К теории эффекта инверсии поляризации в солнечном радиоизлучении

Е.Я.Злотник

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

Эффект инверсии поляризации был впервые обнаружен в солнечных микроволновых всплесках более 40 лет назад: в работе (Tanaka & Kakinuma, 1959) было показано, что знак круговой поляризации радиоизлучения всплесков менялся на противоположный на некоторой частоте. Это явление было объяснено эффектом линейного взаимодействия обыкновенных и необыкновенных волн в магнитоактивной плазме солнечной короны в области квазипоперечного распространения (Cohen M.H., 1960; Железняков В.В., Злотник Е.Я., 1963). Указанный эффект объясняет также биполярный характер источников медленно меняющегося радиоизлучения, связанных с соответствующими группами пятен, и некоторые особенности изменения знака круговой поляризации при перемещении источника s-компоненты по солнечному диску (Gelfreikh et al., 1987, Alissandrakis, 1999).

Однако объяснение существования биполярных источников радиоизлучения в метровом диапазоне волн тем же эффектом взаимодействия волн в поперечном магнитном поле встретилось с большими трудностями, поскольку в корональных условиях на метровых волнах не реализуется условие сильного взаимодействия. В этом случае постоянство знака поляризации от источника излучения до выхода из короны обусловлено, вероятнее всего, прохождением волн через токовый слой, где смена знака поляризации магнитного поля на луч зрения происходит в нулевом, а не поперечном магнитном поле. Различные варианты такого типа взаимодействия и применение его к солнечным всплескам рассмотрены в работах (Железняков, 1977, Железняков и др., 1983, Железняков и Злотник, 1988; Gopalswamy et al., 1994, Zheleznyakov et al., 1996).

Таким образом, до недавнего времени инверсия знака поляризации по диапазону в солнечном радиоизлучении связывалась, главным образом, с изменением знака проекции магнитного поля на луч зрения на трассе распространения радиоволн в короне и сохранением или нарушением приближения геометрической оптики в этих областях. Однако изменение знака круговой поляризации может быть вызвано не только условиями распространения, но и различной интенсивностью генерации обыкновенных и необыкновенных волн в источнике излучения. Один из возможных вариантов такого рода в применении к тепловому циклотронному излучению электронов в атмосфере над солнечными пятнами проанализирован в работах (Zlotnik, 1994, Zlotnik, 1999) и состоит в следующем. В типичных источниках повышенного микроволнового излучения, связанных с магнитным полем пятен, где магнитное поле уменьшается с высотой, а кинетическая температура растет от хромосферных до корональных значений, преобладает генерация необыкновенной волны. Однако, если гирорезонансные уровни, ответственные за циклотронное излучение на фиксированной частоте, расположены в области отрицательного градиента температуры, то на такой частоте ожидаемая яркостная температура необыкновенного излучения окажется ниже соответствующих значений для обыкновенной волны. Таким образом, в некотором частотной полосе, соответствующей интервалу высот с отрицательным градиентом температуры, знак поляризации будет противоположным тому, который ожидается вне этого интервала, что и приводит к явлению инверсии поляризации, аналогично результату линейного взаимодействия в поперечном магнитном поле. Такая ситуация реализуется, например, в корональных петлях, когда температура нарастает от корональных до максимальных значений, а затем спадает до фона (в горячей петле) или наоборот (в холодной петле).

На первый взгляд, две приведенные причины инверсии поляризации – преимущественная генерация разного типа волн на разных частотах в источнике или изменение соотношения между ними в процессе распространения радиоволн в неоднородном магнитном поле короны – трудно различимы по результатам наблюдений. Однако, при достаточно полном наборе наблюдательных данных существуют признаки, по которым можно отличить указанные эффекты.

Первый из них состоит в том, что область в короне, где температура вдоль луча зрения спадает по высоте, занимает ограниченный интервал высот, поэтому инверсия поляризации должна происходить, по крайней мере, два раза (или четное число раз, если на луче зрения встречается несколько петель): на высоких и низких частотах, соответствующих росту температуры с высотой в короне, преобладает необыкновенная волна, а в центральной части интервала, соответствующей отрицательному градиенту температуры, поляризация соответствует обыкновенной волне; в то же время линейное взаимодействие волн в поперечном поле приводит, вероятнее всего, к однократной смене знака поляризации по диапазону, поскольку из геометрических соображений многократное пересечение магнитного поля под прямым углом мало вероятно.

Второе различие связано с тем, что, если инверсия обусловлена эффектом распространения, то полная степень поляризации сохраняется при распространении волны, и на частотах в окрестности частоты, где степень круговой поляризации стремится к нулю и меняет знак, возникает линейно поляризованное излучение, поскольку две противоположно вращающиеся компоненты при этом когерентны; если же разные знаки вращения на различных частотах вызваны условиями в самом источнике микроволнового излучения, то на частотах, близких к частоте инверсии, излучение истинно неполяризовано. Отметим, что регистрация линейной поляризации солнечного микроволнового излучения сталкивается со значительными трудностями, хотя отдельные случаи описаны в литературе (Alissandrakis & Chiuderi-Drago, 1994).

Наконец, важным фактором, позволяющим сделать правильный вывод о причинах инверсии поляризации, является геометрия источника с учетом магнитных полей на уровне фотосферы и изменения поляризационных характеристик радиоисточника при его перемещениии по гелиографической долготе. В частности, в биполярном источнике s-компоненты, зарегистрированном радиотелескопом РАТАН-600 12 -20 мая 1996 г. (Alissandrakis et al., 1999), у которого поляризация меняла знак в обеих компонентах группы на одинаковой частоте, причем эта частота инверсии не менялась в течение нескольких дней наблюдений, именно геометрический фактор и постоянство частоты инверсии при изменении гелиографической долготы свидетельствуют о том, что более вероятной причиной происхождения этого эффекта является существование области с отрицательным градиентом температуры в атмосфере наблюдаемой активной области (Zlotnik, 1999).

Работа поддержана грантом РФФИ N 98-02-16238.

Литература

Alissandrakis C., 1999, Proc.Nobeyama Symp., NRO Report 479, 53.
Alissandrakis C.E., Chiuderi-Drago F., 1994, Astrophys.J.Lett., 428, L73.
Alissandrakis C.E., Gizani N., Bogod V., Garaimov V., Gelfreikh G., Zheleznyakov V., Zlotnik E., 1999, Proc. 9th European Meeting on Solar Physics, Florence, ESA SP-448, 1225.
Cohen M.H., 1960, Astrophys. J., 131, 664.
Gelfreikh G.B., Peterova N.G., Ryabov B.I., 1987, Solar Phys., 108, 89.
Gopalswamy N., Zheleznyakov V.V., White S.M., Kundu M.R., 1994, Solar Phys., 155, 339.
Железняков В.В., Злотник Е.Я., 1963, Астрон.ж., 40, 633.
Железняков В.В., 1977, ЖЭТФ, 73, 560.
Железняков В.В., Кочаровский В.В., Кочаровский Вл.В., 1983, УФН, 141, 257.
Zheleznyakov V.V., Kocharovskii V.V., Kocharovskii Vl.V., 1996, Astron.Astrophys., 308, 685.
Железняков В.В., Злотник Е.Я., 1988, Письма в АЖ, 14, 175.
Zlotnik E.Ya., 1994, Abstracts of CESRA Workshop "Coronal Magnetic Energy Releases", Caputh- Potsdam, 84.
Zlotnik E.Ya. 1999, Proc. 9th European Meeting on Solar Physics, Florence, ESA SP-448, 1239.
Tanaka H, Kakinuma T., 1959, Paris Symp. on Radio Astronomy, Stanford Univ. Press, 215.