

И. А. Житник, С. Л. Мандельштам, И. П. Тиндо, А. М. Урнов. Новые наблюдательные данные о рентгеновских вспышках и активных областях на Солнце. Проблема солнечных вспышек — одна из центральных для физики Солнца. Во время вспышек выделяется энергия $\approx 10^{28}—10^{32}$ эрг в виде электромагнитного излучения — гамма, рентгеновского, ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радио, ускоренных частиц — электронов, протонов и нейтронов, и сгустков плазмы. Вспышки существенно влияют на процессы, разыгрывающиеся в магнитосфере и ионосфере Земли.

Первичная энергия вспышек, как показали основополагающие работы А. Б. Северного и его сотрудников, черпается из локальной магнитной энергии активной области, где происходит вспышка. Однако, что происходит дальше? Как трансформируется эта энергия в энергию наблюдаемых проявлений вспышки? Существует много более или менее убедительных теоретических представлений — о них будет говорить Б. В. Сомов, но что происходит в действительности, мы не знаем.

В настоящем докладе кратко излагаются результаты наблюдений рентгеновского излучения вспышек, полученные в последние годы. Рентгеновское излучение характеризует электронный компонент плазмы и поэтому наиболее тесно связано с первичными процессами выделения энергии во вспышках.

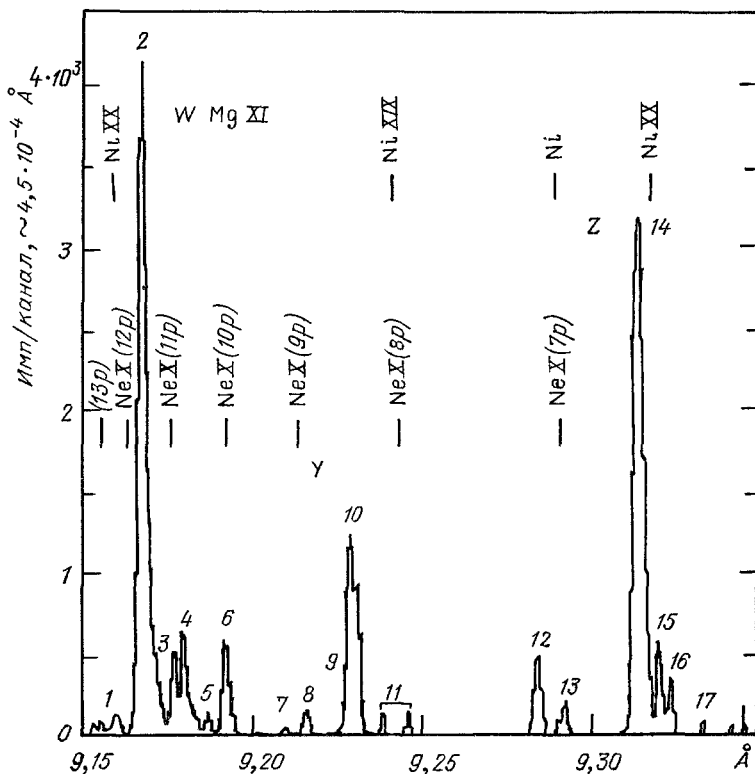
Во вспышке, как правило, проявляются две фазы: «импульсная», с длительностью от нескольких секунд до нескольких минут, и «плавная», с длительностью от нескольких минут до десятков минут и нескольких часов. Импульсная фаза характеризуется резким возрастанием жесткого рентгеновского излучения ($E \approx 20\text{--}30$ кэВ, иногда с энергией вплоть до нескольких сотен кэВ); начинается возрастание свечения в H_{α} , далекого ультрафиолетового излучения, а также появляются радиовсплески III типа. В плавной фазе возрастают, а затем медленно спадают мягкое рентгеновское ($E \lesssim 10$ кэВ), микроволновое и H_{α} -излучения. В самое последнее время, благодаря увеличению чувствительности детекторов, импульсная фаза обнаружена и в мягком рентгеновском излучении, а плавная фаза — в жестком.

Результаты рентгеновских наблюдений в мягком и жестком диапазонах: измерения потоков, регистрация изображений вспышек, исследование спектров и поляризации непрерывного и линейчатого излучения — приводят к следующему вероятному сценарию развития вспышки. При изменении локального магнитного поля в активной области (всплывание новой магнитной трубки, перестройка имеющегося поля, например вследствие движения вещества и т. д.), по-видимому, в верхней части магнитных петель в короне на высоте 30—60 тыс. км происходит первичный переход части магнитной энергии в тепловую энергию плазмы и части энергии — в направленное движение электронов с энергией $\approx 20\text{--}30$ кэВ. Часть этих электронов выходит за пределы атмосферы Солнца, вызывая при прохождении короны появление радиовсплесков III типа. Другая часть ускоренных электронов устремляется вдоль магнитных силовых линий в хромосферу. Энергии, переходящие в направленное движение электронов и тепловую энергию плазмы, по-видимому, меняются от вспышки к вспышке и в процессе развития вспышки. Первая из них составляет, по порядку величины, 10^{-1} энергии вспышки. Электроны, двигающиеся вниз, вызывают в основании петель жесткое тормозное поляризованное рентгеновское излучение. Величина поляризации сильно зависит отpitch-угла пучка и распределения скоростей электронов и, таким образом, меняется в широких пределах.

Энергия, поступающая в плазму, нагревает часть ее, с мерой эмиссии $Y \approx 10^{47}$ см $^{-3}$, до $T_e \approx 2 \cdot 10^7$ К; не исключено и появление более горячих ядер с $T_e \sim 10^8$ К, но с малой мерой эмиссии — такие образования, однако, еще не наблюдались. По мере выделения энергии быстрыми электронами в основании петель происходит «испарение» вещества хромосферы, которое диффундирует вдоль магнитной трубки, увеличивая меру эмиссии области вспышки до $Y \approx 10^{49}$ см $^{-3}$ в плавной фазе вспышки. При этом, наряду с тепловой компонентой плазмы продолжают существовать «надтепловые» электроны с энергией ≥ 10 кэВ. Эта картина сохраняется в течение всей плавной фазы вспышки, что заставляет предположить поступление энергии в область вспышки не только в импульсной, но и в плавной фазе.

Ближайшими задачами исследований, как нам кажется, является более надежная локализация области первичного выделения энергии во вспышках и выяснение вопроса о механизме образования двух компонент

плазмы — тепловой и нетепловой: возникают ли они одновременно в одной и той же области короны, либо одна вызывает другую? Возможно, что первичным является быстрый нагрев плазмы, что вызывает появление ускоренных «надтепловых» электронов (ускорение на фронтах ударных волн, появление неустойчивости, тепловое убегание электронов и т. д.). Возможно, однако,



Участок рентгеновского спектра Солнца в области 9 \AA , полученный с борта ракеты «Вертикаль-9» 20 августа 1981 г.

что первичным является появление быстрых электронов (за счет, например, возникновения сильного электрического поля), которые затем нагревают плазму области вспышки. Мы ищем сейчас новые методы наблюдения, которые могут дать ответы на эти вопросы.

Существование двух компонент плазмы — тепловой с $T_e \approx 2-3 \cdot 10^6 \text{ K}$ и $Y \approx 10^{49} \text{ см}^{-3}$ и нетепловой с энергией электронов $\sim (3-6) \text{ кТ}$ — характерно и для активных областей на Солнце в отсутствие вспышек.

На рисунке показан участок спектра такой области в районе 9 \AA , полученный с борта ракеты «Вертикаль-9» 20 августа 1981 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Recent Advances in the Understanding of Solar Flares. — *Solar Phys.*, 1983.
 Solar Maximum Year/Eds Z. Svestka, D. Rust, M. Dryer. — *Adv. Space Res.*, 1982, v. 2, No. 11.
 Mandelstam S. L., Urnov A. M., Zhitnik I. A. — In: Abstracts of the XXV COSPAR. — Graz, Austria, 1984.