

$\sim 10^7 - 10^8$  К и многочисл. дискретных всплесков разных типов. На  $\lambda \sim 1-5$  м чаще всего наблюдаются т. н. всплески I типа — кратковременные (0,1—2 с) и узкополосные (2—10 МГц) элементы излучения. Конкретная картина непрерывного ускорения электронов в активных областях и механизм генерации всплесков I типа ещё не до конца ясны. Предполагается, что ускорение частиц происходит в результате локального магн. пересоединения в скрученных магн. петлях, на фронтах слабых ударных волн или в токовом слое корональных лучей, наблюдаемых над активными областями. При интерпретации континуума и всплесков I типа рассматривают разл. варианты плазменного механизма (возбуждение ленгмюровских или верхнегибридных волн с последующей конверсией этих волн в эл.-магн. излучение за счёт рассеяния на ионах или НЧ-турбулентности), а также циклотронного механизма (непосредств. генерация обыкновенных волн на ниж. гармониках гирочастоты; см. *Волны в плазме*).

В шумовых бурях на  $\lambda \leq 5$  м, а также на гектометровых волнах преобладают всплески III типа (см. ниже). В декаметровом диапазоне во время бурь наблюдаются также двойные дрейфующие всплески («эх»-всплески), узкополосные всплески с расщеплением по частоте ( $\Delta f \sim 100$  кГц), др. тонкоструктурные элементы.

Наиб. интенсивные и разнообразие радиовсплески связаны с солнечными вспышками (рис. 7). В случае

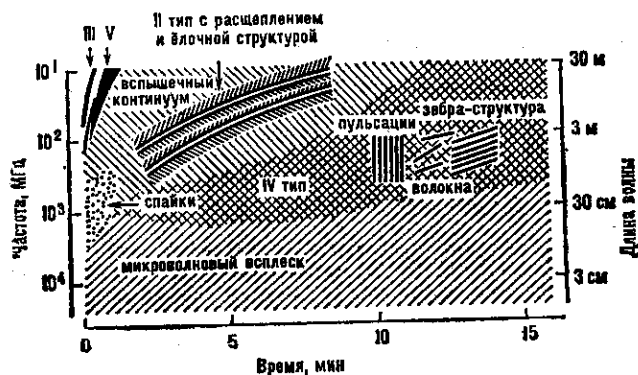


Рис. 7. Схема динамического спектра радиовсплесков, связанных с крупной вспышкой.

сравнительно слабых вспышек в сантиметровом диапазоне регистрируются всплески длительностью минуты — десятки минут, к-рые являются результатом нагрева плазмы в ниж. короне до  $T \sim (1-5) \cdot 10^8$  К. В метровом диапазоне и на более длинных волнах такие события сопровождаются всплесками III типа. Это наиб. часто встречающийся вид активности в радиодиапазоне. Гл. свойства всплесков III типа — быстрый дрейф излучения от ВЧ к НЧ и гармонич. структура (одноврем. излучение на частотах, относящихся как 2 : 1). Всплески III типа возникают вследствие возбуждения ленгмюровских волн потоками электронов, распространяющихся через корону и межпланетную среду со скоростью  $\sim 10^6$  км/с (энергия электронов — десятки кэВ). (Дрейф по частоте обусловлен уменьшением плазменной частоты при движении электронов из более плотных областей в менее плотные.) Такая модель подтверждена прямыми измерениями на космич. аппаратах электронных потоков и генерируемой ими ленгмюровской турбулентности (см. *Турбулентность плазмы*). При этом излучение осн. тона появляется в результате рассеяния ленгмюровских волн на тепловых ионах или на НЧ-турбулентности, а излучение гармоники — вследствие комбинац. взаимодействия встречных ленгмюровских волн. Несмотря на эффект квазилинейной релаксации, поток электронов сохраняет способность генерировать всплески III типа на

всей трассе распространения от С. до Земли (см. *Взаимодействие частиц с волнами*). В нек-рых моделях это объясняется стабилизацией пучковой неустойчивости за счёт индуциров. рассеяния ленгмюровских волн на тепловых ионах или за счёт др. нелинейных эффектов, выводящих ленгмюровские волны из резонанса с потоком.

При распространении электронных потоков вдоль замкнутых магн. петель генерируются разновидности всплесков III типа со сменой направления частотного дрейфа (U- и J-всплески), а при захвате электронов в замкнутых магн. петлях вслед за всплесками III типа на  $\lambda \sim 3-10$  м появляется континуальное излучение — всплески V типа — длительностью от десятков секунд до минут. Этот тип радиоизлучения также интерпретируется в рамках плазменного механизма.

В отд. вспышках средней и большой мощности после всплесков III, V типов на  $\lambda < 1,5-2$  м наблюдаются всплески II типа. Они тоже обнаруживают гармонич. структуру и дрейф сравнительно узких ( $\Delta f/f \sim 0,4$ ) полос излучения от ВЧ к НЧ. Однако скорость дрейфа примерно в 100 раз ниже, чем у всплесков III типа. Это связано с тем, что агентом, инициирующим всплески II типа, являются бесстолкновительные ударные волны, распространяющиеся от вспышек со скоростью  $\sim 10^8$  км/с. В разл. моделях рассматриваются квазиперпендикулярные или квазипараллельные ударные волны с магн. числом Маха  $M < 2$  или  $2 \leq M < 10$ . Механизм генерации всплесков II типа по существу такой же, как и у всплесков III типа (т. е. плазменный), за исключением одной дополнительной стадии — ускорения частиц на фронте ударной волны. Об ускорении электронов свидетельствует т. н. ёлочная структура — последовательность быстро дрейфующих элементов (миниатюрных всплесков III типа), выходящих из осн. полос излучения в сторону НЧ и ВЧ. Наблюдаемое во всплесках II типа частотное расщепление каждой из гармоник на две одинаковые полосы можно интерпретировать как плазменное излучение перед фронтом и за фронтом ударной волны или как следствие осцилляторной структуры фронта ударной волны.

В импульсных вспышках ударная волна, возбуждающая всплеск II типа, носит взрывной характер. В мощных длит. вспышках ударная волна, напротив, является поршневой (роль поршня играет корональный транзит), а сам всплеск II типа имеет продолжение на гектометровых и километровых волнах, т. е. при распространении ударной волны в межпланетном пространстве.

Большие вспышки сопровождаются также интенсивными микроволновыми всплесками со сложными временным профилем и пространственной структурой. Здесь на фоне сравнительно плавных вариаций за время порядка минут на нач. фазе вспышки регистрируются многочисл. узкополосные ( $\Delta f \sim 10-15$  МГц) и интенсивные выбросы излучения миллисекундного масштаба. Такие же выбросы, или спайки, наблюдаются в дециметровом диапазоне. Источник микроволновых всплесков — низкие корональные магн. петли, содержащие электроны с энергией десятки и сотни кэВ. Фоновое излучение с  $T_b \sim 10^8-10^{11}$  К связывается с гиротронным (циклотронным) излучением в магн. поле  $H \sim 100-500$  Гс или с плазменным излучением в плотных ( $N \sim 10^{11}-10^{12}$  см $^{-3}$ ) вспышечных ядрах. Миллисекундные спайки характеризуются наиб. высокой яркостью темп-рой (до  $10^{15}$  К). Предполагается, что они представляют собой проявление отд. элементарных актов вспышечного энерговыделения, отражают его фрагментарный характер и генерируются в результате мазерного циклотронного излучения (см. *Мазер на циклотронном резонансе*) на низких гармониках электронной гирочастоты.

В течение взрывной фазы крупных вспышек (практически одновременно с микроволновыми всплесками и всплесками III типа) во всём диапазоне от децимет-