

УДК 523.94–246

Осцилляции лучевых скоростей в корональных дырах на уровне фотосферы в линии NiI 6768 Å

Р.К. Жигалкин

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 5 февраля 2007 г.

Аннотация. В работе исследовались проявления корональной дыры на уровне фотосферы по картам лучевых скоростей, полученных в линии NiI 6768 Å на КА SOHO MDI. Для определения местоположения корональных дыр на Солнце использовались наблюдения в линии HeI 10830 Å, полученные на телескопе НИИ “КрАО” БСТ-2. Также были исследованы промежуточные области, которые видны в линии HeI 10830 Å как области с нормальной яркостью, но с пониженным контрастом. В результате проведенных исследований удалось выявить различие в периодах колебаний лучевых скоростей. Период колебаний лучевой скорости в корональной дыре составил 344 сек., в промежуточной области – 324 сек., в области спокойного Солнца – 299 сек. Также выявлено различие в средних лучевых скоростях между корональной дырой и областью спокойного Солнца, которое составило 30 м/сек. Средняя лучевая скорость в промежуточной области близка к скорости спокойного Солнца. Было выявлено различие амплитуд изменения лучевой скорости в трех рассматриваемых объектах. В корональной дыре и промежуточной области амплитуды соответственно на 30 % и 14 % больше, чем в спокойной области. Сделан вывод о том, что корональные дыры - протяженное от фотосферы до короны образование и, скорее всего, оно берет свое начало в подфотосферных слоях Солнца.

RADIAL VELOCITY OSCILLATIONS IN CORONAL HOLES AT THE PHOTOSPHERIC LEVEL IN THE NiI 6768Å LINE, by R.K. Zhygalkin. In our research we studied manifestations of coronal hole at the photospheric level following the radial velocity maps obtained in the NiI 6768 Å line with SOHO MDI. For their spotting on the Sun the observations carried out with the CrAO/TST-2 telescope (HeI 10830 Å) were used. Intermediate regions visible in the HeI 10830Å line as regions with normal brightness but with low contrast were also estimated. As a result, we managed to identify differences in periods of radial velocities oscillations. The period of radial velocity oscillations in coronal hole is 344 sec., in intermediate region – 324 sec., in the region of the quiet Sun – 299 sec. Difference in average radial velocities between the coronal hole and the region of the quiet Sun was also identified. It is 30 mps. The average radial velocity in intermediate region has a close approximation to the velocity of the quiet Sun. The difference in amplitudes of radial velocity variations in three objects under consideration was revealed. In coronal hole and intermediate region the amplitudes are respectively 30 % and 14 % more than in the quiet region. It was deduced that coronal holes correspond to the extensional formation from photosphere to corona and it is likely to appear in subphotospheric layers of the Sun.

Ключевые слова: Солнце, корональная дыра, лучевая скорость

1 Введение

В настоящее время известно, что корональные дыры (далее КД) проявляют себя в хромосфере (наблюдения в линии HeI 10830 Å) как области с повышенной яркостью и пониженным контрастом, и в короне – как темные области. На изображениях Солнца в фотосфере нельзя визуально определить местоположение корональной дыры. Поэтому считается, что КД на уровне фотосферы себя никак не проявляет (Маланушенко и др., 1997). На рис. 1 представлены: изображение Солнца в хромосферной линии HeI 10830 Å (слева) и лучевые скорости на солнечном диске в фотосферной линии NiI 6768 Å (справа). На изображении в линии HeI 10830 Å КД находится в центре, на фотосферном изображении в том же месте КД не видно. Но определить местоположение КД можно с помощью хромосферных наблюдений в линии HeI 10830 Å. Таким образом, мы получаем возможность рассматривать КД на уровне фотосферы. Также интерес вызывают промежуточные области (далее ПО), которые видны в линии HeI 10830 Å как области с яркостью невозмущенного диска, но с пониженным контрастом. Проявляют ли они себя на уровне фотосферы, и если да, то как?

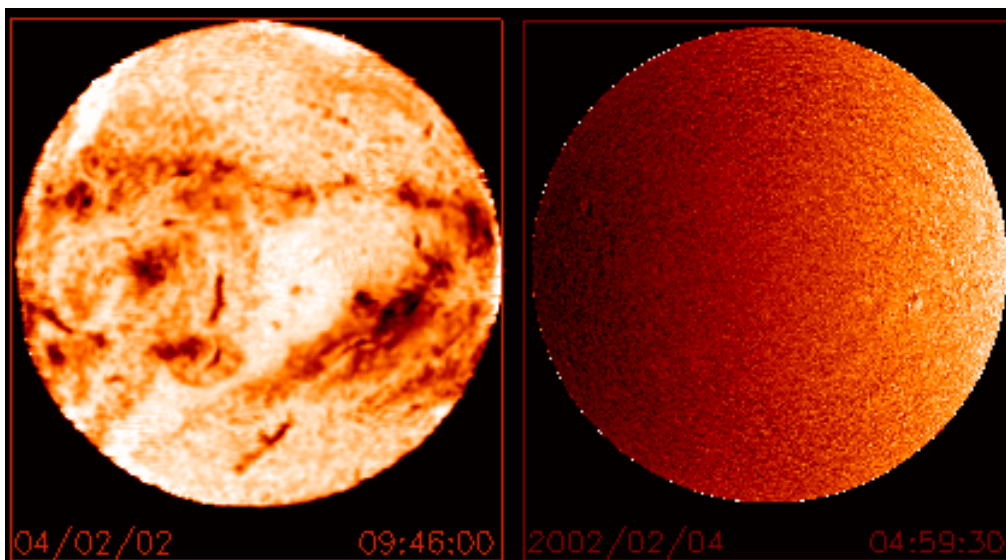


Рис. 1. Изображения Солнца в линии HeI 10830 Å (слева) и лучевые скорости на солнечном диске в фотосферной линии NiI 6768 Å (справа)

В данной работе предполагалось найти различие между КД, ПО и областями спокойного Солнца (далее СС) в изменении средней составляющей скорости по ряду наблюдений лучевых скоростей в фотосферной линии NiI 6768 Å и в изменении периода колебаний.

2 Совместная обработка наблюдений и анализ

Для совместной обработки и анализа наблюдений были использованы программы, разработанные группой БСТ-2. Мной был разработан пакет программ для работы с картами лучевых скоростей в линии NiI 6768 Å (Шеррер и др., 1995) (данные MDI), который включает в себя учет вращения Солнца, построение временных рядов изменения лучевой скорости в выбранных областях по трехчасовым наблюдениям.

Первым этапом обработки данных MDI был учет вращения Солнца по методике, описанной в работе Говарда и Харви (1969). Из измеренных лучевых скоростей была вычтена составляющая скорости вращения Солнца.

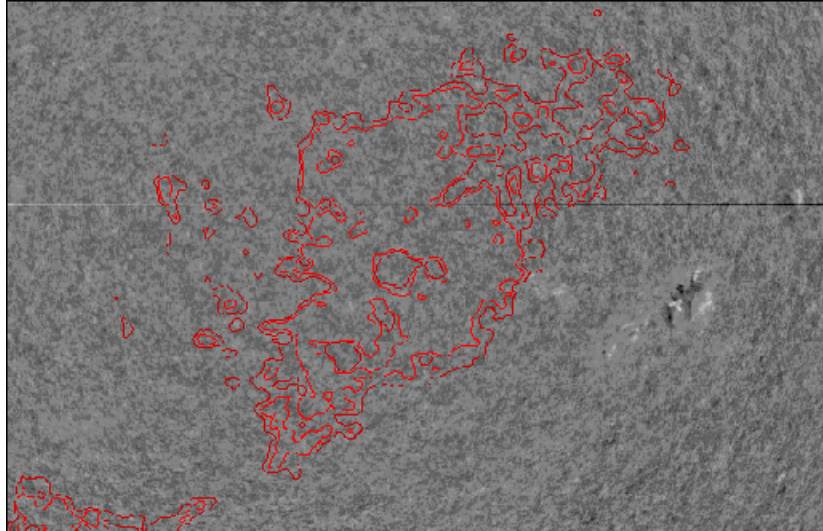


Рис. 2. Контуры корональной дыры и промежуточной области, нанесенные на карту лучевых скоростей

Второй этап обработки – приведение данных к одному масштабу. Для этого, с помощью наших программ, изображения совмещались по наиболее четким активным областям путем сдвига по двум координатам и вращения в картинной плоскости относительно центра кадра.

Третий этап обработки – на хромосферных изображениях в линии $\text{HeI } 10830 \text{ \AA}$ по характеристикам, описанным в работе Маланушенко (1995), были построены контуры границ КД и ПО. Далее на фотосферные наблюдения накладывались контуры КД и ПО (рис. 2) с учетом разницы во времени наблюдений КД в линиях $\text{HeI } 10830 \text{ \AA}$ и $\text{NiI } 6768 \text{ \AA}$.

Были выбраны по шесть площадок внутри КД, ПО и СС. Их размеры составляют $20 \times 20''$. По трехчасовому ряду наблюдений с интервалом в одну минуту были построены временные ряды изменения лучевой скорости в каждой выбранной площадке (рис. 3). На графиках разными цветами нанесены изменения лучевых скоростей для трех площадок.

Для построения рядов изменения лучевой скорости был разработан пакет программ, который учитывает суточное вращение Солнца и вносит поправки к координатам выбранных областей. Приблизительное смещение площадки на 1 pix на изображении ($2''$) происходит за 13 минут.

Анализ амплитуд колебаний во временных рядах показал, что в корональной дыре и промежуточной области амплитуды соответственно на 30 % и 14 % больше, чем в спокойной области.

Был проведен частотный анализ полученных временных рядов (Стиллингерф, 1978) для всех выбранных площадок и построены периодограммы. На периодограммах видны четкие пики в районе 300 секунд. На рис. 4 представлены три периодограммы площадок, по одной для каждой области: А – КД, В – ПО, С – СС. Остальные периодограммы для изучаемых площадок выглядят приблизительно так же. На периодограммах КД виден пик 324 сек, превосходящий уровень 3σ и близкий по значению к периоду, обнаруженному в ПО. А на периодограмме ПО виден еще один период, 298 сек., близкий по значению к СС. Найденные периоды в ПО говорят о том, что ПО все-таки является промежуточной.

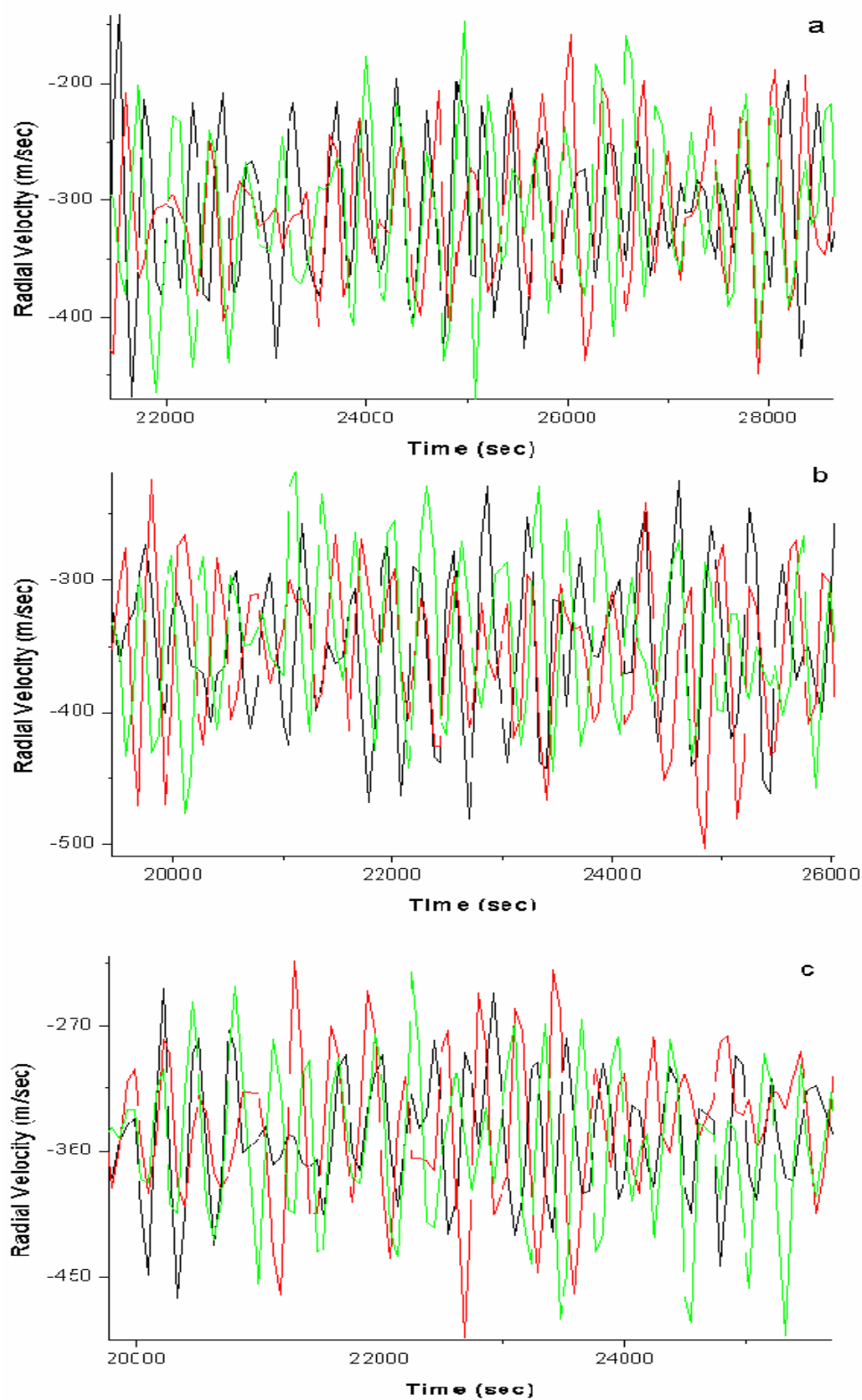


Рис. 3. Изменение лучевой скорости: а – КД, b – ПО и с – СС

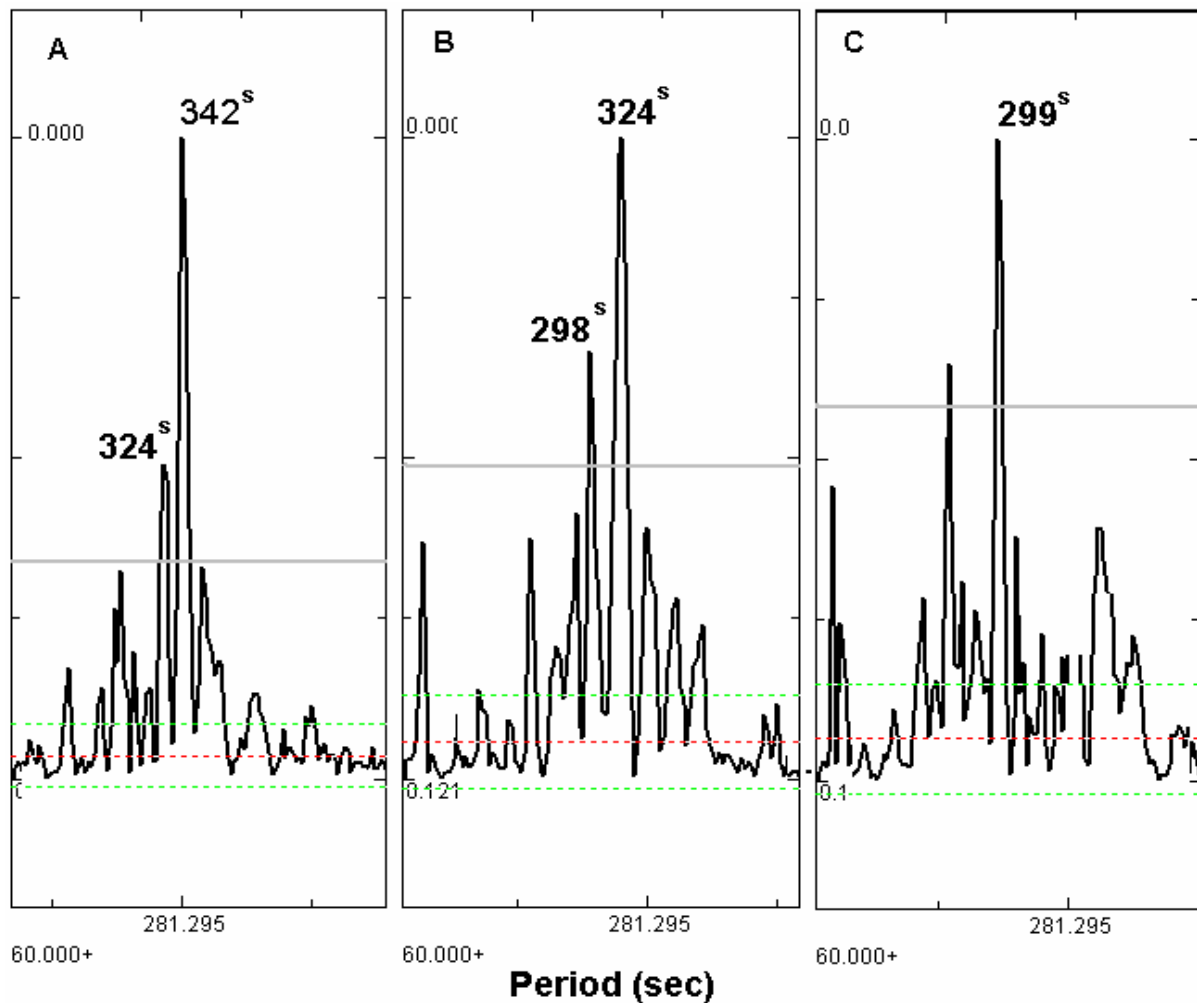


Рис. 4. Участки спектра мощности для КД, ПО и СС соответственно. Серая горизонтальная линия – уровень 3σ

В таблице 1 представлены периоды, полученные для выбранных областей. Из найденных периодов можно сделать вывод, что есть видимые различия в изменении лучевых скоростей. В областях СС был найден известный пятиминутный период. В области КД найденный период 340 секунд, который на 40 секунд больше, чем в области СС. В ПО найден 324-секундный период. Таким образом, видны различия в периодах колебаний между областями.

Для сравнения лучевых скоростей в изучаемых областях были использованы средние временные ряды $\bar{V}(t)$ для шести участков КД, ПО и СС. Средние временные ряды для каждой области по шести площадкам, относившимся к данной области, были рассчитаны по формуле:

$$\bar{V} = \frac{1}{6} \sum_{n=1}^6 V_n(t),$$

где $V_n(t)$ – временной ряд изменения лучевой скорости в n-ой площадке.

Таблица 1. Периоды, найденные при анализе временных рядов изменения лучевой скорости, в выбранных площадках.

№ площадки	КД	ПО	СС
1	342	325	299
2	345	323	298
3	340	325	301
4	344	325	298
5	342	326	298
6	344	320	296

Далее для сравнения лучевых скоростей по каждому среднему ряду был проведен полином 3-й степени. На рис. 5 представлены полиномы, проведенные по средним рядам в КД, ПО и СС. Из рис. 5 видно, что ПО и СС лежат на одном уровне, а средняя лучевая скорость в КД приблизительно на 30 м/сек отличается.

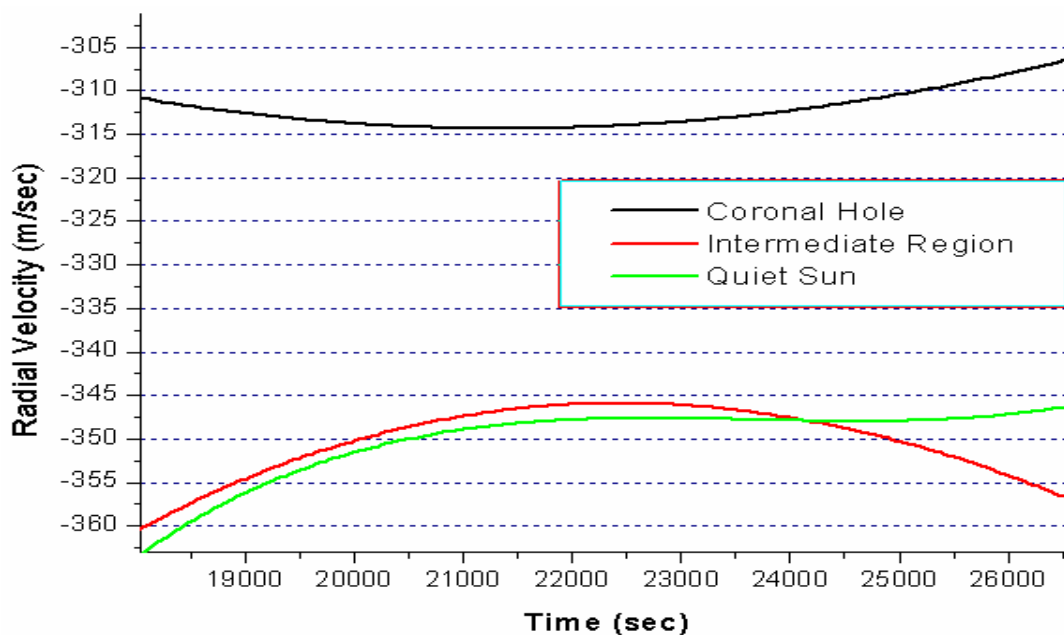


Рис. 5. Полиномы 3-й степени, проведенные по графикам средних лучевых скоростей в выбранных областях

3 Выводы

1. Обнаружены различия периодов колебаний лучевых скоростей в области корональной дыры, промежуточной области и в области спокойного Солнца.

2. Амплитуды колебаний лучевых скоростей в области КД на ~30 % больше, чем в области спокойного Солнца.

3. Средняя лучевая скорость в корональной дыре отличается на 30 м/сек от той же скорости в области спокойного Солнца.

4. Амплитуды колебаний лучевых скоростей в промежуточной области на ~14 % больше, чем в области спокойного Солнца. Средняя лучевая скорость в промежуточной области находится на уровне скорости спокойного Солнца.

Обнаруженные различия в лучевых скоростях свидетельствуют о проявлении корональной дыры на фотосферном уровне. Это подтверждает выводы, сделанные в работе Степанян Н.Н. (1993), о том, что корональная дыра – образование *протяженное* по высоте *от фотосферы до короны* и, скорее всего, берет свое начало в подфотосферных слоях Солнца.

Литература

Говард и Харви (R. Novard, J. Harvey) // Solar Physics. 1970. V. 12. P. 23.

Маланушенко Е.В. // Обнаружение корональных дыр по наблюдениям в линии HeI 10830 Å. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1995. Т. 89. С. 22.

Маланушенко и др. (E.V. Malanushenko, V.P. Malanushenko and N.N. Stepanian) // Physical Conditions and Velocities Fields. I. Radial Velocity Oscillations In and Out of Coronal Holes. Astronomical and Astrophysical Transactions. 1997. V. 13. P. 167.

Степанян Н.Н. // Корональные дыры и фоновые магнитные поля на Солнце. Солнечный цикл. 1993. С. 46.

Стиллингерверф (R.F. Steellingwerf). // Period Determination Using Phase Dispersion Minimization. Astroph. J. 1978. V. 224. P. 953.

Шеппер и др. (P.H. Scherrer, R.S. Bogart, R.I. Bush, J.T. Hoeksema, A.G. Kosovichev, W. Rosenberg, L. Springer, T.D. Tarbell, A. Title, C.J. Wolfson, I. Zayer and The Engineering Team) // The Solar Oscillation Investigation – Michelson Doppler Imager. Solar Physics. 1995. V. 162. P. 129.