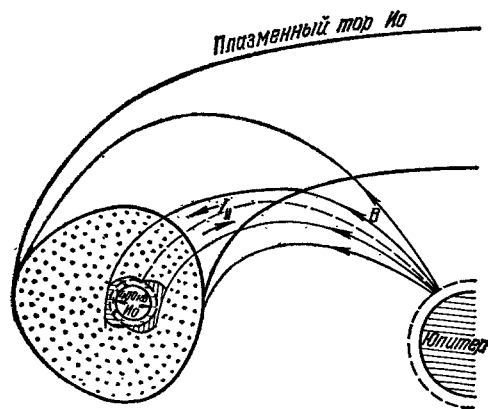


А. А. Галеев, В. В. Красносельских. Плазменные механизмы магнитосферных радиовсплесков Юпитера. Всплески декаметрового радиоизлучения Юпитера, модулируемые его спутником Ио, изучаются с помощью наземных средств около четверти века^{1,2}. Это излучение генерируется в верхней



ионосфере Юпитера пучками субрелятивистских электронов, ускоряемых в плазменной оболочке Ио за счет движения ее в магнитном поле Юпитера (см. рисунок). Наиболее предпочтительным механизмом генерации излучения является прямое возбуждение электромагнитных волн этими пучками. Совпадение максимальной частоты излучения с циклотронной частотой электронов на поверхности планеты указывает на циклотронный или синхротронный механизм взаимодействия волн с электронами. Возбуждение необыкновенных электромагнитных мод пучками электронов³ возможно лишь недалеко от поверхности планеты, где плотность ионосферной плазмы достаточно велика ($n_p \sim 10^3 \text{ см}^{-3}$). При этом излучение, генерируемое в Северном полушарии,

является правополяризованным и имеет высокую частоту порядка двадцати мегагерц⁴. Оценки уровня насыщения роста колебаний благодаря бунчировке электронов пучка по фазам их вращения в магнитном поле^{5,6} дают интенсивность излучения порядка наблюдаемой. В более разреженных верхних слоях ионосферы предпочтительным оказывается синхротронный механизм генерации пучками электронов левополяризованной обыкновенной волны, насыщение роста которых ограничивается тем же эффектом бунчировки по фазам^{6,7}. Последнее обстоятельство согласуется с результатами наблюдений, согласно которым высокочастотное декаметровое излучение оказывается правополяризованным, а более низкочастотное — левополяризованным. Вследствие концентрации продольных потоков электронов в тонкие токовые слои, излучение происходит преимущественно вдоль этих слоев.

Открытие километрового излучения Земли позволило сделать заключение о том, что генерация радиоизлучения происходит в окрестности всех планет, имеющих значительное собственное магнитное поле⁸. При этом пучки электронов ускоряются в магнитосферах планет во время суббурь — взрывообразных процессов высвобождения

энергии, накопленной в виде энергии магнитного поля усиленного движением плазмы солнечного или планетарного ветра. В случае юпитерианской магнитосферы это объясняет наличие декаметрового излучения, не зависящего от положения спутника Ио и имеющего максимум на частоте около 8 МГц⁸.

Измерение электромагнитного излучения на космических аппаратах «Вояджер-1,2» привело к открытию новой компоненты радиоизлучения Юпитера в диапазоне километровых длин волн^{9,10}. Частоты этого излучения (от нескольких килогерц до сотен килогерц) настолько низки, что оно не проникает сквозь ионосферу Земли и поэтому не могло наблюдаться с помощью наземных средств. Естественно было предположить, что это радиоизлучение также генерируется пучками электронов. На наличие пучков указывает обнаружение низкочастотных колебаний с V-образной формой спектрограммы, минимум частоты в которой совпадает с частотой нижнегибридного резонанса¹¹. Как известно из исследований земной магнитосферы, появление таких колебаний, получивших название «авроральных пицений», ассоциируется с наличием аврорального пучка электронов с энергией 10 эВ — 1 кэВ и полным потоком 10^8 — 10^{10} см⁻²с⁻¹. Поскольку характеристики колебаний в магнитосфере Юпитера совпали с земными, то авторы¹¹ сделали вывод о наличии пучка электронов с указанными параметрами. Этот вывод подтверждается прямыми измерениями потоков на «Пионерах-10, 11»¹². Источником частиц такого пучка является плазменный тор Ио, охватывающий орбиту этого спутника и открытый путем прямых измерений в магнитосфере Юпитера на космических аппаратах «Вояджер-1,2». Проекция области генерации пучка вдоль силовых линий магнитного поля на атмосферу Юпитера видна также на фотографиях полярного сияния, возникающего при бомбардировке атмосферы электронами. Анализ взаимодействия пучка с ионосферой Юпитера показывает, что при этом генерируется радиоизлучение с частотой, близкой к локальной плазменной частоте в области взаимодействия¹³. Наблюдение максимума этого излучения в момент, когда северный полюс наклонен в сторону космического аппарата, указывает на то, что область генерации находится в полярной ионосфере. Ранее сделанные предположения о том, что оно могло генерироваться в самом плазменном торе Ио¹⁰, сейчас исключается тем, что плазменная частота там ниже, чем верхний порог обрезания километрового радиоизлучения Юпитера¹⁴. Механизм генерации¹³ заключается в переизлучении плазменных колебаний, возбуждаемых электронным пучком, при рассеянии их на флуктуациях плотности плазмы. Такие флуктуации, как показывают измерения в земной магнитосфере¹⁵, могут возникать благодаря ионно-циклотронной неустойчивости продольных токов, связывающих область генерации электрического поля на краю плазменного тора с ионосферой Юпитера. Малая эффективность этого механизма генерации излучения¹³ в земной магнитосфере может объясняться ограниченностью электронных потоков в направлении поперек магнитных силовых линий, что обеспечивает быстрый выход плазменных колебаний из области генерации¹⁶.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Бердж Д. Л., Галкис Д. — В кн. Юпитер. Т. 3. — М.: Мир, 1979. — С. 7.
2. Карп Т. Д., Деш М. Д. — Ibid., С. 91.
3. Железняков В. В. — Изв. вузов. Сер. «Радиофизика», 1960, т. 3, с. 57.
4. Ellis G. R. — Radio Science. Ser. D, 1965, v. 69, p. 1513.
5. Kawamura K., Suzuki I. — Astrophys. J., 1976, v. 18, p. 19.
6. Гавонов А. В., Петелин М. И., Юлпатов В. К. — Изв. вузов Сер. «Радиофизика», 1967, т. 10, с. 1414.
7. Галеев А. А., Красносельских В. В. — Письма АЖ, 1979, т. 5, с. 478.
8. Kennel C. F., Maggs J. E. — Nature, 1976, v. 261, p. 299.
9. Scarf F. L., Gurnett D. A., Kurth W. S. — Science, 1979, v. 204, p. 991.
10. Warwick I. W., Pearce J. B., Riddle A. C. et al. — Ibid., p. 995.
11. Gurnett D. A., Kurth W. S., Scarf F. L. — Science, 1980, v. 205 (in press).
12. Fillius R. W., McIlwain C. E., Moggio-Campere A. — Science, 1975, v. 188, p. 465.
13. Галеев А. А., Красносельских В. В. — Физ. плазмы, 1978, т. 4, с. 111.
14. Gurnett D. A., Kurth W. S., Scarf F. L. — Nature, 1980 (in press).
15. Hudson M. K., Mozer F. S. — Geophys. Res., 1978, v. 5, p. 131.
16. Maggs J. E. — J. Geophys. Res., 1978, v. 83, p. 3173.