Широкополосное микроволновое излучение и проблемы ускорения и динамики электронов во вспышечных петлях.

В.Ф. Мельников

Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ),
Б. Печерская 25, Н. Новгород 603600, Россия

Приводится обзор новых результатов наблюдений широкополосных микроволновых всплесков, разработки их теоретических моделей, диагностики физических условий и процессов ускорения и распространения электронов во вспышечных петлях.

Континуальное см-мм-излучение является признанным и очень важным источником сведений о спектре ускоренных среднерелятивистских и релятивистских электронов, а также о физических условиях в области солнечных вспышек. Такие сведения существенно дополняют информацию, получаемую из данных о жестком рентгеновском (HXR) и континуальном гамма излучениях вспышек. Это связано, во-первых, с принципиальным различием механизмов генерации и, соответственно, с различием основных параметров среды, определяющих излучение (плотность плазмы и напряженность магнитного поля), и, во-вторых, с пространственным различием областей их генерации. Основной поток HXR и гамма излучений генерируется тормозным механизмом электронами, высыпающимися из вспышечной петли в плотные слои хромосферы. Основной поток микроволнового излучения, наоборот, в большинстве случаев генерируется электронами, захваченными во вспышечной магнитной петле, и механизм его генерации - гиросинхротронный.

В обзоре рассмотрены новые данные, полученные в последнее время благодаря существенному прогрессу техники измерений. Ударение делается на новых фактах, относящихся к а) частотному спектру и его динамике в см-, мм- и субмм-областях; б) распределению радиояркости и изменению частотного спектра излучения вдоль вспышечной петли; в) тонкой (субсекундной) временной структуре микроволнового излучения. Обсуждаются новые закономерности связи параметров радиоизлучения с HXR и гамма-излучениями. Отмечается, что в ряде случаев обнаруженные закономерности не согласуются с принятыми ранее представлениями о источниках микроволнового и HXR-гамма излучений. В частности, к ним следует отнести явное несоответствие спектральных индексов микроволнового и HXR-излучений как по величине, так и по характеру изменения в ходе всплеска. Показано, что к важным изменениям в наших представлениях о генерации микроволновых всплесков следует отнести понимание того, что спектр электронов в микроволновом источнике существенно отличается от спектра электронов в источнике жесткого рентгеновского излучения. Это приводит к оценкам физических параметров во вспышечных петлях, существенно отличающихся от общепринятых.

Сделан обзор существующих моделей широкополосного микроволнового излучения солнечных вспышек. Показано, что до сих пор в теории этого излучения имеется довольно много белых пятен, которые не позволяют проводить достаточно адекватную диагностику физических параметров в области вспышки.

Прежде всего, мало исследованными являются вопросы, связанные с нестационарностью энергетического спектра электронов и генерируемого ими излучения, с его деформацией в ходе вспышки и даже в течение отдельного "элементарного" всплеска. Во-вторых, непонятна роль плазменной турбулентности во вспышечной петле и ее влияния на динамику и спектр энергичных электронов и соответствующего широкополосного микроволнового излучения. В-третьих, не вполне ясен вклад в это излучение механизмов, отличных от гиросинхротронного, таких, например, как тормозной или переходный. Главным образом это связано с тем, что до сих пор в большинстве случаев из данных наблюдений не удается получить достаточно сведений о характеристиках среды внутри радиоисточника (плотность плазмы, напряженность магнитного поля, уровень, тип и спектр турбулентности). В-четвертых, совершенно недостаточно проработаны теоретические вопросы, связанные с неоднородностью магнитного поля и плотности плазмы во вспышечной петле и с их влиянием на пространственное распределение яркости радиоизлучения по источнику.