

MDI-интенситограмма

ЛИНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА 3,04 см в ИЗЛУЧЕНИИ СОЛНЦА и ВОЗМОЖНОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ на РТ-22 (ПУЩИНО)



Петерова Н. Г.¹, Топчило Н. А.²

*¹С.-Петербургский филиал САО РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия*

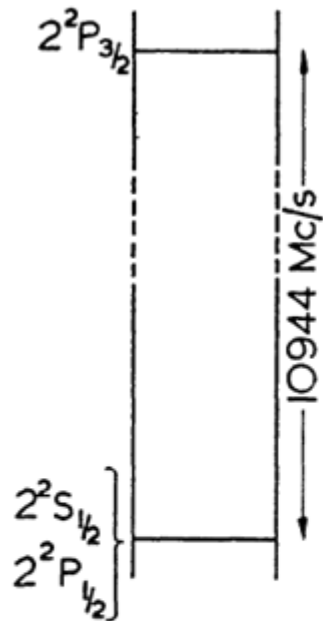
*²С.-Петербургский государственный
университет,
г. Санкт-Петербург, Россия*

J.P. Wild о возможности обнаружения линии нейтрального водорода в радиоизлучении Солнца

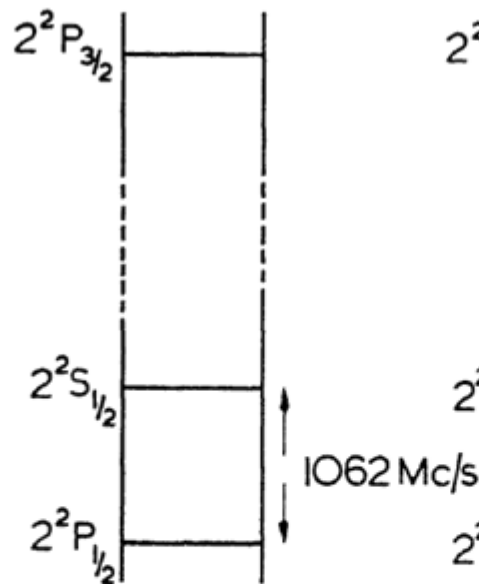
“With present knowledge it can be concluded only that **the line (3,04 cm in absorption) may be detectable** and that **a search for it seems worth while.**”

- J.P. Wild, The radio-frequency line spectrum of atomic hydrogen and its applications in astronomy, *Astrophys. J.* **115**, 206 (**1952**).

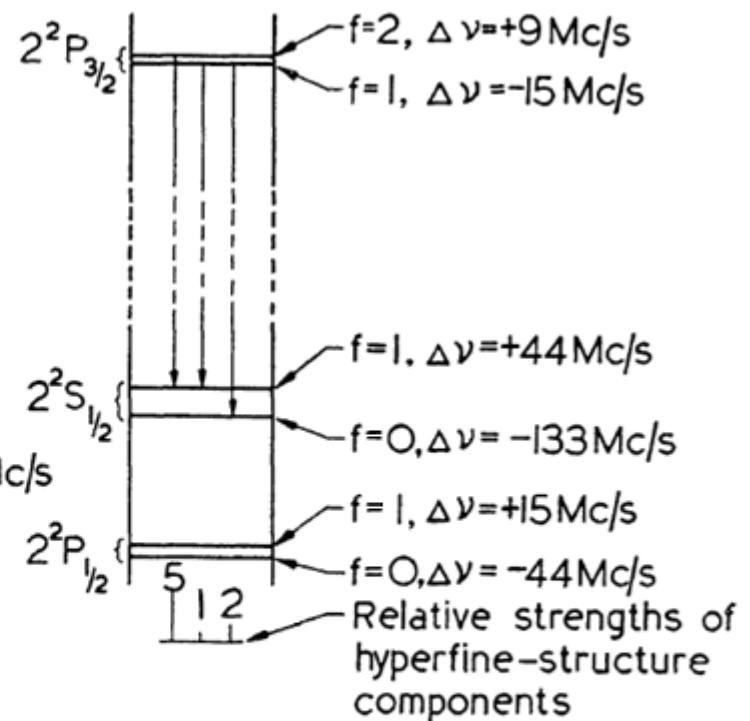
Структура второго квантового состояния атома водорода



Dirac theory
uncorrected
(a)

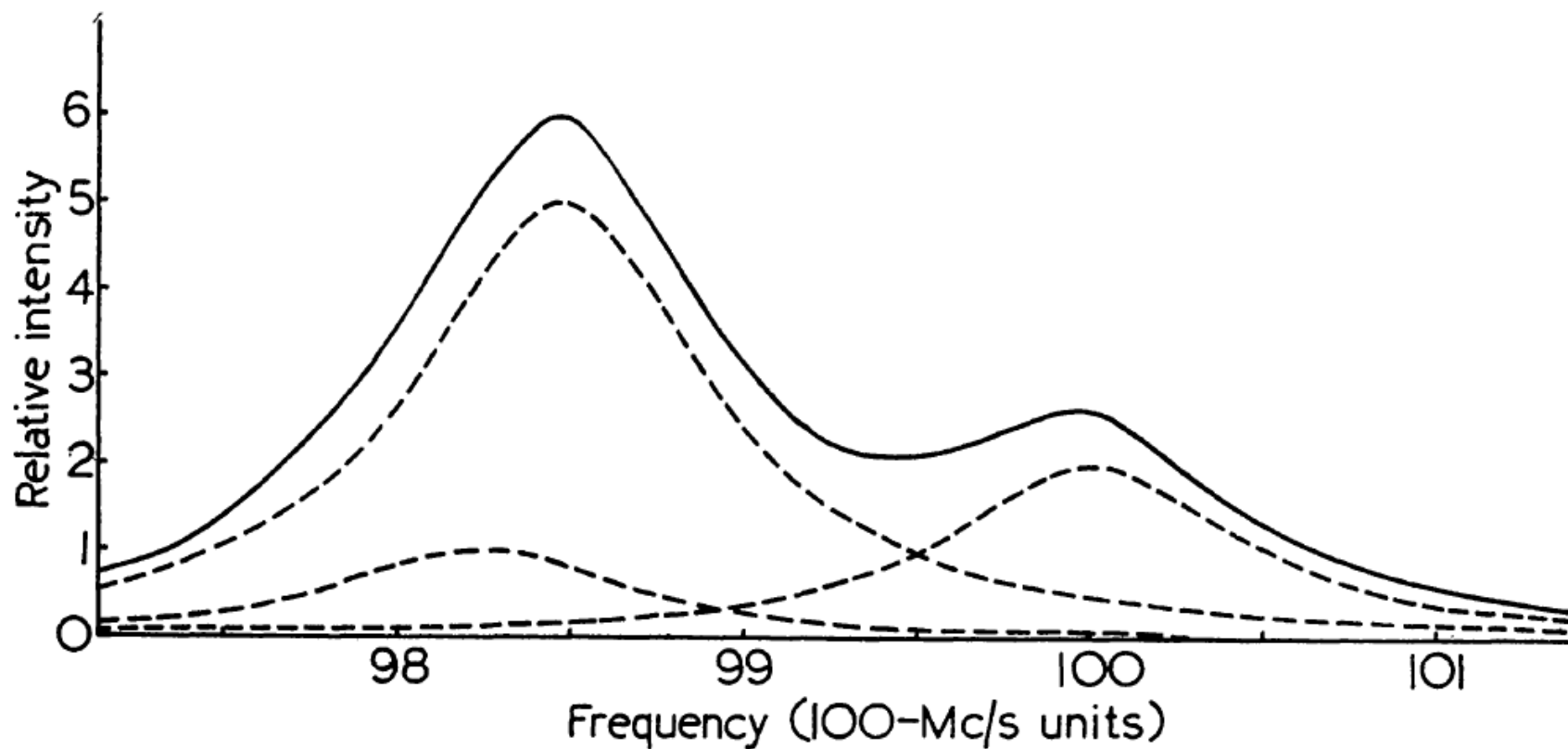


Corrected for
 $2^2S_{1/2}$ level shift
(b)



Final scheme with
hyperfine structure
(c)

Вычисленный профиль линии $2^2P_{3/2} - 2^2S_{1/2}$



De Yager

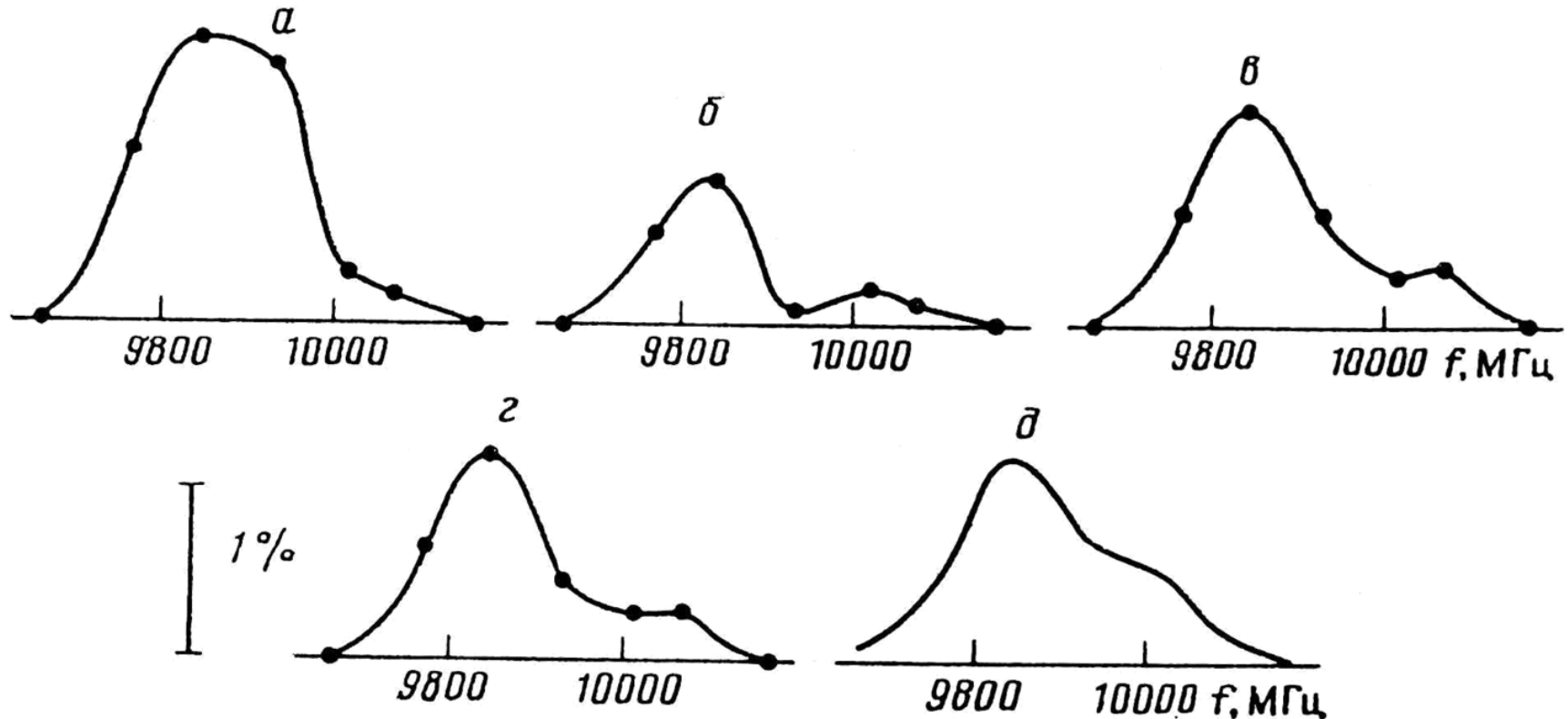
о возможности обнаружения линии нейтрального водорода в радиоизлучении Солнца



«Возможно увеличение интенсивности линии (3,03 см) в **активных областях**, так как температурный градиент там может быть круче, чем в спокойной хромосфере.»

C. De Jager, in:
Paris Symposium on Radio Astronomy,
ed. R.N. Bracewell (Stanford: Stanford Univ.
Press., 1959), p. 96.

Профиль линии $2^2P_{3/2} - 2^2S_{1/2}$ в спектре радиоизлучения спокойного Солнца



Дравских А.Ф., Дравских З.В.

Предполагаемое обнаружение линии водорода $2^2P_{3/2} - 2^2S_{1/2}$ в спектре радиоизлучения спокойного в спектре радиоизлучения спокойного Солнца, АЖ, 65, № 1, с.199, 1988.

О возможностях исследований Солнца в линии нейтрального водорода в эпоху ИНТЕРНЕТа

При исследовании структуры и динамики источников повышенного радиоизлучения над активными областями на Солнце по наблюдениям на радиотелескопе РАТАН-600 была замечена спектральная особенность излучения АО NOAA 10105 (сентябрь 2002 г.), которую можно интерпретировать как проявление линии нейтрального водорода $H_{3.04}$, наблюдавшейся в поглощении, а в некоторых компонентах и в излучении.

Выявлена генетическая связь эффекта линии с хромосферной вспышкой класса 2В и M2.2 в X-ray диапазоне. Эффект наблюдался на стадии PBI (post burst increase) этого события.

*Петерова Н. Г., Топчило Н. А., Борисевич Т. П. Об излучении Солнца в линии водорода 3.04 см по наблюдениям активной области NOAA 10105 // Астрон. журн. **2011**. Т. 88, N 9. С. 912–919.*

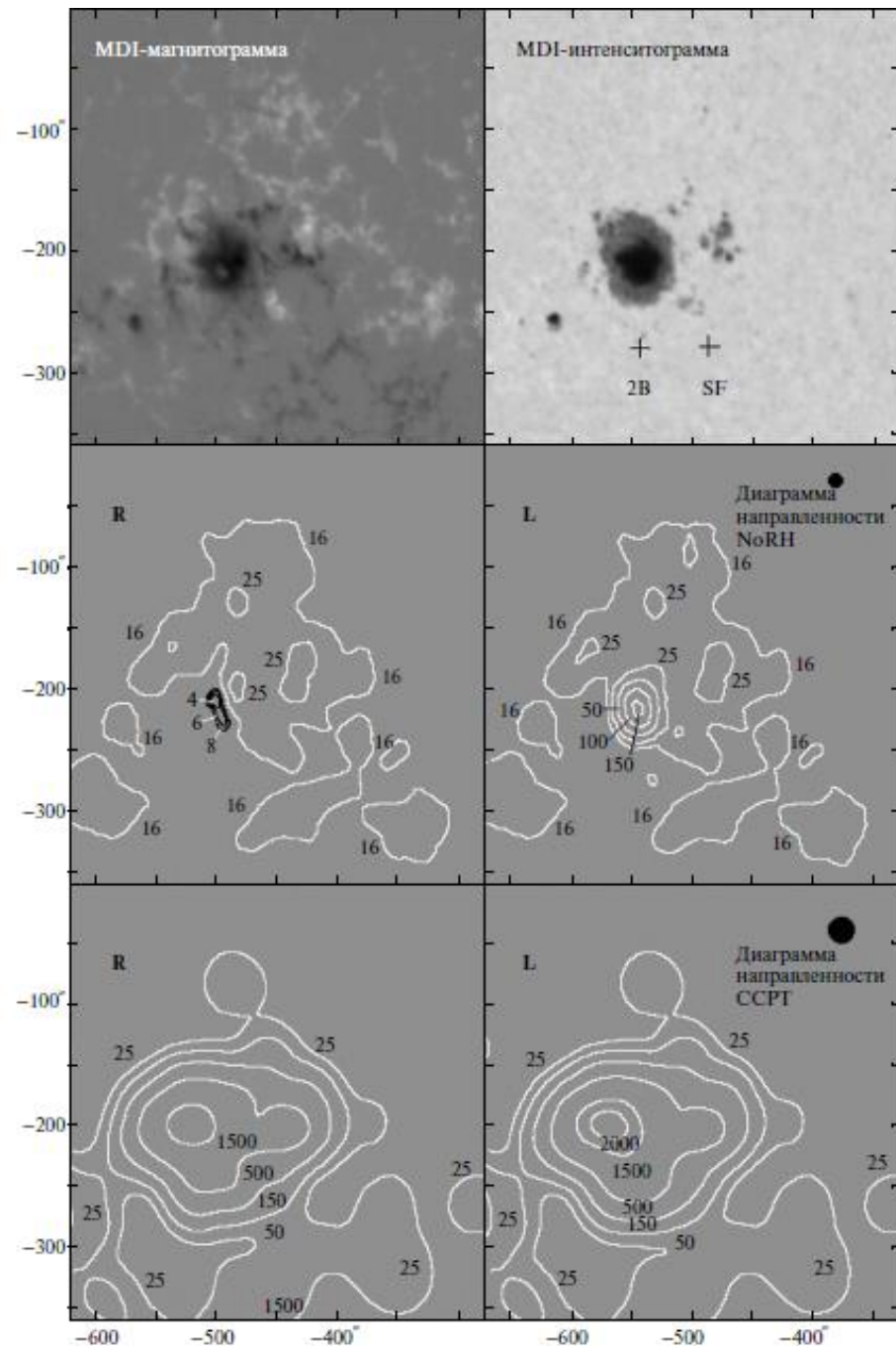
УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНИИ 3.04 см И ОСОБЕННОСТИ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ NOAA 10105

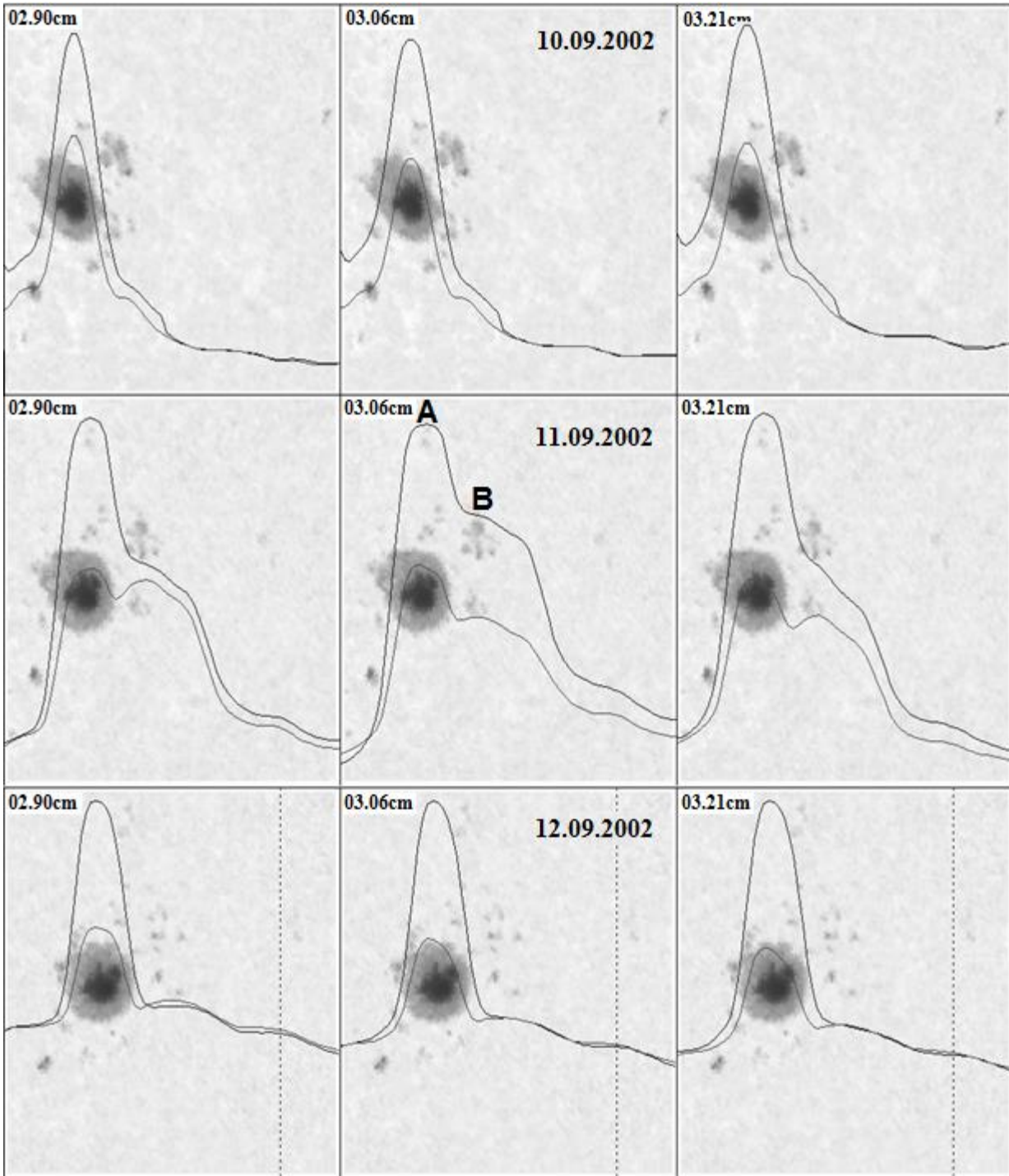
1. Излучение в линии 3.04 см скорее всего должно генерироваться в холодных областях атмосферы Солнца.
1. С этой точки зрения активная область NOAA 10105 была уникальной по следующим параметрам:
 - a) Источник над основным пятном был относительно холодным - на волне 1.76 см в о-моду излучения устойчиво наблюдалась область, яркость которой на **1-2 КК** была ниже яркости "спокойного" Солнца.
 - b) Активную область 10105 можно отнести к редкому классу источников S-компоненты, в структуре которых отсутствует деталь типа "гало", понимаемая как вершина магнитосферы всей АО. Поэтому условия для наблюдения нижележащих источников излучения в линии 3.04 см были благоприятными.
 - c) Холодной была и область, генетически связанная с флоккулярным полем. По данным NoRH ее яркость была лишь в ~ 1,5 раза выше яркости "спокойного" Солнца.

Активная область NOAA 10105 по наблюдениям 11.09.2002 г. на уровне фотосферы и в короне.

Верхний ряд – магнитограмма (слева) и фотогелиограмма (справа) по данным SOHO MDI.

Средний и нижний ряд – карты АО по наблюдениям на радиогелиографах NoRH (1.76 см) и CCRT (5.2 см) в e-моды излучения (L-поляризация, справа) и o-моды (R-поляризация, слева).



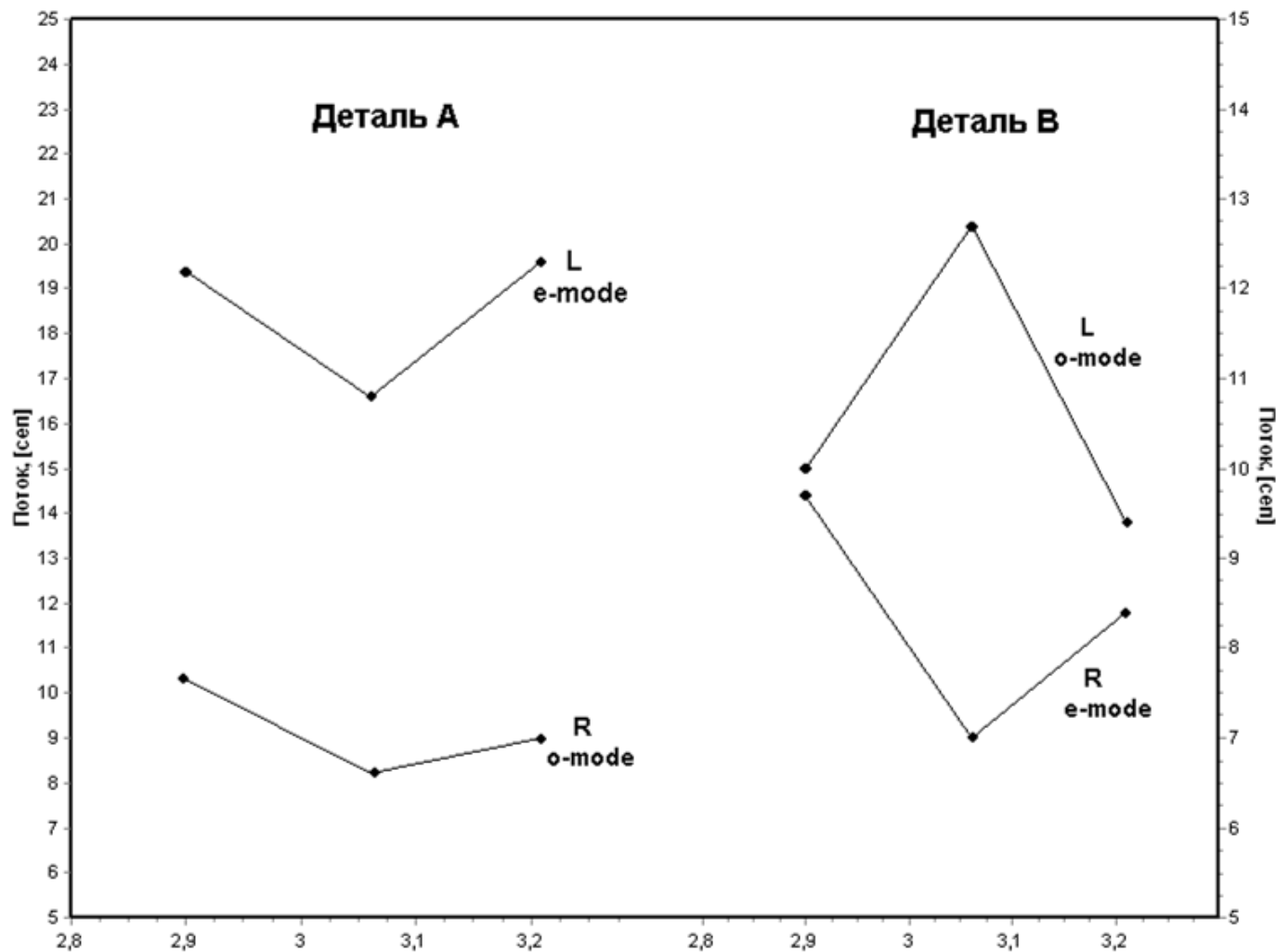


РАТАН-сканы активной области NOAA 10105

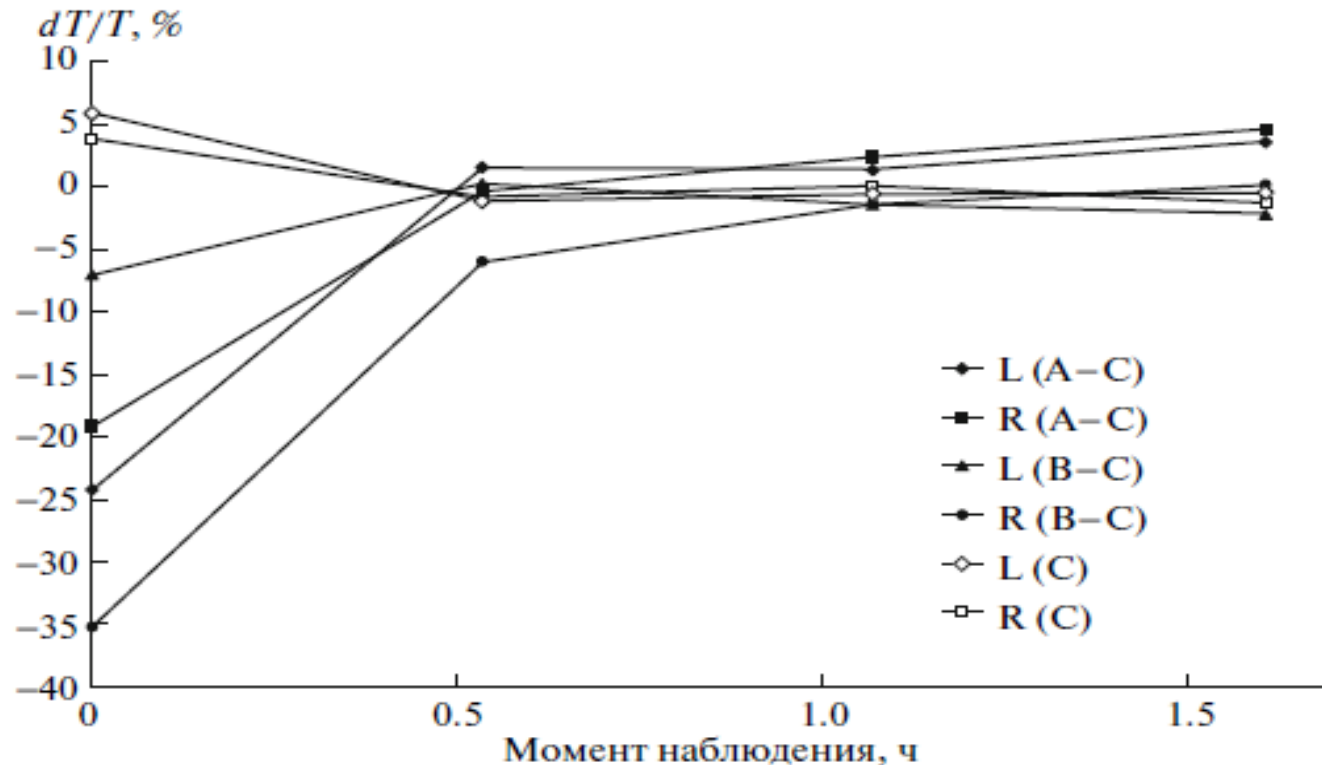
(10-11- 12).09.2002 г.
в диапазоне линии

водорода $H_{3.04}$
на волнах 2.90-3.06-3.21см
в L (е-мода) и R (о-мода)
поляризации.

Спектральная плотность потока излучения
активной области NOAA 10105
по наблюдениям 11.09.2002 г. на волнах 2.90-3.06-3.21 см
в L и R-поляризации.

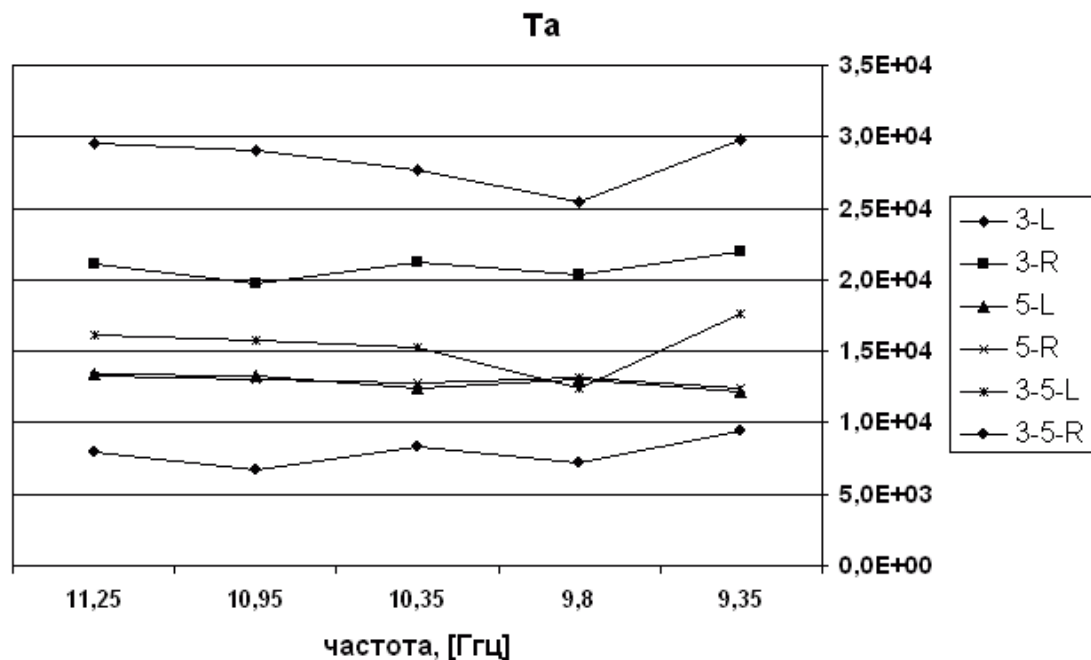


Динамика глубины линии H_{3.04}

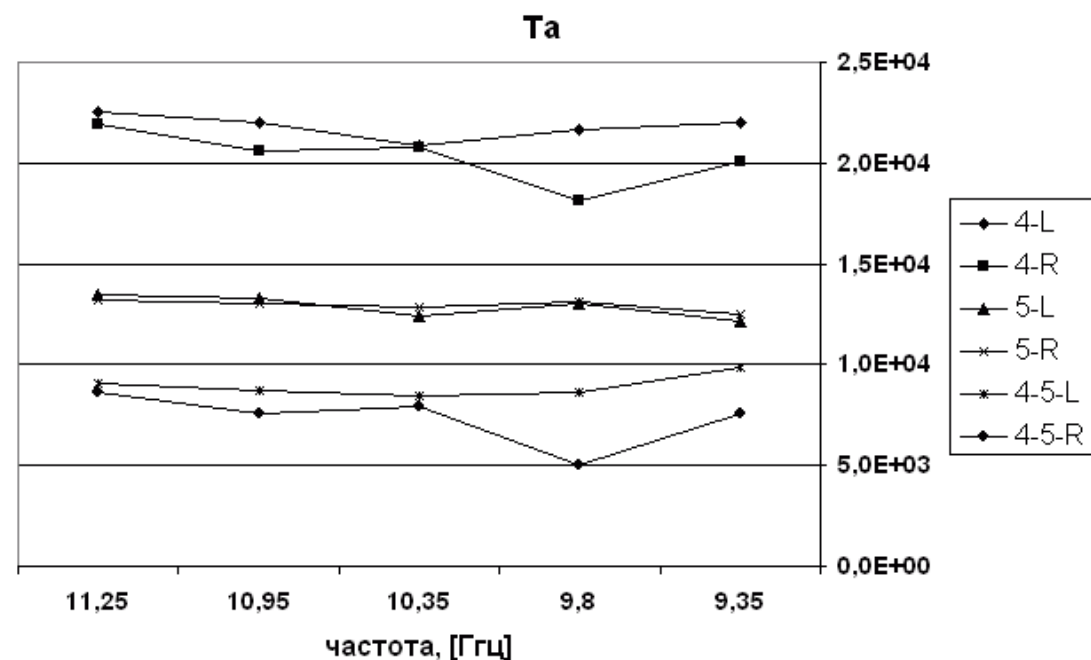


Данные приведены отдельно для двух деталей (А и В) структуры радиоисточника над АО NOAA 10105 по наблюдениям 11.09.2002 на радиотелескопе РАТАН-600 в четырех азимутах. Моменты наблюдений отсчитываются от местного полдня (UT = 9h10m21s).

Деталь А – пятно, В – флоккулярное уярчение, С – спокойное Солнце.



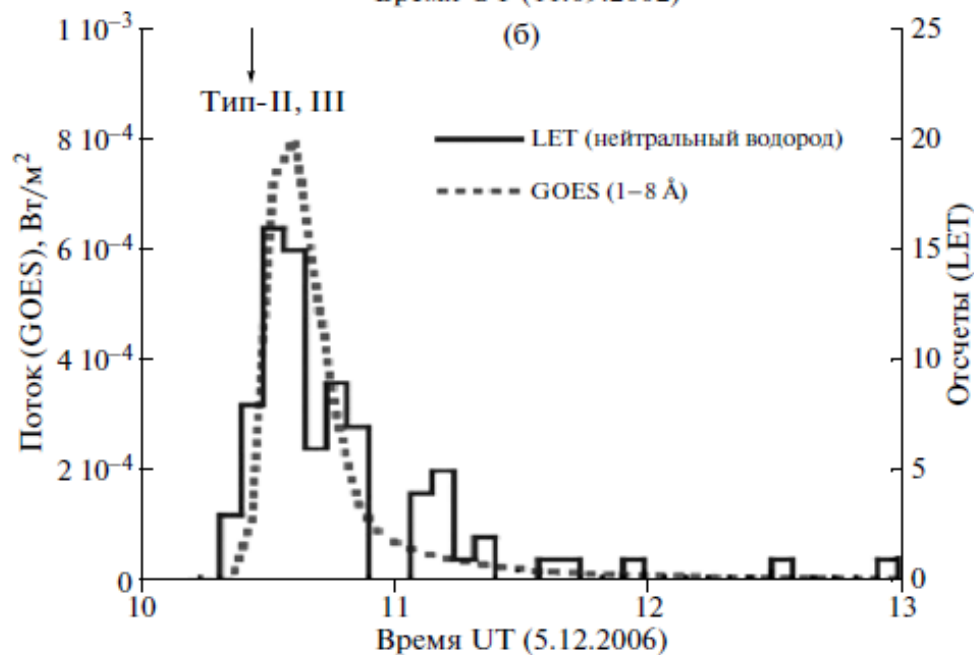
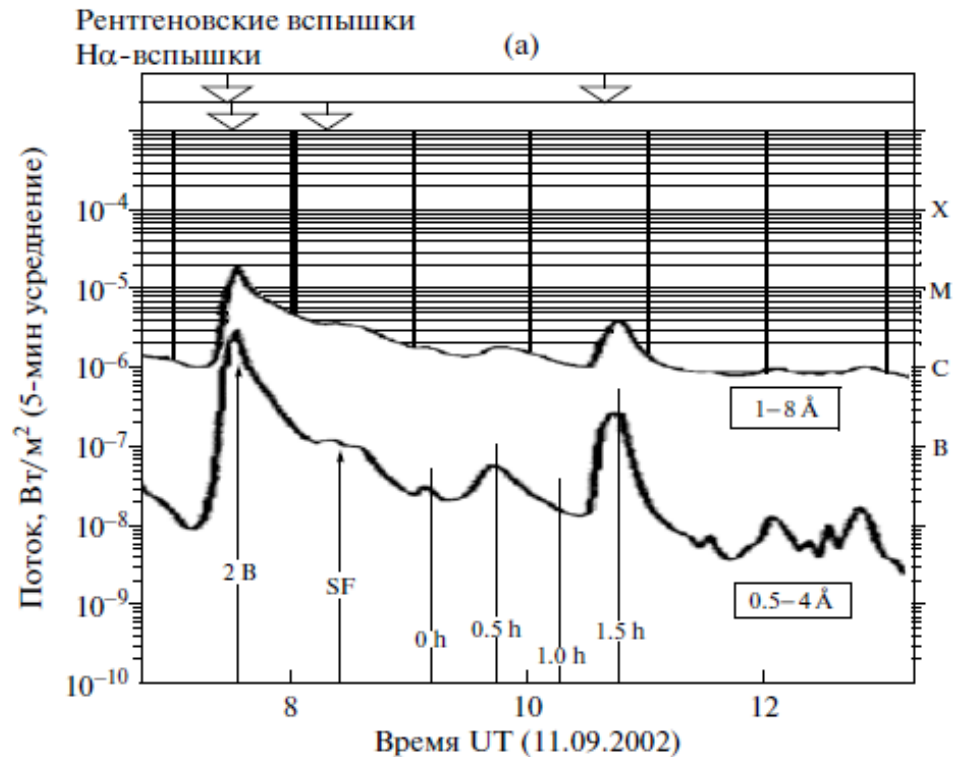
Спектр антенной температуры в отдельных точках профиля скана источника микроволнового излучения активной области NOAA 10105 в диапазоне (1.83-3.21) см.



Спектры 3 - область максимальной яркости пятенного источника (A).

Спектры 4 - область максимальной яркости флоккулярного источника (B).

Спектры 5 соответствуют области спокойного Солнца.



Профиль рентгеновских событий и сопоставление с (а) радионаблюдениями Солнца в линии H α и (б) прямыми наблюдениями атомарного H

(а) — Событие M2.2 по наблюдениям на GOES. На шкале времени отмечены моменты наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600, обозначенные 0h, 0.5h, 1.0h, 1.5h, а также моменты хромосферных вспышек в АО NOAA 10105.

(б) — Нейтральный (атомарный) водород по наблюдениям рентгеновского события 05.12.2006 с помощью телескопов LET (Low Energe Telescopes) на борту космических аппаратов STEREO-A и STEREO-B. Профиль совмещен с профилем GOES-события. Рисунок заимствован из [R. A. Mewald, R. A. Leske, E. C. Stone, *et al.*, *Astrophys. J. (Letters)* **693**, L11 (2009)]

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА НАБЛЮДЕНИЙ

1. Наблюдения активной области NOAA 10105 подтверждают существование особенностей в спектре источника микроволнового излучения на частотах, близких к частоте линии водорода 3,04 см, с достоверностью, на порядок превышающей полученную ранее в [Дравских А.Ф., Дравских З.В., АЖ, **65**, № 1, с.199, 1988.].
2. Максимальный эффект достигается в области, расположенной над флоккулярным уярчением активной области, и составляет $\sim (30 \pm 5)\%$.
3. Эффект наблюдается как в излучении, так и поглощении и может быть различным для е и о-мод (R и L) излучения.
4. Эффект является кратковременным, время его существования несколько часов.

Рекомендации и задачи

Для развития экспериментального исследования излучения Солнца в линии $H_{3.04}$ целесообразно:

1. Создать для этих целей специализированный инструмент, обладающий двумерным пространственным разрешением $\sim (3-4)$ угл. мин. и возможностью слежения за выбранным участком Солнца в течение ± 3 часов вблизи момента местной кульминации Солнца.
2. Инструмент должен быть оснащен спектроанализатором в полосе ± 500 МГц около частоты 9850 МГц. Повышенные требования должны предъявляться к равномерности частотной характеристики приемной аппаратуры и средствам ее калибровки, достаточным для исследования профиля линии $H_{3.04}$
3. Задача наблюдений инструмента по этой программе – исследование нейтрального вещества в солнечной атмосфере. Оценка его содержания в солнечной плазме, полученная из наблюдений, необходима для разработки и уточнения механизмов нагрева солнечной короны, в частности, с помощью джоулева тепла.

Спасибо за внимание!

