

ПРО ШВИДКОСТІ ЧАСТОТНОГО ДРЕЙФУ СОНЯЧНИХ СПЛЕСКІВ ІІІ ТИПУ

В.М.Мельник, Б.П.Руткевич

Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Червонопрапорна, 4, Харків, 61002
e-mail: bprutkevich@mail.ru

За більш ніж 60 років вивчення сонячних сплесків ІІІ типу було нагромаджено великий обсяг даних спостережень, а також побудовано теорію генерації цього типу випромінювання пучками швидких електронів. Відповідно до цієї моделі, частотний дрейф обумовлений градієнтом густини в сонячній короні і пропорційний швидкості руху електронного пучка. Однак в останні десятиліття було виявлено сплески, схожі на сплески ІІІ типу в широкому діапазоні частот, що мають у кілька разів більшу швидкість дрейфу. Застосування існуючої теорії звичайних сплесків ІІІ типу до швидких сплесків наштовхується на ряд труднощів. У даній роботі зроблено спробу пояснити появу швидких сплесків. Відповідно до цієї моделі, кількість швидких сплесків ІІІ типу повинна бути максимальною при положенні активної області поблизу центрального меридіана, а також повинні існувати сплески з позитивними та негативними швидкостями дрейфу, що погоджується зі спостереженнями.

Вступ

Одним з найбільш відомих проявів сонячної активності, що часто трапляються, є сплески ІІІ типу. Вважається, що вони генеруються пучками електронів, які рухаються зі швидкостями порядку $0,3c$ [1]. Згідно з існуючою теорією, швидкість дрейфу сплесків пропорційна лінійній швидкості електронів, що генерують ці сплески.

Окрім звичайних сплесків ІІІ типу спостерігалися [2–4] сплески, схожі на них, які мають у декілька разів більшу швидкість дрейфу. Далі ми будемо їх називати швидкими сплесками ІІІ типу (в англійській літературі використовується термін Type III-like bursts). У 50-х–70-х роках минулого століття такі сплески спостерігалися на високих частотах 200–950 МГц [2–4]. У 1984 році [5] було зроблено спробу знайти швидкі сплески ІІІ типу в декаметровому діапазоні довжин хвиль (16–25 МГц), але автори роботи [5] прийшли до висновку, що якщо такі сплески існують, то їхні параметри

близькі до параметрів звичайних сплесків ІІІ типу.

Оскільки швидкі сплески якісно схожі на звичайні сплески ІІІ типу, робилися спроби побудувати модель їхньої генерації на основі існуючої теорії звичайних сплесків. Одна з моделей [2, 4], що дозволяє пояснити швидкі сплески ІІІ типу, ґрунтується на припущенні, що існують області з великими градієнтами густини в нижній короні Сонця. В іншій моделі [5] вважалося, що як швидкі, так і звичайні сплески ІІІ типу пов'язуються з одним і тим самим потоком електронів. При цьому звичайні сплески генеруються основною масою електронів, у той час як швидкі сплески породжуються найбільш швидкими електронами на передньому фронті пучка.

Проте у декаметровому діапазоні довжин хвиль чисельні оцінки необхідної швидкості пучка електронів і градієнтів плазми в сонячній короні дають занадто великі значення, і тому можна очікувати, що швидкі сплески ІІІ типу повинні мати інший механізм виникнення. Такий ме-

ханізм повинен пояснювати виникнення швидких сплесків для тих же параметрів задачі, що і звичайні сплески III типу.

У даній роботі запропоновано модель появи сплесків III типу з позитивною, негативною та нескінченною швидкістю дрейфу.

Спостереження швидких сплесків III типу

У роботах [6,7] повідомляється про спостереження 5 бур, під час яких виявлено близько 1100 швидких сплесків III типу в декаметровому діапазоні частот. Знайдено їхні характерні тривалості (1–2 с) і отримано, що швидкості дрейфу змінюються в широких межах (5–20 МГц/с, а іноді швидкість може бути ще більшою). Також було виявлено залежність числа зареєстрованих швидких сплесків III типу від місця розташування активної області, з якою пов'язуються ці швидкі сплески, на диску Сонця. Як приклад, на рис.1. показано розподіл числа швидких сплесків III типу по днях за період 26–30 липня 2002 року. Максимум числа сплесків (28 липня), відповідає дню, коли активна область на Сонці, з якою асоціюються ці сплески, перетинала центральний меридіан.

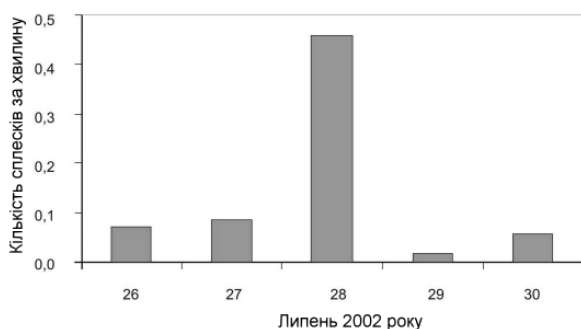


Рис.1. Частота появи швидких сплесків III типу під час бурі 26–30 липня 2002 року. Активна область на Сонці перетинає центральний меридіан 28 липня 2002 р.

Це вказує, мабуть, на вирішальну роль ефектів розповсюдження у формуванні швидких сплесків.

Швидкість частотного дрейфу швидких сплесків III типу

Для оцінки швидкості частотного дрейфу сплесків III типу зазвичай використовується наступний вираз:

$$\frac{df}{dt} \approx df/dn \cdot dn/dr \cdot v_s \quad (1)$$

де v_s – швидкість пучка електронів, що генерують сплеск, n – густина плазми в області генерації електромагнітної хвилі.

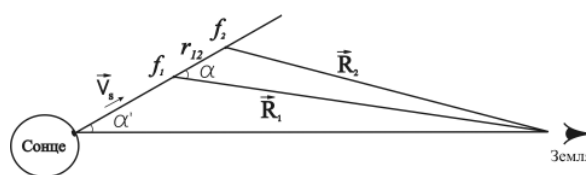


Рис.2. Схема розповсюдження електромагнітних хвиль, що генерують швидкі сплески III типу.

Більш точне обчислення швидкості частотного дрейфу повинно враховувати швидкість пучка електронів, швидкість електромагнітної хвилі та такі геометричні характеристики задачі, як взаємне розташування джерела і спостерігача, напрямки швидкості пучка та напрямки розповсюдження хвилі. Розглянемо модель, у якій пучок рухається під кутом α до спостерігача (див. рис. 2). Тоді, за означенням, швидкість частотного дрейфу дорівнює

$$\begin{aligned} \frac{df}{dt} &= \lim_{t_1 \rightarrow t_2} \frac{f_2 - f_1}{t_2 - t_1} \approx \\ &\approx \lim_{t_1 \rightarrow t_2} (2\pi)^{-1} \frac{\sqrt{4\pi e^2} \sqrt{n(\vec{R}_2)} - \sqrt{n(\vec{R}_1)}}{m} \end{aligned} \quad (2)$$

де e і m – заряд та маса електрона, f_1 і f_2 – частоти, на яких генерується випромінювання електромагнітних хвиль відповідно в областях 1 і 2, t_1 і t_2 – момент приходу цих хвиль до спостерігача, \vec{R}_1 та \vec{R}_2 – вектори від спостерігача до

областей 1 і 2, $n(\vec{R})$ – густина плазми як функція відстані від Землі.

Різниця часу приходу хвиль до спостерігача на частотах f_1 і f_2 дорівнює

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{r_{12}}{v_s} + \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{v_{gr}} \approx \frac{r_{12}}{v_s \cdot v_{gr}} (v_{gr} - v_s \cos \alpha) \quad (3)$$

де r_{12} – відстань між областями генерації хвиль.

Враховуючи те, що $r_{12} \ll R_1, R_2$, одержуємо

$$\frac{df}{dt} \approx \frac{df}{dn} \cdot \frac{dn}{dr} \frac{v_s \cdot v_{gr}}{(v_{gr} - v_s \cdot \cos \alpha)} \quad (4)$$

Відзначимо, що в граничному випадку, коли $v_{gr} \gg v_s$, отриманий вираз для швидкості дрейфу переходить у вираз (1).

Ленгмюрівські хвилі (l), що генеруються пучками швидких електронів, в областях 1 і 2 трансформуються в поперечні хвилі. Такий процес може іти по двох різних каналах, які відповідають генерації на першій та на другій гармоніках. У випадку, коли випромінювання відбувається на першій гармоніці, реалізується процес розсіювання ленгмюрівських хвиль на іонах у поперечні хвилі ($l+i \rightarrow t+i$) [1]. Згідно з законом збереження енергії, для цього процесу можна знайти хвильове число поздовжньої хвилі, а також одержати вираз для групової швидкості хвилі: $v_{gr} = \partial \omega_i / \partial k_i = \sqrt{3} \cdot c \cdot v_{Te} / v_s$.

Якщо вважати, що випромінювання відбувається на другій гармоніці, тобто дві ленгмюрівські хвилі зливаються в поперечну хвилю $l+l \rightarrow t$ [1], аналогічним чином одержуємо, що групова швидкість

дорівнює $v_{gr} = \sqrt{3} \cdot c / 2$. Підставляючи ці вирази в (4), знаходимо швидкість частотного дрейфу для першої та другої гармонік.

З рівняння (4) видно, що якщо групова швидкість хвилі близька до швидкості електронів, то швидкість дрейфу може бути як завгодно великою і навіть змінювати знак. Тому для пояснення позитивних швидкостей дрейфу немає необхідності припускати, що джерело випромінювання рухається до Сонця, як це робилося в моделі [1, 3]. З виразу (4) випливає, що цей ефект найбільш яскраво проявляється при малих кутах α , коли електрони рухаються майже у напрямку до спостерігача, що відповідає випадку, коли активна область знаходиться біля центрального меридіану. Зі збільшенням кута α для спостереження сплесків з великими швидкостями необхідні більш великі швидкості електронів. При одержанні (4) ми припускали, що частота хвилі строго визначається величиною густини в області її генерації, і решта параметрів залишається незмінною, а також те, що джерело випромінювання передбачається точковим.

Із спостережень звичайних сплесків III типу [1] відомо, що на першій гармоніці поляризація вища (50–70%), ніж на другій гармоніці (10–30%). Ступінь поляризації спостережуваних швидких сплесків III типу [6] становить близько 10–15%. Це, певно, вказує на те, що випромінювання відбувається на другій гармоніці.

Таким чином, у даній роботі ми показуємо, що врахування як групової швидкості випромінених електромагнітних хвиль, так і швидкості електронів, що випромінюють ці хвилі, може пояснити появу швидких сплесків III типу. При цьому важливим є розташування активної області по диску Сонця.

Література

1. D.J.McLean, N. R.Labrum, Solar Radio-physics (Cambridge, 1985).
2. C.W.Young, C.L.Spencer, G.E.Moreton, J.A.Roberts, *Astrophys. J.*, 133, 243 (1961).
3. M.R.Kundu, J.A.Roberts, C.L.Spencer, J.W.Kuiper, *Astrophys.J.*, 133, 255-259 (1961).
4. O.Elgaroy, *Astronomy & Astrophysics*, 82, 308 (1980).
5. V.V.Zaitsev, B.N.Levin, *Astronomy & Astrophysics*, 134, 268 (1984).
6. V.N.Melnik, A.A.Konovalenko, B.P.Rutkevych, H.O.Rucker, V.V.Dorovskyy, E.P.Abranin, A.Lecacheux, A.I.Brazhenko, A.A.Stanislavskyy, IAU XXVIth General Assembly, JD12-52, (Prague, 2006).
7. V.N.Melnik, H.O.Rucker, A.A.Konovalenko, B.P.Rutkevych, V.V.Dorovskii, E.P.Abranin, A.A.Lecacheux, *Geophysical Research Abstracts of the General Assembly of EGU* (2006).

ON THE FREQUENCY DRIFT RATES OF TYPE III BURSTS

V.N.Melnik, B.P.Rutkevych

Institute of Radio Astronomy, Ukr. Nat. Acad. Sci.,
4 Krasnoznamennaya st., 61002 Kharkiv, Ukraine.
e-mail: bprutkevich@mail.ru

More than 60 years of solar type III bursts investigations resulted in harvested remarkable amount of data and designed theory of the bursts generation by beams of fast electrons. According to the model, the frequency drift appears due to solar density gradient and it is proportional to the velocity of the electron beam. However, several decades ago new bursts called type-III-like bursts have also been observed in a wide range of frequencies. These bursts are similar to the usual type III bursts but feature much higher frequency drift. The existing theory of usual type III bursts being applied to the fast ones faces several constraints. In the present work we attempt to explain the possibility of fast bursts generation. In particular, according to our model the number of type-III-like bursts should be higher while the active region on the Sun is located near the central meridian and the model also predicts existence of bursts with reverse drift velocity. Both these features are observed in the type-III-like burst measurements.