

КОМПАКТНЫЕ ТУМАННОСТИ $cn1$ И $cn2$, СВЯЗАННЫЕ С ИНФРАКРАСНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ ЗВЕЗД

А.Л.ГЮЛЬБУДАГЯН

Поступила 13 апреля 2011

Принята к печати 25 мая 2011

Приведены результаты исследования компактных туманностей $cn1$ и $cn2$, находящихся в обширной яркой туманности S235. В результате ^{12}CO наблюдений выявлено наличие синего и красного истечений из молекулярного облака, в которое погружены эти туманности (то есть это биполярное истечение). Показано, что $cn1$ и $cn2$ связаны с ИК-скоплениями молодых звезд, часть из которых имеют пылевые диски или оболочки (это молодые звездные объекты - МЗО), причем МЗО группируются к центру скоплений. $cn1$ связан с инфракрасным точечным источником IRAS05377+3548, имеющим ИК-цвета, близкие к звездам типа Т Тельца. Рассмотрена цепочка объектов, исходящая из S235 (что, видимо, подразумевает их эволюционную связь). Это компактные туманности S235 A, B и C, объекты Хербига-Аро GGD5 и GGD6. Исследована также группа ИК-звезд, связанных с GGD6.

Ключевые слова: *область звездообразования:молекулярное истечение: инфракрасное скопление звезд*

1. *Введение.* При просмотре карт Паломарского атласа, наряду с объектами Хербига-Аро, кометарными туманностями, были обнаружены компактные туманности (компактные яркие туманности, проецирующиеся на большие яркие туманности) [1]. Эти объекты могут быть как отражательными туманностями, так и компактными областями HII. В обоих случаях они интересны, так как в них находятся ранние яркие звезды, погруженные в компактные туманности.

Рабочая модель истоков вновь рожденных звезд с большой светимостью предполагает: ввиду того, что сама звезда невидима, все внимание сосредотачивается на самих истоках, т.е. на ультракомпактных областях HII (UC HII), горячих молекулярных ядрах, холодных пылевых оболочках (ответственных за дальнейшее ИК-излучение - источники IRAS), биполярное молекулярное истечение, H_2 джеты, мазеры воды, горячие пылевые коконы, яркие в ИК, и т.д. Нами был предпринят успешный поиск молекулярных истечений около областей звездообразования в южном полушарии (см., например [2,3]). В данной статье молекулярное истечение связано с областью звездообразования в северном полушарии.

Исследуемые в данной статье туманности $cn1$ и $cn2$ расположены в

яркой туманности S235. Туманность S235 расположена в направлении антицентра нашей Галактики. Расстояние до S235 оценивается в ~ 1.8 кпк [4].

2. *СО наблюдения молекулярного облака, связанного с $sp1$ и $sp2$.* Спектры $^{12}\text{CO}(1-0)$ наблюдений области, содержащей $sp1$ и $sp2$, приводятся на рис.1. Наблюдения проведены на 14-м телескопе TRA0 (Южная Корея). Из рис.1 можно сделать вывод о наличии трех облаков в исследуемой области, со скоростями, соответственно -20 км/с, -17 км/с и -11 км/с, а также о наличии синего (0-7.3 км/с) и красного (0-9.3 км/с) истечений.

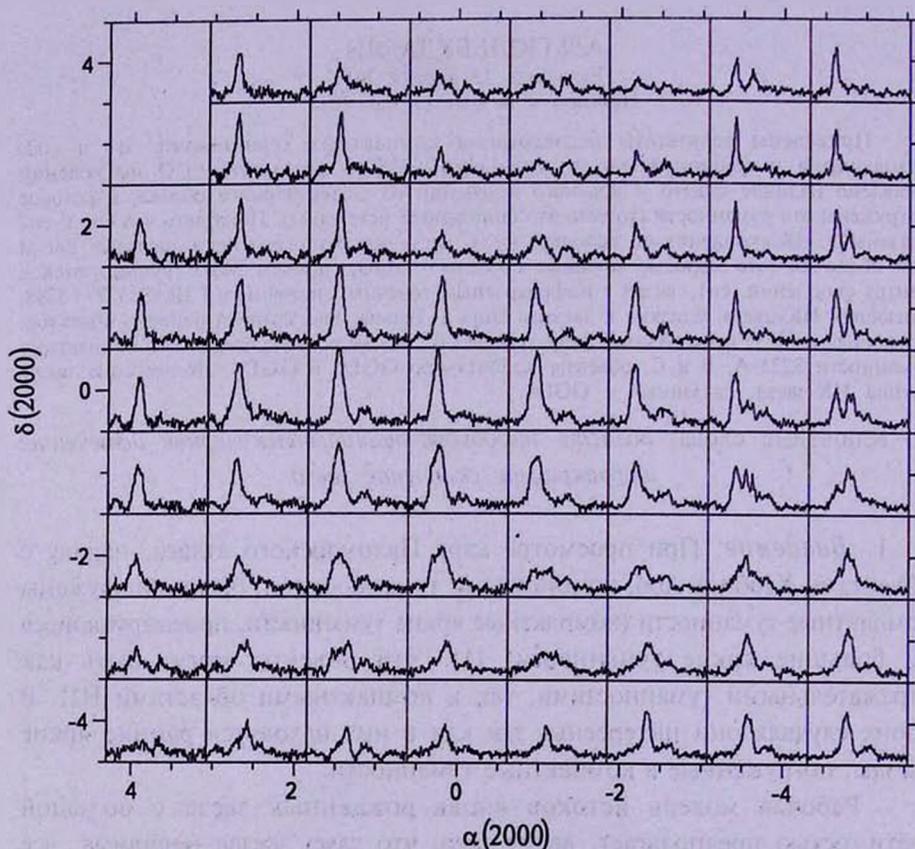


Рис.1. СО спектры окрестности объектов $sp1$ и $sp2$. В каждой ячейке по оси x отмечена радиальная скорость ($-30 \text{ км/с} < x < 3 \text{ км/с}$), по оси y - антенная температура T_a ($-2\text{K} < y < 17\text{K}$). $T_a^* = 15.71 \text{ K}$. Отсчет прямого восхождения и склонения дан в минутах дуги от (0,0), координаты которого $\alpha(2000) = 05^{\text{h}}41^{\text{m}}07^{\text{s}}.2$. $\delta(2000) = +35^{\circ}49'34''$.

В табл.1 в каждой ячейке отмечено наличие скоростей -20, -17 и -11 км/с (наличие этих скоростей отмечено соответственно цифрами 1, 2 и 3, что соответствует облакам 1, 2 и 3), присутствие красного истечения отмечено знаком +, а синего - знаком -. В табл.1 ячейки те же, что и

на рис.1. Из таблицы можно сделать следующие выводы. Облако 1 (связанное с S235) наблюдается почти во всей регистрируемой области. Облако 2, которое в основном расположено южнее S235, как видно из табл.1, регистрируется в основном южнее и к западу от $cn1$. Облако 3 регистрируется примерно на половине исследуемой области. Это облако видимо не связано с S235, а просто проецируется на исследуемую область, возможно это облако расположено за облаком 1. Красное истечение расположено к северо-западу от $cn1$, а синее - к юго-востоку от $cn1$. Наличие красного и синего истечений означает, что здесь присутствует биполярное молекулярное истечение.

Таблица 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ И
ИСТЕЧЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ОБЪЕКТОВ $cn1$ И $cn2$

	1	1, +	1, 3, +	1,3, +	1, 2, 3, +	1, 2	1, 2, 3
	1,3	1	1, 3, +	1, 3, +	1, 3, +	1	1, 3
1	1	1	1, 3, +	1, 3, +	1, 3, +	1, 3	1, 2, 3
1	1	1	1	1, 3, +	1, 3, +	1, 2, 3	1, 2
1	1	1, 3	1	1, 3	1, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
1	1, 3	1, 3	1, 3, -	1, 3, -	1, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
1	1, 3	1, 3, -	1, 3, -	1, 3	1, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
1	1, 2, -	1, 2, 3, -	1, 2, 3, -	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	2, 3
2	1, 2	1, 2, 3, -	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	2, 3

$cn1$ связан с точечным ИК-источником IRAS05377+3548 [5] (рис.2). Наличие точечного источника IRAS около $cn1$ можно объяснить переизлучением пылевого облака, температура которого в несколько раз ниже

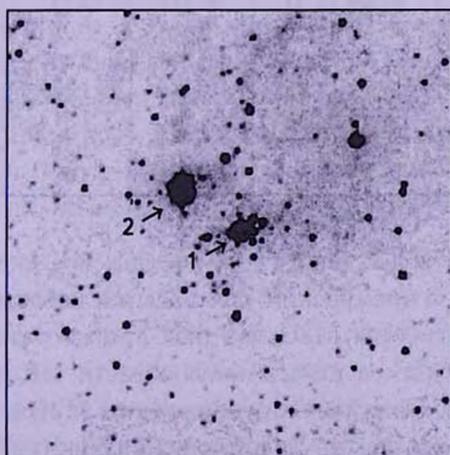


Рис.2. 2MASS K изображение области, содержащей $cn1$ и $cn2$. Север - наверху, восток - слева. Размеры изображения 6' x 6'. 1 - объект $cn1$, 2 - объект $cn2$.

температуры околосредней пылевой оболочки. ИК-цвета этого источника $R(1,2) = 0.017$; $R(2,3) = 0.634$; $R(3,4) = 0.167$. $R(1,2)$ и $R(3,4)$ похожи на аналогичные цвета звезд типа Т Тельца (тип 2, согласно [6]), $R(2,3)$ соответствует ИК-источнику, связанному с мазером воды (тип 1 [6]). В [1] предложен новый тип точечных ИК-источников, занимающих промежуточное положение между типами 1 и 2 (это тип 1-2). Для них $R(1,2) = (-0.3 - 0.1)$; $R(2,3) = (0.38 - 0.87)$; $R(3,4) = (0 - 0.28)$. Это фактически тип ИК-источников, предшествовавших звездам типа Т Тельца. Как видно из табл.4 из [1], половина компактных туманностей (объектов сп) связана с типом 1, а вторая половина - с типом, предложенным нами (типом 1-2).

3. Инфракрасные скопления звезд, связанных с $sp1$ и $sp2$.

В табл.2 приведены данные о звездах из ИК-скопления вокруг $sp1$. В первом столбце дан номер звезды, во втором и третьем - координаты звезды, в четвертом - расстояние звезды от центра скопления (в секундах дуги, координаты центра: $\alpha(2000) = 05^h 41^m 07^s.128$, $\delta(2000) = +35^\circ 49' 32''.701$, в пятом, шестом и седьмом столбцах - ИК-цвета звезд.

Таблица 2

ИК-СКОПЛЕНИЕ ЗВЕЗД, СВЯЗАННЫХ С $sp1$

N	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	r (")	J - H	H - K	J
1	05 ^h 41 ^m 07 ^s .037	35°49'34".81	2.381	2.340	2.102	12.429
2	05 41 07.466	35 49 32.15	4.150	1.024	2.144	13.439
3	05 41 08.886	35 49 29.08	4.662	2.031	1.580	14.331
4	05 41 07.461	35 49 36.83	5.780	-0.219	3.734	13.686
5	05 41 06.693	35 49 36.47	6.492	3.051	2.018	13.795
6	05 41 07.407	35 49 26.64	9.946	1.694	1.188	13.126
7	05 41 07.267	35 49 22.31	10.523	2.773	1.188	15.899
8	05 41 06.232	35 49 33.39	10.918	0.985	1.841	15.407
9	05 41 06.276	35 49 24.50	13.218	0.608	0.098	12.829
10	05 41 07.697	35 49 18.96	15.385	1.143	0.807	17.134
11	05 41 06.223	35 49 43.68	15.542	1.413	0.820	14.677
12	05 41 08.570	35 49 28.98	17.929	1.545	0.421	16.310
13	05 41 05.664	35 49 25.50	19.212	1.435	0.695	16.064

Как видно из табл.2, почти все звезды ИК-скопления являются покрасневшими из-за поглощения. ИК-избытки наблюдаются у звезд 1, 2, 4, 5 и 8, т.е. они являются МЗО. Из табл.2 можно заключить, что МЗО встречаются в основном в центральной области ИК-скопления. В ИК-звездном скоплении наблюдается группирование МЗО к центру скопления а обычные покрасневшие (из-за поглощения) звезды Главной последовательности расположены в основном на периферии скопления. Такое явление наблюдается у инфракрасного скопления, расположенного вокруг

S235 A и S235 B [7], а также вокруг туманности S155 [8]. В [7] это явление объясняется тем, что звезды сначала образуются на периферии облака, а затем - в центральной части. Нам кажется, что это явление можно объяснить тем, что звезды образуются в центральной части скопления, а затем рассеиваются, так что в центральной области регистрируются в основном вновь родившиеся звезды.

В табл.3 приведены данные о звездах ИК-скопления вокруг $\sigma 2$. Столбцы в табл.3 те же, что и в табл.2. Координаты центра скопления: $\alpha(2000) = 05^{\text{h}}41^{\text{m}}11^{\text{s}}.075$, $\delta(2000) = +35^{\circ}50'06''.299$.

Таблица 3

ИК-СКОПЛЕНИЕ ВОКРУГ ОБЪЕКТА $\sigma 2$

N	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	r (")	$J - H$	$H - K$	J
1	$05^{\text{h}}41^{\text{m}}11^{\text{s}}.103$	$+35^{\circ}50'06''.01$	0.449	0.376	4.254	12.642
2	$05\ 41\ 11.021$	$+35\ 50\ 01.75$	4.435	3.317	2.209	12.212
3	$05\ 41\ 11.437$	$+35\ 50\ 05.78$	4.595	0.741	3.038	13.358
4	$05\ 41\ 10.655$	$+35\ 50\ 07.23$	5.197	2.187	-0.542	13.858
5	$05\ 41\ 11.334$	$+35\ 50\ 11.96$	6.476	-0.374	2.669	13.601
6	$05\ 41\ 10.493$	$+35\ 50\ 08.33$	7.369	2.683	1.174	14.989
7	$05\ 41\ 11.305$	$+35\ 50\ 15.62$	9.733	2.006	0.929	14.898
8	$05\ 41\ 10.603$	$+35\ 50\ 14.18$	9.750	0.853	1.213	14.403
9	$05\ 41\ 11.157$	$+35\ 50\ 18.62$	12.359	2.260	1.031	15.649
10	$05\ 41\ 10.936$	$+35\ 50\ 21.83$	15.622	2.111	0.871	16.056

Как видно из табл.3, в этом скоплении присутствуют МЗО с толстыми пылевыми оболочками (дисками), это звезды 1, 2, 3 и 5. Все они группируются к центру скопления, как это имело место и в случае предыдущего скопления.

Как можно увидеть из табл.2 и 3, звезды в скоплениях в основном имеют сильное поглощение (большие значения $J - H$). В обоих случаях звезды с толстой пылевой оболочкой или диском (большие значения $H - K$) в основном концентрируются к центру скопления. Особенно примечательны звезды 2, 4 и 5 из табл.2 и звезды 1, 3 и 5 из табл.3. Пылевые оболочки у этих звезд довольно толстые.

4. *Обширная яркая туманность S235 и связанные с ней компактные области.* К югу от S235 в виде цепочки расположены три компактных области III: S235A, B и C, а также объекты X-A GGD5 и GGD6 [9] (см. рис.3). S235 связан с обширным молекулярным облаком со скоростью -20 км/с, в то время как объекты в цепочке погружены в меньшее молекулярное облако со скоростью -17 км/с, простирающееся в направлении север-юг. A и B связаны с инфракрасным скоплением звезд [8], среди которых имеются МЗО (это источники с ИК-избытком),

которые в основном группируются в центральной области ИК-скопления. В этой области (в центре ИК-скопления) имеются сильно переменный мазер воды и точечный ИК-источник IRAS 05375+3540. Этот источник имеет ИК-цвета, типичные для источника, связанного с мазером воды, тип 1, согласно [6], и на самом деле, поблизости имеется мазер воды. Наблюдено также молекулярное истечение (синее, расположенное между



Рис.3. DSS2 R изображение области, содержащей туманность S235 и связанные с ней компактные области НII. Север - наверху, восток - слева. Размеры изображения 15' x 15'. 1 - GGD5 (S235 C), 2 - S235 B, 3 - S235 A, 4 - GGD6, 5 - S235.

мазером и S235 B, в [4] зарегистрировано также наличие красного истечения, но оно настолько слабое, что в [8] его наличие не подтверждается). В центре объектов S235 A и S235 B расположены умеренно проэволюционировавшие МЗО (А, и В., которые выходят из родительского облака [8]). 22% звезд скопления показывают избыток ближнего ИК-излучения и, вероятно, являются МЗО, другие звезды являются покрасневшими звездами ГП. Мазер и питающий его источник находятся в центре скопления. Имеет место градиент в процессе звездообразования - звезды ближе к центру скопления и вокруг мазера наименее развитые, а А, и В, представляют наиболее развитые стадии. S235 A - классическая область НII. Центральная звезда типа В 0.5. Звезда окружена толстой пылевой оболочкой. А, - второй по яркости ИК-источник. S 235 В является ионизированной расширяющейся оболочкой вокруг ранней звезды В., которая оптически толстая в радио континууме и умеренно тонкая в линиях Брэкета [10]. Ионизированные оболочки этого типа были найдены также вокруг МЗО малой светимости. Звезда В, является В_c звездой Хербига (типа В1Ve [11]). S 235 С является оптически тонкой областью НII. Слабая звезда (видимо типа В 0.5) находится в центре туманности. С этой туманностью связан объект Хербига-Аро

GGD5. Подобно А, В и С объекты cn1 и cn2 также являются компактными областями III. Поскольку эти оба объекта очень сильны в ближнем ИК, можно предположить, что звезды внутри этих объектов окружены пылевой оболочкой, которая переизлучает в ближнем ИК падающее на нее излучение внутренней звезды.

Таблица 4

ГРУППА ИК-ЗВЕЗД ВОКРУГ ОБЪЕКТА GGD6

N	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	$r(\prime)$	$J - H$	$H - K$	J
1	05 ^h 40 ^m 54 ^s .461	+35°43'58".31	3.720	0.470	0.800	14.445
2	05 40 54.427	+35 43 57.20	4.883	2.485	0.611	15.409
3	05 40 54.604	+35 44 07.25	5.403	3.080	1.681	14.992
4	05 40 54.977	+35 44 05.78	6.927	2.775	1.510	15.343
5	05 40 55.062	+35 43 59.12	7.424	0.261	0.630	15.072
6	05 40 54.316	+35 44 09.87	8.185	2.166	1.256	13.798
7	05 40 54.535	+35 43 53.12	8.891	2.035	0.663	14.929

Объект GGD6 связан с группой ИК-звезд (см. рис.4). В табл.4 приведены данные для этих звезд. Столбцы табл.4 те же, что и для табл.2 и 3.

Как видно из табл.4, звезды в группе имеют, в основном, сильное поглощение, но у звезд, имеющих пылевые оболочки, они не такие толстые, как у звезд из табл.2 и 3.

Области звездообразования, связанные с S235 (S235 A, B, GGD6, cn1 , cn2), довольно схожи. Все они содержат группы или скопления звезд, причем скопления содержат как обычные покрасневшие звезды ГП, так и звезды с ИК-избытком (МЗО), что свидетельствует о наличии пылевых оболочек (дисков) вокруг этих звезд, причем имеются звезды с очень

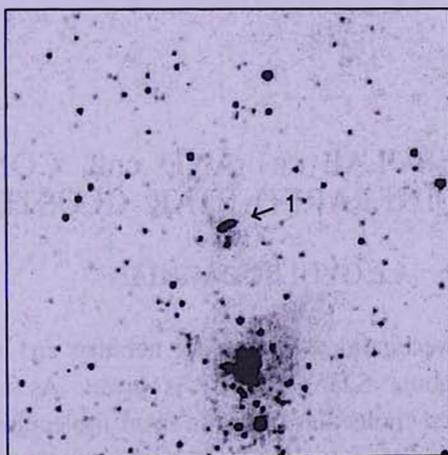


Рис.4. 2MASS K изображение области, содержащей GGD6. Север - наверху, восток - слева. Размеры изображения 6' x 6'. 1 - группа ИК-звезд, связанных с GGD6.

толстой пылевой оболочкой. С $cn1$ и $cn2$, а также с S235 A и GGD5 и GGD6 связаны точечные источники IRAS, которые также свидетельствуют о наличии высвечивающих пылевых оболочек, но с температурой намного ниже, чем у оболочек вокруг МЗО.

4. *Заключение.* В статье исследована окрестность компактных туманностей $cn1$ и $cn2$. Радионаблюдения молекулярного облака, в которое погружены эти туманности, выявили наличие синего, со скоростью (0 - 7.3) км/с по отношению к облаку, и красного, со скоростью (0 - 9.2) км/с по отношению к облаку, молекулярных истечений (то есть это биполярное истечение). С этими туманностями связаны инфракрасные звездные скопления, хорошо видные на 2MASS K изображении области. Среди звезд этих скоплений, наряду с покрасневшими звездами ГП, видны также МЗО, связанные с пылевыми оболочками (дисками). Эти МЗО группируются вокруг центров ИК-скоплений. $cn1$ связан с точечным ИК-источником IRAS 05377+3548, имеющим ИК-цвета, близкие к звездам типа Т Тельца. Рассмотрена цепочка объектов, как бы исходящая из S235, что указывает на их эволюционную связь. Это компактные области S235 A, B и C, объекты X-A GGD5 и GGD6. В статье также рассмотрена группа ИК-звезд, связанных с GGD6. Объекты, связанные с S235, имеют много общего: связь с группами или скоплениями ИК-звезд, связь с точечными источниками IRAS, наличие среди ИК-звезд объектов с сильным ИК-избытком.

Автор выражает благодарность доктору Ч.В.Ли за предоставление данных о $^{12}\text{CO}(1-0)$ наблюдениях области, содержащей $cn1$ и $cn2$.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: agyulb@bao.sci.am

COMPACT NEBULAE $cn1$ AND $cn2$, CONNECTED WITH INFRARED STAR CLUSTER

A.L.GYULBUDAGHIAN

The results of investigation of compact nebulae $cn1$ and $cn2$, situated in the large bright nebula S235 (Mil-2) is given. As a result of CO observations blue and red molecular outflows from molecular cloud, in which these nebulae are embedded, is revealed. It is shown, that $cn1$ and $cn2$ are connected with infrared star clusters of young stars, several of these stars are connected with dust discs or envelopes (so named YSOs - young stellar objects),

and YSOs are grouping around the center of clusters. cn1 is connected with infrared point source IRAS05377+3548, which has IR colours, typical for T Tauri type stars. A chain of objects, starting from S235 (perhaps their evolutionary connection is implied), is considered. These are compact nebulae S235 A, B and C and HH objects GGD5 and GGD6. A group of IR stars, connected with GGD6, is also investigated.

Key words: *star-forming region: molecular outflow: infrared star cluster*

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Л.Гюльбудагян, Р.Шварц, Ф.С.Назаретян, Сообщ. Бюраканской обсерватории, **63**, 3, 1990.
2. A.L.Gyulbudaghian, J.May, *Astrofizika*, **48**, 101, 2005.
3. A.L.Gyulbudaghian, J.May, *Astrofizika*, **51**, 469, 2008.
4. M.Nakano, S.Yoshida, *P.A.S.Japan*, **38**, 531, 1986.
5. IRAS Point Source Catalog, Version 2, 1988, Washington, D.C.
6. J.Wouterloot, C.Walmsley, *Astron. Astrophys.*, **168**, 237, 1986.
7. M.Felli, L.Testi, R.Valderraro, J.-J.Wang, *Astron. Astrophys.*, **320**, 594, 1997.
8. L.Testi, L.Olmi, L.Hunt et al., *Astron. Astrophys.*, **303**, 881, 1995.
9. A.L.Gyulbudaghian, Yu.I.Glushkov, E.K.Denisyuk, *Astrophys. J.*, **224**, L137, 1978.
10. M.Simon, M.Felli, L.Cassar, J.Fischer, M.Massi, *Astrophys. J.*, **266**, 623, 1983.
11. P.A.Boley, A.Sobolev, V.Krushinsky, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **399**, 778, 2009.