов Д.В., Чариков Ю.Е.</b> Эволюция энергетических спектров жесткого рентгеновского излучения солнечной вспышки 15 апреля 2002 года .....	161
<b>Наговицын Ю.А., Кулешова А.И.</b> О рекуррентности вспышек в активных областях .....	165
<b>Наговицын Ю.А., Рыбак А.Л.</b> Артефакты SOHO MDI .....	169
<b>Нестеренок А.В., Найденов В.О.</b> Расчет глобальной скорости образования космогенного радиоуглерода в атмосфере Земли .....	173
<b>Обридко В.Н., Бадалян О.Г.</b> Циклическая вариация подмножеств малых и больших групп пятен .....	177
<b>Огурцов М.Г., Ойнонен М.</b> Проявления солнечного казиевкового цикла в концентрации нитратов в полярном льду .....	183
<b>Откидычев П.А., Скорбеж Н.Н.</b> Особенности 24 цикла солнечной активности и их связь с общими закономерностями 19–23 циклов .....	187
<b>Откидычев П.А., Тлатов А.Г.</b> Распределения групп солнечных пятен по площадям по данным различных обсерваторий .....	191
<b>Пальшин В.Д., Чариков Ю.Е., Аптекарь Р.Л., Голенецкий С.В., Кокотов А.А., Кудрявцев И.В., Свинкин Д.С., Соколова З.Я., Уланов М.В., Фредерикс Д.Д., Цветкова А.Е.</b> Исследование динамики энергетических спектров жесткого рентгеновского и гамма излучения солнечных вспышек по результатам наблюдений экспериментов Конус-Винд и Геликон .....	195



<b>Парфиненко Л.Д., Ефремов В.И., Соловьев А.А.</b> Поле скоростей супергрануляции по данным MDI(SOHO) .....	199
<b>Петерова Н.Г., Опейкина Л.В., Топчило Н.А.</b> Об источниках типа «гало» по наблюдениям активной области NOAA 7123 в микроволновом диапазоне излучения .....	203
<b>Подгорный А.И., Подгорный И.М.</b> МГД моделирование положения источников рентгеновского излучения солнечных вспышек и сравнение с наблюдениями .....	207
<b>Подгорный И.М., Подгорный А.И., Мешалкина Н.С.</b> Магнитное поле активных областей и его связь с появлением вспышек .....	211
<b>Порфирьева Г.А., Якунина Г.В., Боровик В.Н., Григорьева И.Ю.</b> Эмиссия в континууме и жёстком рентгеновском излучении во вспышках на Солнце .....	215
<b>Ривин Ю.Р.</b> Каталоги результатов наблюдений солнечной активности по прямым и косвенным данным .....	219
<b>Ривин Ю.Р.</b> Краткая схема механизма генерации 11-летних циклов, наблюдаемых на поверхности фотосферы Солнца в изменениях количества пятен и фонового магнитного поля .....	223
<b>Ривин Ю.Р.</b> Правило Гневышева-Оля в свете анализов декадных и вековых вариаций чисел Вольфа за ~300 лет .....	227
<b>Рощина Е.М., Сарычев А.П.</b> Усредненная форма 11-летних циклов пятнообразования на Солнце .....	231
<b>Рябов М.И., Сухарев А.Л., Собитняк Л.И.</b> Циклы северного и южного полушария Солнца и их влияние на характер солнечно-земных связей .....	235
<b>Садыков В.М., Зимовец И.В.</b> Расчет потенциального магнитного поля в активных областях Солнца .....	239
<b>Соловьев А.А., Киричек Е.А.</b> Солнечное пятно: мелкое или глубокое? .....	243
<b>Струминский А.Б., Зимовец И.В., Аптекарь Р.Л., Голенецкий С.В., Пальшин В.Д., Уланов М.В., Фредерикс Д.Д., Чариков Ю.Е.</b> Новый взгляд на солнечные наблюдения в эксперименте КОНУС-ВИНД: усовершенствование эксперимента ГЕЛИКОН в проекте ИНТЕРГЕЛИО-ЗОНД .....	249

<b>Тавастиерна К.С., Поляков Е.В.</b> Корональные дыры, крупномасштабное магнитное поле и комплексы активности в 23 цикле активности Солнца .....	253
<b>Глатов А.Г.</b> Обращение правила Гневышева-Оля и реликтовое магнитное поле Солнца .....	257
<b>Глатов А.Г., Тавастиерна К.С., Васильева В.В.</b> Корональные дыры в период 21–23 циклов активности .....	261
<b>Тягун Н.Ф.</b> О лучевых и нетермических скоростях в солнечной короне по наблюдениям Fe X 6374 и Fe XIV 5303 .....	265
<b>Chmielewski P., Murawski K., Solov'ev A.A.</b> Numerical simulation of Alfvén waves and magnetic swirls in the solar atmosphere .....	269
<b>Чариков Ю.Е., Мельников В.Ф., Аптекарь Р.Л., Голенецкий С.В., Кудрявцев И.В., Кузнецов С.А., Пальшин В.Д., Свинкин Д.С., Соколова З.Я., Уланов М.В., Фредерикс Д.Д., Цветкова А.Е.</b> Наблюдения жесткого рентгеновского/гамма и микроволнового излучений солнечных вспышек: сравнительный анализ .....	273
<b>Шапвалов С.Н., Беневоленская Е.Е.</b> Связи флуктуаций солнечной UV-радиации и содержания озона с солнечными факторами (Антарктида) .....	277
<b>Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Зимовец И.В.</b> Исследование вспышек с различным спектром ускоренных электронов и одинаковым откликом в мягком рентгеновском излучении .....	281
<b>Шендрик А.В., Курочкин Е.В., Тохчукова С.Х.</b> Тестирование критериев прогноза солнечной активности на основе анализа спектральных характеристик радиоизлучения активных областей .....	285
<b>Лотова Н.А., Субаев И.А., Корелов О.Н.</b> Процесс формирования установившегося сверхзвукового потока солнечного ветра .....	289
<b>Список авторов</b> .....	293



## **О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЗЕБРА-СТРУКТУРЫ В КИЛОМЕТРОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЮПИТЕРА**

**Злотник Е.Я., Зайцев В.В., Шапошников В.Е.**

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия*

*e-mail: zlot@appl.sci-nnov.ru*

## **ON THE ORIGIN OF ZEBRA PATTERN IN KILOMETRIC RADIATION FROM JUPITER**

**Zlotnik E.Ya., Shaposhnikov V.E., Zaitsev V.V.**

*Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia*

*Origin of the fine structure as quasi-harmonic parallel drifting stripes of enhanced brightness (zebra pattern) in the dynamic spectrum of the kilometric Jupiter radiation is discussed. A possible interpretation of the observed structure basing on the effect of double plasma resonance (DPR) in the Jupiter magnetosphere is analyzed. It is shown that the observed features of zebra pattern cannot be attributed to the DPR effect at the electron cyclotron harmonics. The suggested scheme consists of excitation of ion cyclotron waves at the low hybrid frequency in the ion DPR regions and succeeding coalescence of such waves with a high frequency longitudinal wave at the high hybrid frequency. The source parameters necessary for matching the expected and observed properties of the Jupiter zebra pattern are discussed.*

Динамические спектры километрового излучения Юпитера с тонкой структурой в виде квази-эквидистантных параллельно дрейфующих полос повышенного излучения, зарегистрированные миссией Кассини [1], обнаружили сильную аналогию с так называемой зебра-структурой (ЗС) в солнечном метровом и дециметровом радиоизлучении. Такая структура была обнаружена на динамических спектрах солнечного радиоизлучения более 40 лет назад и с тех пор интенсивно исследуется как наблюдателями, так и теоретиками (см., например, [2–6]). В последние годы ЗС была обнаружена также в километровом излучении Сатурна [7], в ОНЧ шипениях в земной магнитосфере [8], и в микроволновом радиоизлучении пульсара в Крабовидной туманности [9].

На рисунках 1–2 приведены примеры ЗС в километровом радиоизлучении Юпитера [1] и дециметровом излучении Солнца [4]. Легко видеть, что обе структуры обнаруживают одинаковые свойства, которые состоят в следующем:

- 1) динамические спектры представляют собой набор квази-эквидистантных полос повышенной яркости, параллельно дрейфующих во времени;
- 2) частотное расстояние между полосами много меньше частот самих полос;

3) частотное расстояние между полосами незначительно увеличивается с ростом частоты;

4) частотный дрейф имеет волнообразный характер, причем изменение частоты полос обнаруживает задержку во времени по направлению к низким частотам.

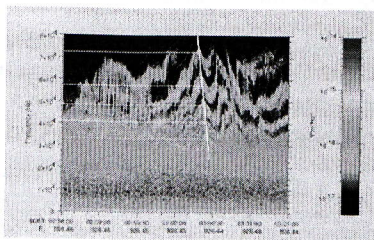


Рис. 1.

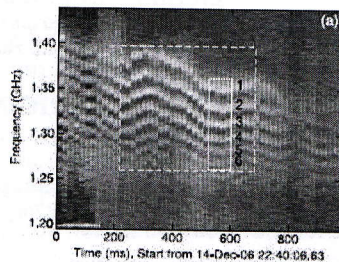


Рис. 2.

Глубокая аналогия между ЗС на Солнце и Юпитере предполагает одинаковые механизмы, ответственные за происхождение обеих структур. Теория происхождения солнечной ЗС основана на эффекте двойного плазменного резонанса, который реализуется в слабоанизотропной плазме при условии  $f_p \gg f_{B_e}$ , где  $f_p$  и  $f_{B_e}$  – плазменная частота и гирочастота электронов, соответственно. Повышенная генерация плазменных волн происходит в неоднородном источнике в тех областях, где локальная плазменная частота совпадает с гармониками электронной гирочастоты:  $f_p = s f_{B_e}$ . Эти плазменные волны сливаются с низкочастотными колебаниями или рассеиваются на ионах (без существенного изменения частоты), что приводит к появлению электромагнитного излучения со спектром в виде квазигармонических полос повышенного и пониженного излучения, способного покинуть плазменный источник. При этом необходимым условием наблюдаемого роста частотного разнесения зебра-полос с частотой является совпадение знаков градиентов магнитного поля и электронной концентрации (см. подробнее [3]). В противном случае  $\Delta f$  уменьшается с  $f$ , что противоречит наблюдениям.

В работе Кузнецова и Власова [1] предложена модель источника ЗС в магнитосфере Юпитера и механизм излучения, полностью аналогичные происхождению солнечной ЗС: в области вблизи экватора повышена концентрация плазмы, так что выполняется условие слабой анизотропии, поэтому могут наблюдаться уровни повышенного излучения с квазидискретных уровней ДПР. Однако в предложенной модели расстояние между полосами уменьшается с ростом частоты, что противоречит наблюдениям. Причина состоит в том, что в модели авторов [1] градиенты электронной концентрации и магнитного поля имеют разные направления. На первый



взгляд кажется, что упомянутого недостатка можно было бы избежать, если бы расположить неоднородный источник вдоль экватора. При этом знаки градиентов будут одинаковыми, однако в рамках известных моделей магнитного поля Юпитера источник оказывается слишком протяженным в пространстве (несколько радиусов Юпитера), что делает невозможным объяснение синхронного изменения частоты полос. Еще один недостаток модели [1] – слишком высокая электронная концентрация, требуемая для реализации эффекта ДПР. Судя по известным данным, плазма в магнитосфере Юпитера является сильноанизотропной, и условие  $f_{pe} = sf_{Be}$  вряд ли может быть реализовано.

В данной работе предлагается альтернативная модель происхождения ЗС в километровом излучении Юпитера, основанная на эффекте ДПР на ионных циклотронных гармониках. Эффект состоит в повышенном излучении низкочастотных плазменных волн в областях, где частота нижнего гибридного резонанса  $f_{LH} = f_{Be} \sqrt{[1 + (f_{pe}^2/f_{Be}^2)(m_i/m_e)]/[1 + (f_{pe}^2/f_{Be}^2)]}$  совпадает с гармониками ионной гирочастоты (здесь и везде ниже индекс  $i$  относится к ионам). В слабоанизотропной по электронам плазме при  $f_{pe} \gg f_{Be}$ , частота  $f_{LH} \approx \sqrt{f_{Be} f_{Be}}$  не зависит от ионной концентрации и условие ДПР  $f_{LH} = sf_{Be}$  не может быть выполнено. Напротив, в сильно анизотропной по

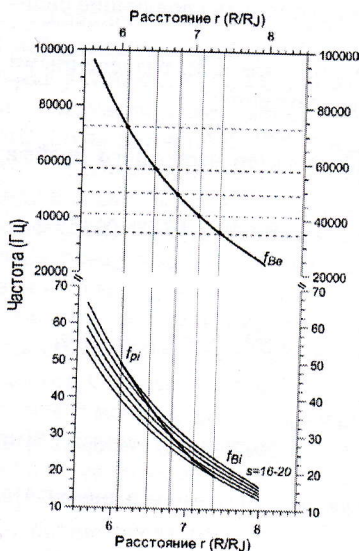


Рис. 3.

электронам плазме при  $f_{pe} \ll f_{Be}$  ионы могут быть слабоанизотропными, поскольку последнее неравенство для ионов можно записать в виде:  $f_{pi} \ll f_{Be} \sqrt{m_i/m_e}$ , т.е. существует интервал параметров, при которых одновременно  $f_{pe} \ll f_{Be}$  и  $f_{pi} > f_{Be}$ . При этом частота нижнего гибридного резонанса определяется концентрацией ионов  $f_{LH} \approx f_{pi}$ , и при условии  $f_{pi} > f_{Be}$  двойной резонанс на ионах  $f_{pi} = sf_{Be}$  вполне возможен.

Предлагаемая схема генерации иллюстрируется на рис. 3, где изображены зависимости  $f_{Be}$  и  $sf_{Be}$  от расстояния  $r$  от центра Юпитера в магнитном поле, описываемом моделью VIP4 [10]. Точки пересечения  $f_{Be}$  с наблюдаемыми частотами полос вдоль белой линии на рис. 1 (горизонтальные линии) обозначают положение уровней ДПР (вертикальные линии). Точки пересечения вертикальных линий с системой ионных цик-

лотронных гармоник (построенных для однократно ионизованных ионов кислорода, которые представляют собой основную ионную компоненту магнитосферы Юпитера) обозначают частоты ДПР для ионных циклотронных гармоник (на рисунке изображены гармоники  $s = 16 - 20$ ). Линия, соединяющая точки ДПР, определяет требуемое поведение ионной плазменной частоты. Эта частота меняется в интервале  $f_{pi} \approx (2.4 - 14.2)$  КГц, и соответствующая концентрация ионов составляет примерно  $N \sim (0.2 - 7) \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-3}$ .

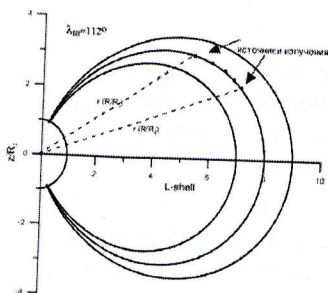


Рис. 4.

На рис. 4 изображена схема магнитного поля и источники зebra-полос. Оболочка  $L = 8$  выбрана таким образом, чтобы получить значения локальных гирочастот в интервале наблюдаемых частот ЗС:  $f_{B_e} \approx (2.8 - 8.1) \cdot 10^4$  Гц. Черные кружки обозначают области ДПР с повышенной генерацией низкочастотных волн.

Предложенная схема происхождения ЗС в километровом излучении Юпитера реализуется при разумных значениях магнитного поля и концентрации плазмы в магнитосфере планеты. В то же время она позволяет объяснить следующие свойства ЗС:

- частотный спектр с полосами повышенной яркости, разделенными интервалами, значительно меньшими частоты излучения;
- увеличение частотного разнесения полос с частотой;
- квази-параллельный и волнообразный характер частотного дрейфа зebra-полос.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-02-00157-а и 12-02-90424-Укр-а.

#### Литература

1. Kuznetsov, A.A., Vlasov, V.G. Planetary and Space Science 2013, V. 75, p. 167-172.
2. Chernov, G.P.: 2006, Space Sci. Rev. **127**, 195.
3. Zlotnik, E.Ya.: 2009, Cent. Eur. Astrophys. Bull. **33**, 281.
4. Chen, B., Bastian, T.S., Gary, D.E., Jing, J.: 2011, Astrophys. J. **736**, 64.
5. Aurass H., Klein K.-L., Zlotnik E.Ya., and Zaitsev V.V., 2003, Astron. Astrophys. 410, 1001.
6. Zlotnik E.Y., Zaitsev V.V., Aurass H., Mann G., Hofman A., 2003, Astron. Astrophys. 410, 1011.
7. Tao et al., 2010 JGR V.115, A12204.
8. Titova E.E. et al., 2007, GRL V.34, L02112.
9. Hankins T.H., Eilek J.A., 2007, ApJ V.670, 693.
10. Connerney et al. J. Geophys. Res. **103**, 11929, 1998.