

Гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца, как один из возможных источников аврорального радиоизлучения планет в километровом диапазоне

Тимков В. Ф., Тимков С. В., Жуков В. А.

Аннотация

Гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца (GERS) на частоте 202.97 кГц может быть одним из вторичных источников аврорального радиоизлучения в километровом диапазоне (theauroralkilometricradiation -АКР) планет, обладающих магнитосферой, например, Земли, Сатурна, Юпитера, Урана и Нептуна. Одна из огибающих спектра солнечного ветра может быть промодулирована электромагнитным сигналом с частотой гравитационно-электромагнитного резонанса Солнца. Эта компонента солнечного ветра на частоте 202.97 кГц также может быть как драйвером, так и источником модуляции радиоизлучения планет в километровом диапазоне. В спектре радиоизлучения планет, кроме Солнечной, возможно присутствуют компоненты, обусловленные как их собственным гравитационно-электромагнитным резонансом, так и гравитационно-электромагнитным резонансом их спутников.

Введение

В работах [1,2,3,4,5,6,7,8,9] показано, что АКР тесно связано с возникновением магнитосферных штормов (during magnetospheric substorms), а его основными источниками драйверы следующие явления: гиромагнитный резонанс (gyromagnetic resonance) электронов с энергией 1 кэВ (и более) (electrons with energies 1 keV) вокруг силовых линий магнитного поля планеты (around the magnetic field lines of the planets) на циклотронной (cyclotron) частоте и на высотах, например для Земли, от 1 до 3 ее радиусов; плазма магнитосферы планеты и плазма солнечного ветра (solar wind). Основные характеристики АКР: общая энергия, например для Земли, может быть от 10^6 до 10^7 ватт (W) [3]; частотные диапазоны спектра (Spectrum): для Земли 30 – 800 кГц, для Юпитера от 10 кГц до 1500 кГц и далее в декаметровом диапазоне до 40 мГц, для Сатурна от единиц кГц до 1.2 мГц–1.3 мГц, для Урана от десятков кГц до 850 кГц, для Нептуна от 20 кГц (и возможно ниже) до 600 кГц (и возможно выше); поляризация во всех случаях преимущественно круговая (circular); во всех случаях есть модуляция частотного спектра АКР вращением планеты и солнечным ветром [7].

Гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца, как один из возможных источников АКР

В [10,11] предложен и экспериментально обоснован закон “Универсальные пропорции Планка”. Согласно этому закону, в наблюдаемой Вселенной любое тело, обладающее массой m , создает гравитационное поле, искривляющее окружающее пространство с радиусом кривизны S (фактически S - это длина гравитационной волны) и вносящее в это пространство временную задержку в распространении сигнала t_{dm} . Характеристики тела m , S и t_{dm} связаны между собой универсальными пропорциями Планка [10,11]:

$$m = \frac{m_p}{l_p} S; m = \frac{m_p}{t_p} t_{dm}; S = \frac{l_p}{t_p} t_{dm}; S = \frac{l_p}{m_p} m; t_{dm} = \frac{t_p}{l_p} S; t_{dm} = \frac{t_p}{m_p} m, (1)$$

где l_p , m_p , t_p – это константы Планка, соответственно – длина, масса и время Планка. Каждая из характеристик тела m , S и t_{dm} в отдельности от других однозначно определяет его энергетические параметры:

$$E = mc^2 = F_p S = h_e t_{dm}, (2)$$

где $h_e = \frac{E_p}{t_p}$ – это квант энергии Планка, где E_p – энергия Планка: $E_p = m_p c^2$, F_p – это сила

Планка: $F_p = m_p a_p$, где a_p – это ускорение Планка: $a_p = \frac{l_p}{t_p^2}$, а для двух тел массой m_1 и m_2 , длиной гравитационной волны S_1 и S_2 , временной задержкой t_{dm1} и t_{dm2} , находящихся на расстоянии R друг от друга, закон Всемирного тяготения имеет вид [10,11]:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} = F_p \frac{S_1 S_2}{R^2} = F_p c^2 \frac{t_{dm1} t_{dm2}}{R^2}. (3)$$

На основе данных о массе астрономических объектов [12] и универсальных пропорций Планка (1) рассчитаны значения длины гравитационной волны и соответственно частоты: Земли, Луны, Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна, Солнца, Урана и Нептуна:

Название	Масса, кг	Длина гравитационной волны, м	Частота, ГГц
Земля	5.9722×10^{24}	0.00443474	67.6
Луна	7.3477×10^{22}	0.000054547302	5495.94
Венера	4.8673×10^{24}	0.0036143131	82.95
Марс	6.4169×10^{23}	0.00047451718	631.78
Юпитер	1.8981×10^{27}	1.40948454472	0.2127
Сатурн	5.6832×10^{26}	0.42201429314	0.7104
Солнце	1.989×10^{30}	1477.036	$2,0297 \times 10^{-4}$
Уран	8.68×10^{25}	0.0645	4.65
Нептун	1.02×10^{26}	0.0757	3.958

Экспериментально подтверждено наличие гравитационно-электромагнитного резонанса Земли (GERE) на частоте 67.6 ГГц [10,11]. Для примера на рис. 1 из [10,11] приведен один из экспериментальных графиков, подтверждающих наличие гравитационно-электромагнитного резонанса Земли на частоте 67.6 ГГц.

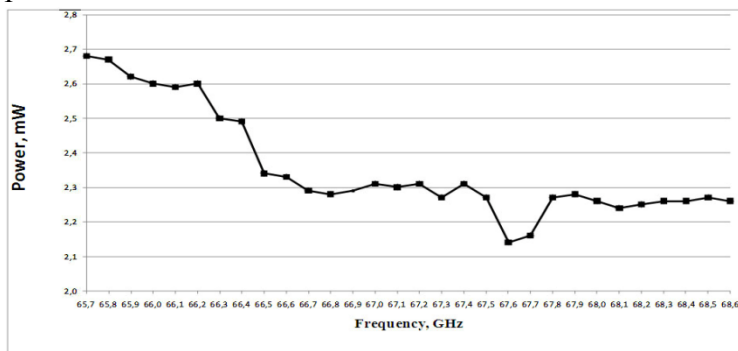


Fig. 1.– GraphGERE. The dependence of signal power on frequency in the frequency range from 65.7 GHz to 68.6 GHz with 0.1 GHz at the output of the measuring channel. The signal power at the output of the generator is 4,5mW. [10,11].

Инжекция электронов в область магнитосферного шторма с энергией около 1 кэВ и выше из области плазмы магнитосферы планеты в ее авроральную область (are injected from the plasma sheet region into the auroral region) с последующим отражением части из них благодаря зеркальному эффекту конвергентного геомагнитного поля (and the rest are reflected because of the mirror effect of the convergent geomagnetic field)

приводит к резонансу и усилению электромагнитных волн на циклотронной частоте [4]. В силу разброса значений энергий электронов и конвергентности геомагнитного поля образуется множество природных резонансных камер (эффект множества природных мазеров на циклотронной частоте электронов), что в свою очередь приводит к появлению множественного резонанса в диапазоне частот от единиц кГц до 1.5 мГц. Часть этих резонансных частот и их гармоник оказываются близкими к частоте гравитационно-электромагнитного резонанса Солнца 202.97 кГц. Под действием гравитационного поля Солнца и огибающей спектра солнечного ветра, которая промодулирована гравитационно-электромагнитным резонансом Солнца, возникает новый резонанс на частотах, близких к частоте 202.97 кГц. Отличительная особенность этого резонанса состоит в том, что гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца присутствует постоянно и поэтому он носит относительно стабильный и слабо затухающий характер. В то время как резонанс на других частотах, как правило, не имеет постоянной подкачки (подпитки) энергии, и поэтому носит периодический и затухающий характер.

Для примера, в [13] представлены результаты трех экспериментов, проведенных на борту зонда Кассини по исследованию влияния радиоволн, волн в плазме, солнечного ветра на АКР Сатурна (AKR для Сатурна – это SKR) (Data obtained by three different experiments on board the Cassini spacecraft). These three experiments are the Radio and Plasma Wave Science experiment (RPWS) [14], the Dual Technique Magnetometer (MAG) [15] and the Cassini Plasma Spectrometer (CAPS) [16]. На рис. 2а (спектр получен в эксперименте Cassini – RPWS в промежутке времени 19/8/2004 – 21/8/2004, то есть day of year DOY 232.5–234.0) и рис. 3а (DOY 224.0–240.0) из [13] представлены динамические спектры, полученные в ходе эксперимента Cassini – RPWS. На рисунках отчетливо видна практически сплошная линия повышенных значений спектральной плотности мощности электромагнитного сигнала на частотах близких к частоте 202.97 кГц. В то же время на других частотах спектральная плотность мощности электромагнитного сигнала носит прерывистый характер. На рис. 2b в рамках эксперимента Cassini – RPWS представлены исследования параметра Стокса (Stokes parameter $S = \text{total intensity}$), а на рис. 2c и 2d представлены исследования степени поляризации сигнала, соответственно круговой 2c и линейной 2d. На всех трех рисунках видна линия соответствующая наличию гравитационно-электромагнитного резонанса Солнца.

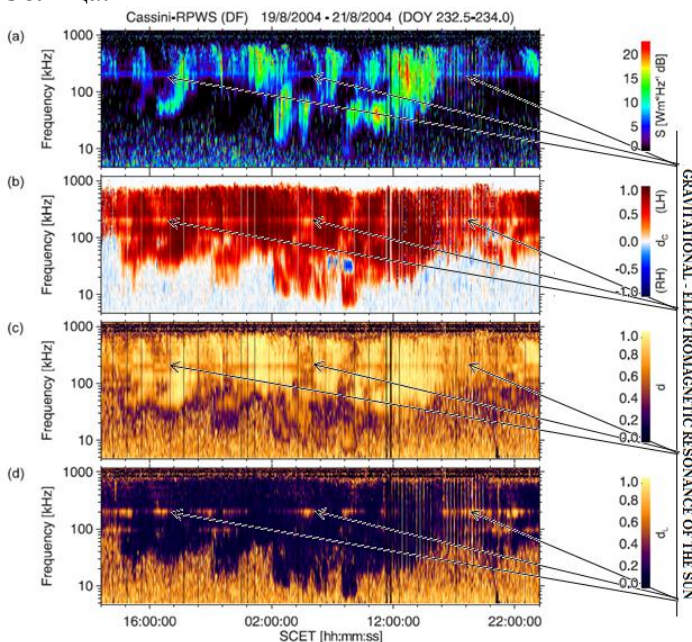


Fig.2. Cassini-RPWS dynamic spectra for (a) the Stokes parameter S (= total intensity), (b) the degree of circular polarization d_c , (c) the degree of polarization d and (d) the degree of linear polarization d_L as a result of the Direction-Finding computations for the time period DOY 232.5–234.0, 2004. [13].

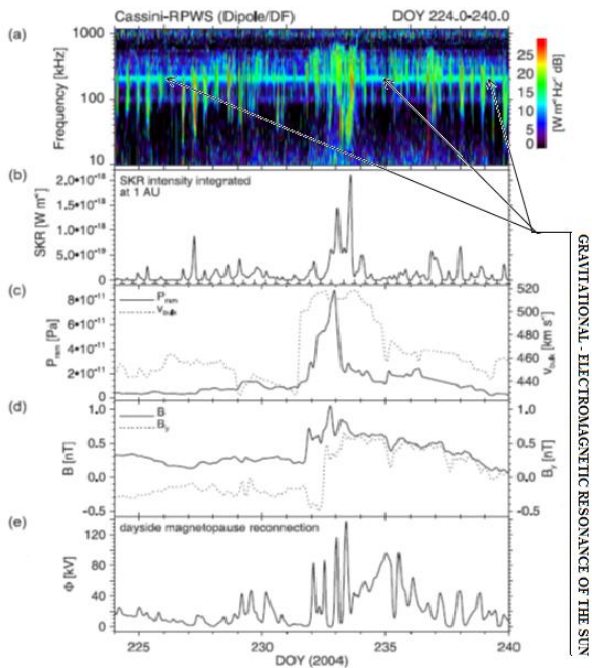


Fig. 3. (a) The RPWS dynamic spectrum, (b) the integrated SKR intensity profile, (c) profiles for the SW ram pressure (solid) and bulk velocity (dotted), (d) profiles for the interplanetary magnetic field strength (solid) and its y-component (dotted) in KSM-coordinates and (e) the profile of the reconnection voltage at the dayside magnetopause of Saturn during DOY 224–240, 2004. [13].

Гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца имеет разную степень влияния на АКР планет. Для сравнения общая картина АКР 5 планет представлена на рис. 4 из [7], на котором приведены графики зависимости спектра электромагнитных сигналов АКР от частоты.

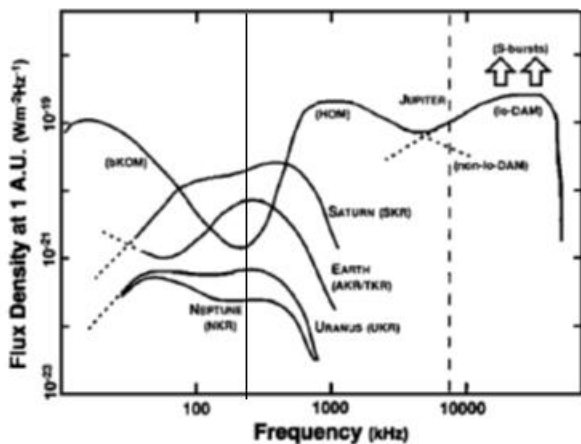


Fig. 4. Comparative spectra of auroral radio emissions of 5 planets. [7]

АКР Урана и Нептуна, как видно из их графиков на рис. 4 похожи друг на друга. Не смотря на то, что частота GERS находится в области локальных максимумов графиков, влияние GERS на АКР Урана и Нептуна минимально. Это связано со значительным расстоянием этих планет от Солнца и соответственно существенным уменьшением его гравитационного потенциала и уменьшением плотности потока солнечного ветра в области расположения Урана и Нептуна.

Влияние GERS на магнитосферу Юпитера и соответственно на его АКР ниже, чем например, на АКР Земли и Сатурна (см. рис. 4). Это связано с тем, что гравитационный потенциал Юпитера в области АКР намного выше гравитационного потенциала Солнца, а магнитное поле планеты настолько сильное, что эффект модуляции электромагнитных сигналов АКР с помощью солнечного ветра не оказывает доминантного влияния на характеристики АКР по сравнению с другими физическими процессами.

Частота гравитационно-электромагнитного резонанса Юпитера (GERJ) 212.7 МГц находится в области, которая называется синхротронным радиоизлучением (synchrotronradiation), или сокращенно JSR.

В диапазоне частот от 100 МГц до 4 ГГц JSR основано на некогерентном излучении релятивистских электронов [17]. Это в основном дециметровый (DIM) диапазон длин волн радиоизлучения. (In the frequency range from about 100 MHz to about 4 GHz, Jovian synchrotron radiation (hereafter referred as JSR) is emitted from the relativistic electrons, which is a non-thermal and incoherent radiation. JSR has a flat spectrum which is mainly in the decimeter (DIM) range).

На рис. 5 из [17] показан частотный спектр мощности радиоизлучения Юпитера (в сравнении со спектром АКР Земли), где в области радиоизлучения DIM (JSR) отмечена частота 212.7 МГц. Как видно из графика, спектр мощности радиоизлучения на частоте 212.7 МГц находится в зоне глобального максимума JSR.

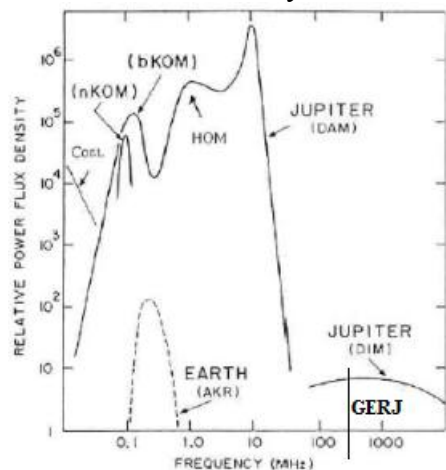


Fig. 5. Spectra of Jovian magnetospheric radiations. The power flux is normalized to constant distance. The spectrum of the Earth's is also shown as a comparison with Jupiter. [17].

Более подробно структура спектра JSR показана на рис. 6 из [18].

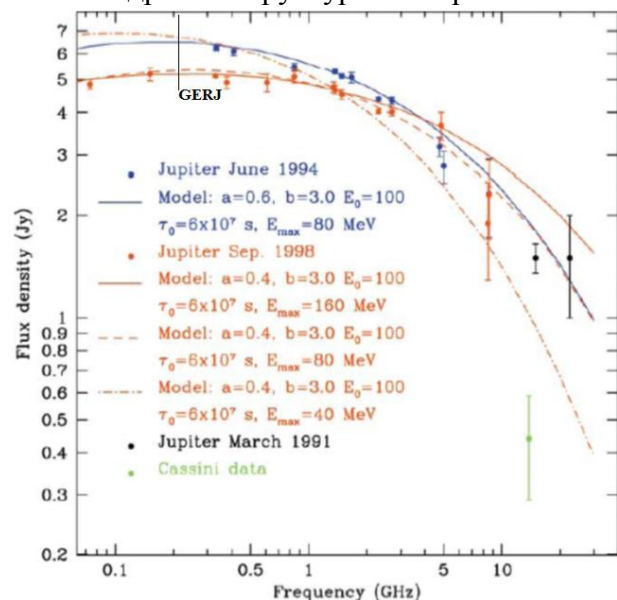


Fig. 6. JSR spectrum from 74 MHz to 8 GHz measured in July 1994 (blue circles) and September 1998 (red circles). The red and blue solid lines are the results of a model simulation. [18].

Рис. 6, также как и рис. 5, подтверждает, что частота GERJ находится в зоне глобального максимума графика спектра JSR. На основании этого можно предположить, что GERJ может быть одним из вторичных источников JSR.

Наибольшее влияние GERSоказывает на АКР Земли (АКР Земли также называется terrestrialКР, или ТКР) и АКР Сатурна – SKR.

Природа, источники и параметрыТКР исследованы, например, в [1,2,7,19,20,21]. В [19] представлены результаты экспериментов по исследованиюТКР, проведенных на космическом зонде JIKIKEN (EXOS-B). В работе отмечается, что пик спектра мощности сигналов ТКРнаходится в диапазоне от 100 кГц до 300 кГц, а усилениеэлектромагнитных волн, связанное с ускорением заряженных частиц, происходит в области магнитосферы Земли на высоте от 1.5 до 2.15 ее радиусов (Existenceofthespectrumpeakaround 100 kHzto 300 kHz, then, indicatethatastrongwaveparticleinteractionistakingplaceinarangefrom 1.5R, to 2.15R,suggestingtheauroralparticleaccelerationinthisregion.).

ВрамкахэкспериментаEnergySpectrumofParticles (ESP) (Energyspectrumofparticlescanbeanalyzedusingchanneltronmultiplier, inanenergyrangefrom 10 eVto 20 keV, bothfortheelectronandprotons.) былиисследованыспектрыэлектроновипротоноввэнергиямиот 10 eVдо 20 keV. На рис. 7 из [19] показана типичная динамическая спектрограмма электронов в области ТКР, полученная в рамкахESP.

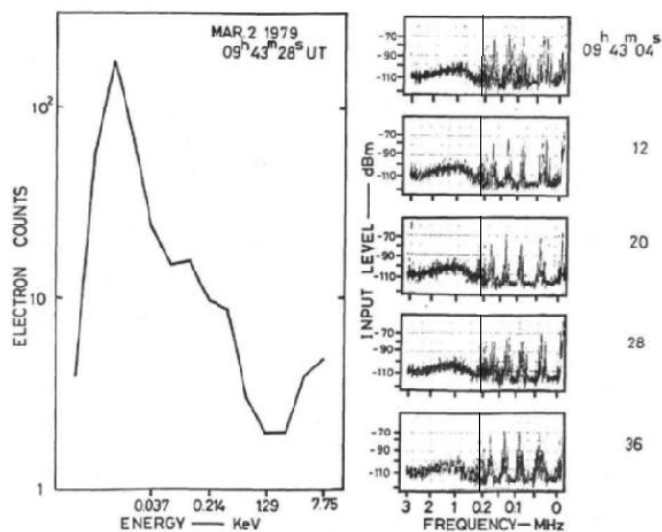


Fig.7.The energetic particle spectrum measured by ESP.[19].

На рис. 7 видно, что на частоте около 200 кГц наблюдается резонанс, который существенно менее интенсивный, чем, например, резонансы около 150 - 175 кГц, 120 кГц, 80 кГц, 40 кГц.На рис. 8 из [19]показан динамический спектр ТКР.

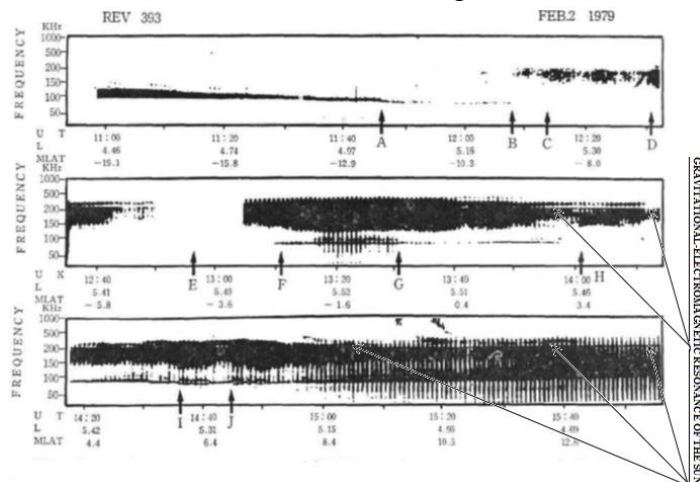


Fig.8.Dynamic spectra of the terrestrial kilometric radiation.[19].

На спектре ТКР на рис.8 четко видна практически сплошная линия интенсивности сигнала ТКР на частотеоколо 202.97 кГц. В то же время на других частотах интенсивность сигнала ТКР носит, как правило, прерывистый характер. Наличие сплошной линии на частоте около 202.97 кГц говорит об

относительной стабильности источника сигнала на этой частоте. Характер спектров на рис. 7 и рис. 8 подтверждают высказанное ранее предположение, что циклотронно-мазерный механизм является первичным источником ТКР. Далее первичный резонанс на частотах около 202.97 кГц захватывается гравитационно-электромагнитным резонансом Солнца и так как гравитация Солнца присутствует постоянно, то возникает эффект гравитационно – электромагнитного генератора на частоте 202.97 кГц с подкачкой сигнала на циклотронной частоте (или ее гармониках).

В [21] представлены результаты многолетних исследований на борту Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration (IMAGE) и Polar spacecraft (Several year's worth of observations from the plasma wave instruments on both Magnetopause-to-Aurora Global Exploration (IMAGE) and Polar spacecraft are used to study the seasonal and solar cycle variations in the spectrum of auroral kilometric radiation (AKR)) влияния на спектр АКР динамики сезонных и солнечных циклов. Также исследована зависимость усредненных спектров (the average spectra of AKR as a function of dipole tilt angle) сигналов АКР как функции угла наклона диполя магнитного поля Земли. Например, на рис. 9 из [21] представлен график такой зависимости.

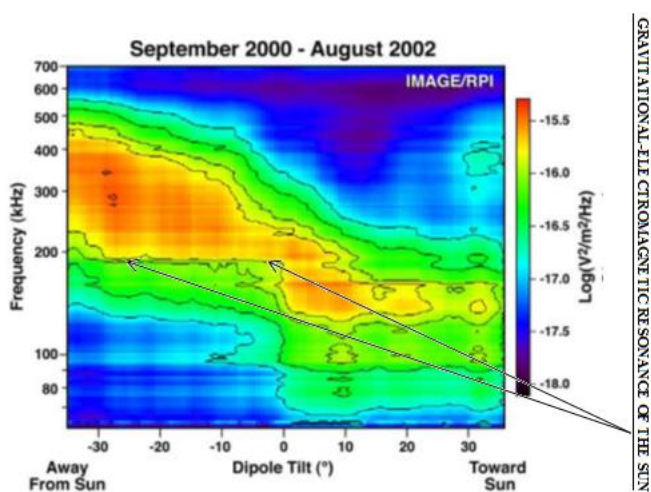


Fig. 9. The average spectra of AKR as a function of dipole tilt angle from observations by the IMAGE/RPI instrument. [21]

Распределение спектра сигналов АКР следующее: для отрицательных углов наклона диполя от 80 кГц до 500 кГц с пиком мощности около 260 кГц, для положительных углов наклона диполя от 60 кГц до 250 кГц с пиком мощности около 150 кГц. Обращает на себя внимание неестественно почти прямая линия на границе между двумя диапазонами интенсивности спектра сигналов (-16 и -16.5 единиц) АКР в области около 200 кГц для отрицательных углов наклона диполя. Эта прямая линия значит, что за поддержанием постоянной мощности сигнала АКР на уровне около -16 единиц, на частотах около 200 кГц, в диапазоне углов наклона диполя от 0 градусов до - (27-28) градусов стоит стационарный процесс подкачки сигнала на одной и той же частоте – около 200 кГц и с одинаковой интенсивностью. Можно предположить, что этот процесс – это гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца.

Нарис. 10 из [21] для сравнения представлены графики усредненных спектров сигналов АКР для различных углов наклона диполя магнитного поля Земли и различной интенсивности солнечной активности, полученные на IMAGE и Polar.

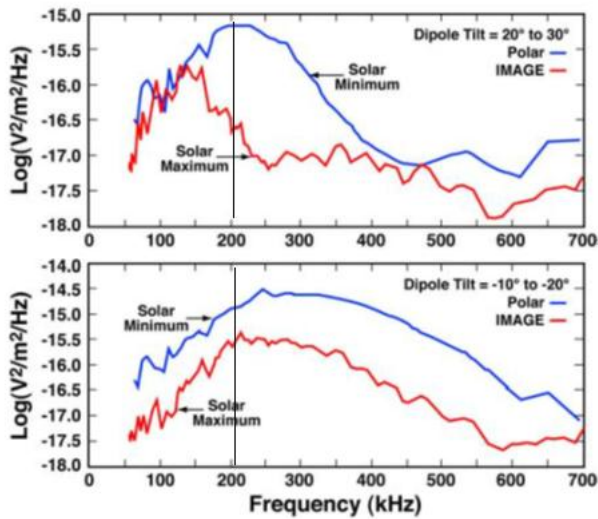


Fig. 10. Comparison of the average spectra over the same dipole tilt ranges where the emission peak is approximately constant for both Polar/PWI (blue) and IMAGE/RPI (red) for positive (top) and negative (bottom) dipole tilt angle. [21].

Как видно из рис. 10, спектры сигналов АКР на частоте 202.97 кГц находятся в области локальных максимумов, а для положительных наклонов диполя при минимуме солнечной активности по данным от Polar - в зоне глобального максимума.

В [20]

представлены экспериментальные исследования MF/HF ионосферной радиоэмиссии земной магнитосферы в диапазоне высот от 4 до 7 радиусов Земли, полученные с помощью спутника Wind. (We present observations of MF/HF ionospheric radio emission observed between 4-7 Re in the terrestrial magnetosphere by the Wind spacecraft.). В ходе эксперимента обнаружено интенсивное спорадическое излучение на частотах около 1.8 МГц и более устойчивое, но и менее интенсивное (more steady and weaker emission) излучение на частотах около 4.4 МГц. Нарис. 11 из [20] представлены графики спектров мощности сигналов АКР а также диапазонов MF/HF, полученных в ходе миссии Wind.

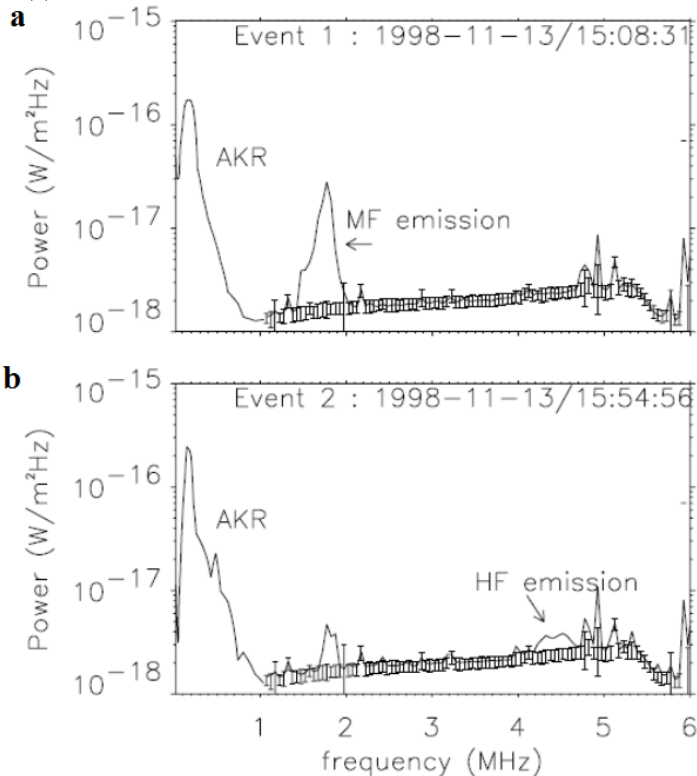


Fig. 11. Power spectra during the MF (top) and HF (bottom) events from the RAD1 (0.02-1.04 MHz) and RAD2 (1.075-14 MHz) receivers. The MF emission in the top panel peaked at $f \approx 1.8$ MHz has bandwidth $\delta f/f \approx 0.14$. HF emission is peaked near $f_{HF} \approx 4.5$ MHz and has a similar FWHM bandwidth. [20].

На графике на рис. 11, в части касающейсядиапазона частот АКР видно, что частота 202.97 кГц находится в области максимума излучения. Также на ниспадающей части графика АКР видны зоны его коррекции в сторону увеличения мощности сигнала в области частот около 400 кГц, 500 кГц, 600 кГц и 800 кГц. Если исключить частоту 500 кГц, то можно предположить, что в качестве вторичных источников в формировании АКР, кроме сигнала GERS на основной частоте 202.97 кГц, участвуют и его гармоники: 2, 3, 4. А в формировании повышенной интенсивности излучения в диапазоне частот MF и HF участвуют соответственно: в области частот около 1.8 МГц – 9 –я гармоника GERS и в области частот около 4.4 МГц – 4.6 МГц – 22 и 23 гармоника GERS.

На графике на рис. 12 из [22] приведена тонкая структура спектра сигнала АКР Земли, полученная в ходе эксперимента MEMO на космическом аппарате Interball 2.

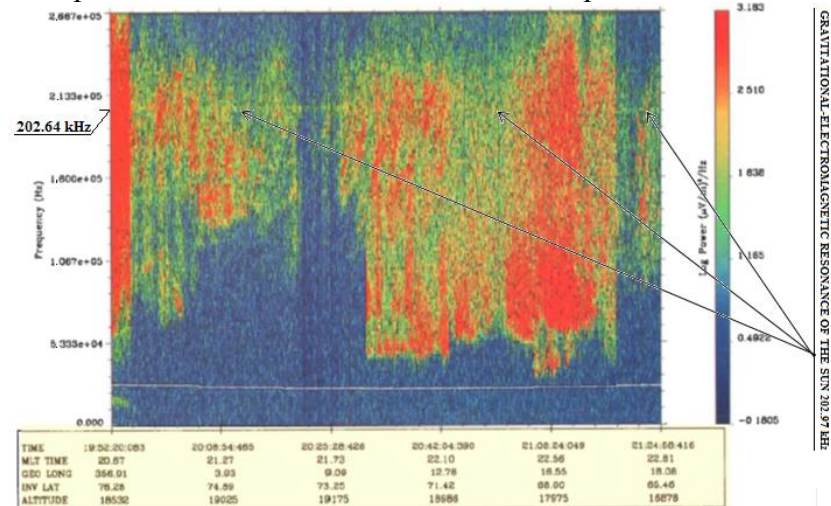


Fig. 12. AKR event recorded by MEMO on January 28, 1997, with an electric sensor. The spectrogram starts at 1952:20 UT and ends at 2124:58 UT. [22].

На рис. 12 над делением 202.64 кГц четко видна практически сплошная линия вторичного источника АКР на частоте 202.97 кГц на основе GERS. Также в ходе эксперимента POLRAD миссии Interball 2 были получены спектры АКР Земли в диапазоне 4 кГц – 1 МГц. На рис. 13 из [23] кроме основной частоты 202.97 кГц GERS присутствуют вторая и третья гармоники на частотах около 406 кГц и 609 кГц.

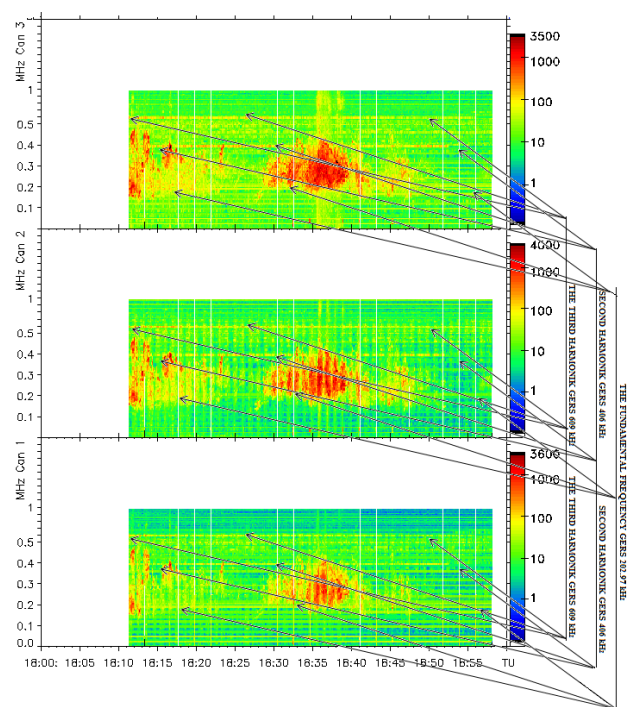


Fig. 13. An example of the AKR recorded with Interball 2 by the POLRAD radio-spectro-polarimeter. [23].

Наличие высших гармоник GERS в спектре АКР говорит о том, что GERS это стабильный и стационарный вторичный источник АКР.

По данным экспериментальных исследований миссий Вояджер и Кассини частотный диапазон АКР Сатурна согласно [24,25] находится в диапазоне от единицы килогерц до 1.2 МГц - 1.3 МГц с пиком мощности сигнала на частоте около 200 кГц. Что также подтверждает предположение: GERS может быть вторичным источником АКР Сатурна на частоте 202.97 кГц.

Выводы

Гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца (GERS) на частоте 202.97 кГц может быть одним из вторичных источников АКР планет, обладающих магнитосферой, прежде всего, Земли и Сатурна. Гравитационно-электромагнитный резонанс Юпитера (GERJ) на частоте 212.7 МГц может быть одним из вторичных источников JSR.

Если измерить длину волны огибающей спектра электромагнитного сигнала от любого удаленного объекта наблюдаемой Вселенной, то на основе закона “Универсальные пропорции Планка” можно однозначно определить массу этого объекта.

Литература

- [1] Gurnett, D. A.,: The Earth as a radio source: Terrestrial kilometric radiation, J. Geophys. Res., 79(28), 4227–4238, doi:10.1029/JA079i028p04227, 1974.
- [2] Kurth, W. S., M. M. Baumbach, and D. A. Gurnett, : Direction-finding measurements of auroral kilometric radiation, J. Geophys. Res., 80, 2764 - 2770, 1975.
- [3] Kaiser, M. L., and Alexander, J. K.,: Terrestrial kilometric radiation. III - Average spectral properties, J. Geophys. Res., 82, 3273-3280, 1977.
- [4] Wu, C. S. and Lee, L. C.,: A theory of terrestrial kilometric radiation, Astrophys. J., 230, 1979.
- [5] Benson, R.F., Auroral kilometric radiation: Wave modes, harmonics, and source region electron density structures., J. Geophys. Res., 90, 2753-2784, 1985.
- [6] Hayes, L. M. and D. B. Melrose, : Generation of ordinary mode auroral kilometric radiation from extraordinary mode waves., J. Geophys. Res., 91, A1, 1986.
- [7] Zarka, P.,: Auroral radio emission at the outer planets: Observations and theories, J. Geophys. Res., 103, 20159, 1998.
- [8] Louarn, P., and D. Le Quéau, : Generation of the auroral kilometric radiation in plasma cavities – I. Experimental study, Planet. Space Sci., 44(3), 1996.
- [9] Morioka, A. et al.,: Fundamental characteristics of field – aligned auroral acceleration derived from AKR spectra, J. Geophys. Res., 117, doi:10.1029/2011JA017137, 2012.
- [10] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Planck universal proportions. Gravitational - electromagnetic resonance., Fifth International Scientific Conference: "Metrology, technical regulations and quality assurance.", Collection of scientific papers., p.p. 72 – 78, 2015.
http://kachestvo.od.ua/wp-content/uploads/2015/06/Sbornik-MNPK-konferentsii-ODATRYA-2015_08_09_15.pdf
- [11] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Planck universal proportions. Gravitational - electromagnetic resonance., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 7 – 11, 2015.
- [12] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>
- [13] Taubenschuss, U., H. O. Rucker, W. S. Kurth, B. Cecconi, P. Zarka, M. K. Dougherty, and J. T. Steinberg, : Linear prediction studies for the solar wind and Saturn kilometric radiation, Ann. Geophys., 24, 3139–3150, 2006, www.ann-geophys.net/24/3139/2006/
- [14] Gurnett, D. A., Kurth, W. S., Kirchner, D. L., Hospodarsky, G. B., Averkamp, T. F., Zarka, P., Lecacheux, A., Manning, R., Roux, A., Canu, P., Cornilleau-Wehrlin, N., Galopeau, P., Meyer, A., Bostrom, R., Gustafsson, G., Wahlund, J.-E., Ahlen, L., Rucker, H. O., Ladreiter, H. P., Macher, W., Woolliscroft, L. J. C., Alleyne, H., Kaiser, M. L., Desch, M. D., Farrell, W. M., Harvey, C. C., Louarn, P., Kellogg, P. J., Goetz, K., and Pedersen, A.: The Cassini radio and plasma wave investigation, Space Sci. Rev., 114, 395–463, 2004.
- [15] Dougherty, M. K., Kellogg, S., Southwood, D. J., Balogh, A., Smith, E. J., Tsurutani, B. T., Gerlach, B., Glassmeier, K.-H., Gleim, F., Russell, C. T., Erdos, G., Neubauer, F. M., and Cowley, S. W. H.: The Cassini magnetic field investigation, Space Sci. Rev., 114, 331–383, 2004.

- [16] Young, D. T., Berthelier, J. J., Blanc, M., Burch, J. L., Coates, A. J., Goldstein, R., Grande, M., Hill, T. W., Johnson, R. E., Kelha, V., McComas, D. J., Sittler, E. C., Svenes, K. R., Szego, K., Tanskanen, P., Ahola, K., Anderson, D., Bakshi, S., Baragiola, R. A., Barraclough, B. L., Black, R. K., Bolton, S., Booker, T., Bowman, R., Casey, P., Cray, F. J., Delapp, D., Dirks, G., Eaker, N., Funsten, H., Furman, J. D., Gosling, J. T., Hannula, H., Holmlund, C., Huomo, H., Illiano, J. M., Jensen, P., Johnson, M. A., Linder, D. R., Luntama, T., Maurice, S., McCabe, K. P., Mursula, K., Narheim, B. T., Nordholt, J. E., Preece, A., Rudzki, J., Ruitberg, A., Smith, K., Szalai, S., Thomsen, M. F., Viherkanto, K., Vilppola, J., Vollmer, T., Wahl, T. E., West, M., Ylikorpi, T., and Zinsmeyer, C.: Cassini Plasma Spectrometer Investigation, *Space Sci. Rev.*, 114, 1–112, 2004.
- [17] Takuo Watanabe, Hiroaki Misawai, Fuminori Tsuchiya, Yoshizumi Miyoshi, Toshihiro Abe, and Akira Morioka.: Development of the observation system for the Jovian synchrotron radiation using an aperture synthesis array, *Tohoku Geophys. Journ. (Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5)*, Vol. 37, No. 1, pp. 1-89, 2005.
- [18] Nomura Shiho.: Studies on variation characteristics of the Jovian synchrotron radiation, Tohoku University, 2008.
<http://ir.library.tohoku.ac.jp/re/bitstream/10097/34727/1/Nomura-Shiho-02-08-0053.pdf>
- [19] Oya Hiroshi, : Summary on Plasma Wave Emissions Observed by JIKIKEN- Preliminary Report for the Initial Phase of the Observation Results, *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophysics*, Vol. 26, No. 1, pp. 1-14, 1979.
- [20] Bale, S. D., : Observation of topside ionospheric MF/HF radio emission from space, *J. Geophys. Res. Letter*, Vol. 26, NO.6, p.p. 667-670, 1999.
- [21] Green James L., Scott Boardsen, Leonard Garcia, Shing F. Fung, and B. W. Reinisch, : Seasonal and solar cycle dynamics of the auroral kilometric radiation source region, *J. Geophys. Res.*, Vol 109, A05223, doi:10.1029/2003JA010311, 2004.
- [22] Parrot, M., *and others*, : Propagation characteristics of auroral kilometric radiation observed by the MEMO experiment on Interball 2, *J. GEO R-S P*, 106(A1), p.p. 315-325, 2001.
- [23] http://www.iki.rssi.ru/images/auroral/polrad_1.gif
- [24] Cecconi, B., P. Zarka, and W. S. Kurth, : SKR polarization and source localization with the Cassini/RPWS/HFR instrument: First results,
<http://www.lesia.obspm.fr/perso/baptiste-cecconi/preprint/cecconiPRE6.pdf>
- [25] Menietti, J. D., S.-Y. Ye, C. W. Piker, and B. Cecconi, : The influence of Titan on Saturn kilometric radiation, *Ann. Geophys.*, 28, p.p. 395–406, 2010.