

УДК 524.3-56

Звездный ветер как ключ к пониманию спектральной активности IN Com

О.В. Козлова, И.Ю. Алексеев

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” КНУ им. Т. Шевченко, Научный,
АР Крым, Украина, 98409
ilya@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 28 октября 2013 г.

Аннотация. Представлены многолетние спектральные наблюдения с высоким разрешением ($R = 20000$) звезды IN Com в области линий H_α , H_β и HeI 5876. Отличительной особенностью спектра звезды является присутствие в линии H_α протяженной 2-компонентной эмиссии, границы которой могут достигать значений ± 400 км/с. Параметры эмиссии показывают как переменность, обусловленную вращательной модуляцией с периодом вращения звезды, так и масштабную переменность на многолетней временной шкале. Аналогичная эмиссия наблюдается также в линиях H_β и HeI 5876.

Полученные результаты показывают, что наблюдаемые эмиссионные профили формируются в оптически тонком горячем газе, образующем вокруг IN Com околос звездный диск, размеры которого не превышают нескольких звездных радиусов. Вещество для диска поставляется звездным ветром IN Com.

Обнаруженная переменность параметров эмиссии H_α показывает тесную связь с фотополариметрической активностью звезды, что позволяет нам связать многолетнюю спектральную переменность с циклами активности IN Com.

STELLAR WIND AS A KEY TO THE UNDERSTANDING OF SPECTRAL ACTIVITY OF IN COM, *by O. V. Kozlova and I. Yu. Alekseev*. We present long-term spectral observations ($R = 20000$) of IN Com in the region of H_α , H_β and HeI 5876 lines. The distinguishing characteristic of stellar spectrum is the presence in the H_α line the extended two-component emission with limits up to ± 400 km/s. Emission parameters show the rotation modulation with the stellar rotation period and a significant variability on the long-term scale. Similar emission is observed also in H_β and HeI 5876 lines. Our results allow us to conclude that observational emission profiles are formed in optically thin hot gas. It is a result of presence of circumstellar gas disk around IN Com. Its size does not exceed some stellar radii. The material for the disk is supported by IN Com stellar wind. The detected variability of H_α emission parameters shows an evident connection with photopolarimetric activity of the star. This fact allows us to associate the long-term spectral variability with cycles of stellar activity of IN Com.

Ключевые слова: запятненные звезды, спектральная активность, звездный ветер

Таблица 1. Основные характеристики IN Com

$r = 400$ пк	1
$Sp = G5III/IV$	2, 3
$m_V = 8.^m83 - 9.^m02$	4
$T_{eff} = 5150 \div 5300$ K	1–3
$lg(g) = 2.5 \div 3.0$	1–3
$i = 45^\circ$	3
$P_{rot} = 5.^d913$	3
$L = 40L_\odot$	1
$R = 11R_\odot$	3
$M = 1.1M_\odot$	2
$V \sin i = 67$ /	1, 3

1: Ясниевич и др., 1996; 2: Шмидт-Калер, 1982; 3: Штрассмайер и др., 1997;
4: Алексеев и Козлова, 2013.

1 Введение

Представленная работа является третьей в серии статей, посвященных IN Com. Эта звезда считается объектом типа *RS CVn* и проецируется на планетарную туманность *LoTr5*, центром которой является белый карлик. Его присутствие следует из УФ-спектров IN Com, а блеск по оценкам Ясниевича и др. (1996) не превышает 14^m , что делает невозможным его наблюдение в оптике рядом со звездой восьмой величины. Вопрос о кратности звезды (и ее принадлежность к типу *RS CVn*) остается, однако, неясным. Так, Акер и др. (1985) отметили сильную, до 100 км/с, переменность лучевых скоростей IN Com с периодом 0.35 суток. Ясниевич и др. (1987) пришли к выводу о тройственности системы с периодом внутренней *RS CVn* системы в 1.99 суток, а Маласан и др. (1991) говорили о 1.75-дневном периоде. Однако последние наблюдения Штрассмайера и др. (1997) не дали заметных колебаний лучевых скоростей звезды. Наши наблюдения также не показали значимых изменений лучевых скоростей *IN Com*.

Основные параметры IN Com приведены в табл. 1. У звезды отмечается фотометрическая переменность с периодом 5.9 суток, связанным с вращением звезды. Амплитуда этой переменности не превышает нескольких десятых звездной величины (Алексеев и Козлова, 2013). Такое поведение типично для запятненных звезд (Алексеев, 2001). Сейчас не вызывает сомнений, что на поверхности звезды в зонах выхода локальных магнитных полей могут образовываться холодные пятна, в результате чего имеет место активность, аналогичная той, которую мы, в меньшем масштабе, наблюдаем на Солнце.

Исследованию этой активности посвящены наши первые две работы (Алексеев и Кожевникова, 2004; Алексеев и Козлова, 2013). Мы впервые рассмотрели в них многолетнюю фотополяриметрическую активность IN Com и представили результаты моделирования кривой блеска звезды в рамках зональной модели запятненности. Одним из основных наших результатов стал вывод о том, что у звезды существует многолетний цикл активности, аналогичный солнечному 11-летнему циклу, период которого может составлять около 20 лет. Вместе с циклом активности изменяются площади пятен, их средняя широта и положение активных долгот относительно нулевого меридиана.

Таким образом, по своим фотополяриметрическим свойствам IN Com не отличается от других хромосферно-активных звезд. Было бы естественно предположить, что ее спектральные свойства также будут аналогичны тем, которые наблюдаются у других запятненных звезд.

К сожалению, имеющиеся спектральные данные по IN Com весьма отрывочны и не несут систематического характера. Так, доплеровское картирование, выполненное группой Штрассмайера и др. (1997), показало наличие у звезды пояса низкоширотных пятен, что хорошо согласуется с результатами нашего моделирования. Но попытки объяснить поведение эмиссии в H_α только в рамках звездной хромосферы выглядят малоубедительными. Этот факт впервые был отмечен Ясниевичем

и др. (1996). Как показали авторы, возможность объяснить наблюдаемую H_α -эмиссию в рамках аккреционного диска вокруг белого карлика также можно исключить. Взамен они предложили две модели образования эмиссии: хромосфера и частично ионизованный ветер, а также вариант симбиотической звезды (IN Com и белый карлик в центре туманности). В работе Штрассмайера и др. (1997) в качестве места формирования H_α -эмиссии предлагается звездный ветер или непосредственно сама планетарная туманность.

К сожалению, на сегодняшний день ясности в этом вопросе по-прежнему нет, и проблема природы эмиссии H_α у IN Com остается.

В нашей новой работе мы представляем результаты спектральных наблюдений, полученных в Крымской астрофизической обсерватории в течение 2004–2013 гг. Это первые спектральные данные, полученные на столь длинной временной шкале параллельно с фотометрией, позволившие провести значительно более подробный и полный анализ поведения IN Com. Задача работы – уточнить источник эмиссии *IN Com* в линии H_α .

2 Наблюдения

Все спектральные наблюдения выполнены в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) в период с 2004 по 2013 гг. с помощью спектрографа куде на 2.6-метровом телескопе КрАО (ЗТШ), оснащенный ПЗС-камерой. Спектральное разрешение составило около 0.3 \AA .

Таблица 2. Спектральные наблюдения IN Com

Дата	JD	фаза	V	Область	S/N	$EW(H_\alpha)$
04-01-31	2453036.628	0.3530	8.96	H_α 6563	66	5.81
04-02-22	2453058.475	0.0343	8.95	H_α 6563	103	6.39
04-03-07	2453072.486	0.3951	8.97	H_α 6563	55	9.14
04-03-12	2453077.428	0.2276	8.94	H_α 6563	50	11.6
04-05-28	2453154.291	0.1793	8.94	H_α 6563	32	8.74
05-02-21	2453423.535	0.5466	–	H_α 6563	38	6.75
05-03-17	2453447.355	0.5603	–	H_α 6563	67	5.59
05-04-14	2453475.253	0.2612	–	H_α 6563	62	7.39
05-04-20	2453481.244	0.2706	–	H_α 6563	52	6.15
05-05-02	2453493.250	0.2936	–	H_α 6563	71	6.51
06-03-25	2453820.368	0.4127	8.99	H_α 6563	17	6.97
06-03-26	2453821.363	0.5805	9.02	H_α 6563	59	4.38
06-04-18	2453844.337	0.4516	9.00	H_α 6563	31	4.59
06-04-21	2454847.434	0.9734	8.96	H_α 6563	33	6.82
06-04-23	2453849.276	0.2878	8.98	H_α 6563	19	5.85
06-05-15	2453871.341	0.0018	8.97	H_α 6563	40	5.30
10-01-25	2455222.507	0.6723	8.88	H_α 6563	65	3.46
10-02-13	2455241.487	0.8704	8.95	H_α 6563	36	3.21
10-02-22	2455250.427	0.3765	8.92	H_α 6563	120	2.96
10-03-19	2455275.363	0.5785	8.87	H_α 6563	99	2.79
10-03-20	2455276.358	0.7463	8.91	H_α 6563	61	3.06
10-03-23	2455279.368	0.2534	8.95	H_α 6563	101	4.34
10-03-24	2455280.381	0.4241	8.90	H_α 6563	98	3.34
10-03-25	2455281.369	0.5905	8.87	H_α 6563	90	2.67

Таблица 2. Продолжение

Дата	JD	фаза	V	Область	S/N	EW(H_α)
10-04-18	2455305.312	0.6249	8.87	H_α 6563	91	2.78
10-04-23	2455310.304	0.4661	8.89	H_α 6563	74	3.26
	2455310.390	0.4806	8.88	H_β 4861	33	
10-05-06	2455323.264	0.6498	8.88	H_α 6563	105	2.60
	2455323.338	0.6624	8.88	H_β 4861	41	
11-03-12	2455633.377	0.9037	8.89	H_α 6563	197	2.97
11-03-13	2455634.408	0.0774	8.88	H_α 6563	163	2.42
11-03-25	2455646.426	0.1025	8.89	H_α 6563	82	2.12
11-03-26	2455647.428	0.2712	8.91	H_α 6563	53	2.31
11-03-28	2455649.431	0.6088	8.93	H_α 6563	91	3.03
11-04-20	2455672.316	0.4650	8.94	H_α 6563	99	3.06
11-05-10	2455692.336	0.8382	8.89	H_α 6563	45	2.55
11-05-25	2455707.337	0.3658	8.93	H_α 6563	119	2.65
12-04-04	2456022.439	0.4604	8.87	H_α 6563	27	2.11
12-04-05	2456023.431	0.6276	8.93	H_α 6563	45	2.90
12-05-06	2456054.334	0.8346	8.93	H_α 6563	111	2.78
12-05-07	2456055.281	0.9942	8.93	H_α 6563	90	2.67
12-05-08	2456056.270	0.1608	8.94	H_α 6563	89	2.43
12-05-10	2456058.272	0.4983	8.88	H_α 6563	112	2.56
12-05-11	2456059.328	0.6762	8.94	H_α 6563	31	2.91
13-01-02	2456295.606	0.4888	8.85	H_α 6563	57	2.99
13-02-27	2456351.527	0.9114	8.90	H_α 6563	75	3.80
13-03-06	2456358.479	0.0815	8.90	H_α 6563	98	5.35
13-03-20	2456372.519	0.4487	8.87	H_α 6563	140	4.22
13-03-29	2456381.429	0.9499	8.90	H_α 6563	67	4.48
13-04-26	2456409.320	0.6495	8.85	H_α 6563	100	3.69
13-04-27	2456410.320	0.8182	8.89	H_α 6563	106	3.75
	2456410.406	0.8325	8.89	Na I D 5876	139	
13-05-05	2456418.285	0.1601	8.90	H_α 6563	103	4.35
	2456418.390	0.1780	8.90	Na I D 5876	77	
13-05-06	2456419.306	0.3323	8.90	H_α 6563	137	3.70
	2456419.391	0.3465	8.90	Na I D 5876	111	
13-05-07	2456420.353	0.5087	8.84	H_α 6563	124	3.84

Всего было получено 52 спектра в области эмиссионной линии H_α , 4 спектра в области линий $NaI D$ и 2 спектра в области β . Данные о датах наблюдений, величине S/N и эквивалентной ширине EW линии H_α приведены в табл. 2.

При определении эквивалентной ширины эмиссионной линии H_α проводилось вычитание фотосферного профиля, который рассчитывался методом синтетического спектра с помощью программы *SYNTH* Н.Е. Пискунова (1992) и Венской базы атомных линий *VALD* (Пискунов и др., 1995, 1999). При расчете были приняты следующие параметры, взятые из работы Штрассмайера и др. (1997): $T_{eff} = 5250 K$, $lg(g) = 2.5$, $V \sin i = 67/$. Результирующая ошибка определения параметров эмиссии не превышает 1 Å для $EW(H_\alpha)$, 0.1 для интенсивности I и 5 км/с для значений лучевых скоростей. Полученные данные были приведены к барицентру Солнца.

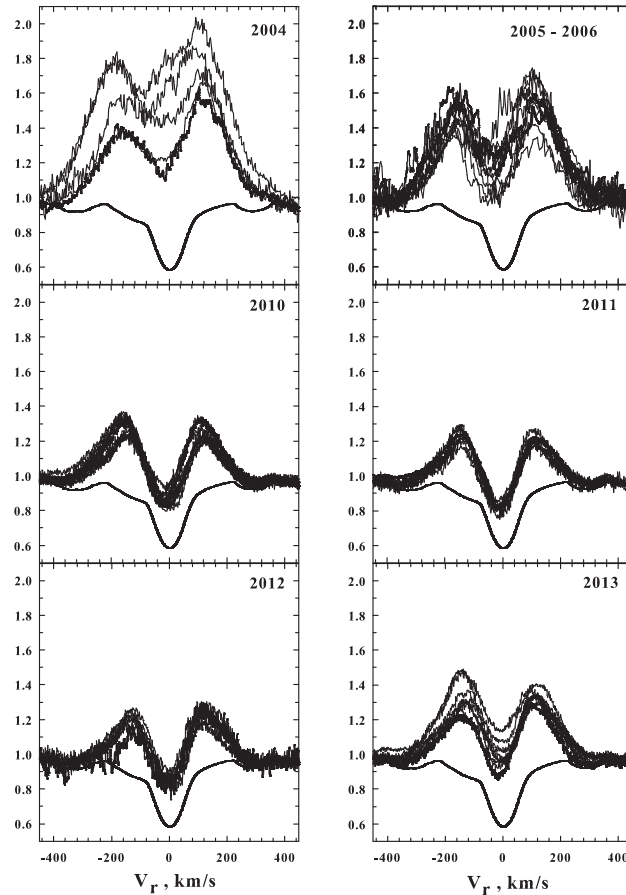


Рис. 1. Профили эмиссионных линий H_α переменной IN Com

Фотополяриметрические наблюдения IN Com проводились в КраО на телескопе АЗТ-11 UBVR1 фотометра-поляриметра. Средняя ошибка в полосе V составила $0^m.01$.

3 Результаты

3.1 Линия H_α

Все наблюдаемые профили эмиссионной линии H_α для IN Com представлены на рис. 1. Мы видим здесь широкую 2-компонентную эмиссию, границы которой могут достигать значений ± 400 км/с. Соотношение интенсивностей эмиссионных компонент V/R обычно составляет около единицы, хотя могут наблюдаться профили, где синий компонент существенно ниже красного. Ширина центральной абсорбции составляет около 100 км/с, лучевая скорость показывает сильную переменность от -90 до $+20$ км/с.

Все эти факты находятся в явном противоречии с предположением о хромосферной природе эмиссии IN Com. Например, границы эмиссионных крыльев для хромосферно-активных звезд гораздо меньше и не превышают ± 200 км/с, а центральная абсорбция узкая и неглубокая (Алексеев

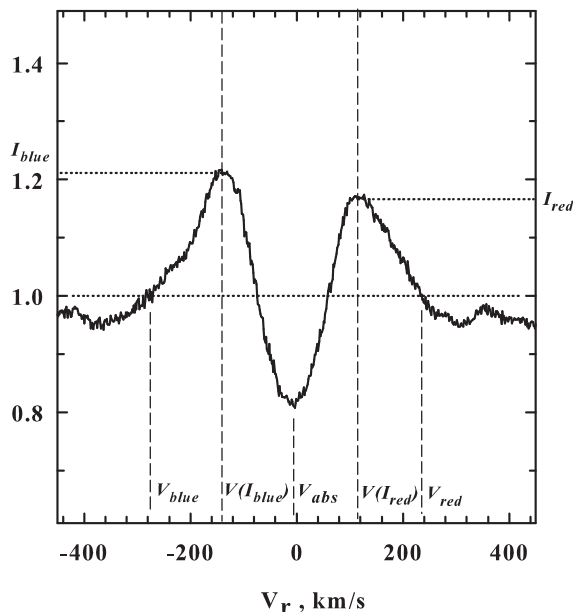


Рис. 2. Параметры эмиссионных профилей линии H_{α} переменной IN Com

и Козлова, 2000, 2001, 2002, 2003). В то же время именно такие значения параметров H_{α} , согласно, например, Козловой и др. (2003) или Погосину и др. (2005), характерны для молодых звезд, окруженных околозвездными дисками.

Для анализа наблюдаемой переменности мы выбрали следующие параметры: эквивалентная ширина эмиссии EW , лучевые скорости синего $V(I_{blue})$ и красного $V(I_{red})$ эмиссионных компонентов, их интенсивности I_{blue} и I_{red} , лучевую скорость центральной абсорбции V_{abs} , синюю V_{blue} и красную V_{red} границы эмиссии, а также определенную по ним ширину эмиссионного профиля W_{em} (рис. 2).

Изменение этих величин со временем приведено на рис. 3а. Для сравнения сверху показано изменение блеска звезды в полосе V . Волна, которую описывает на рисунке величина m_V , является результатом многолетнего цикла активности. Поскольку этот цикл достаточно продолжительный, длительность каждой его фазы занимает несколько лет. В нашей предыдущей работе (Алексеев и Козлова, 2013) мы показали, что максимум цикла приходится примерно на 2000–2005 гг. Запятненность звезды в это время согласно результатам нашего моделирования (Алексеев и Козлова, 2013) была наибольшей и составляла около 20 % от общей площади фотосферы. Таким образом, 2004 год – начало спектрального мониторинга звезды – приходится непосредственно на конец максимума ее пятенной активности.

Из рисунка хорошо видно, что параметры эмиссии в значительной мере отражают ход фотометрической переменности. В слабом состоянии блеска наблюдались максимальные значения эквивалентной ширины, интенсивности и ширины эмиссии H_{α} . Тогда же отмечались наибольшие значения лучевой скорости центральной абсорбции. В газовом диске такое положение абсорбции служит прямым указанием на присутствие на луче зрения истекающего газа. Свидетельства интенсивного звездного ветра в этот момент можно найти и в соотношении интенсивностей синего и красного эмиссионных компонент, которое в это время было преимущественно меньше единицы.

В ярком состоянии блеска, когда наступает минимальная фаза цикла активности, мы видим совершенно противоположную картину – минимальные значения интенсивности, ширины эмиссии W_{em} и эквивалентной ширины EW . Интенсивности синего I_{blue} и красного I_{red} эмиссионных компонент почти равны, что более характерно не для ветра, а для вращающегося газового диска.

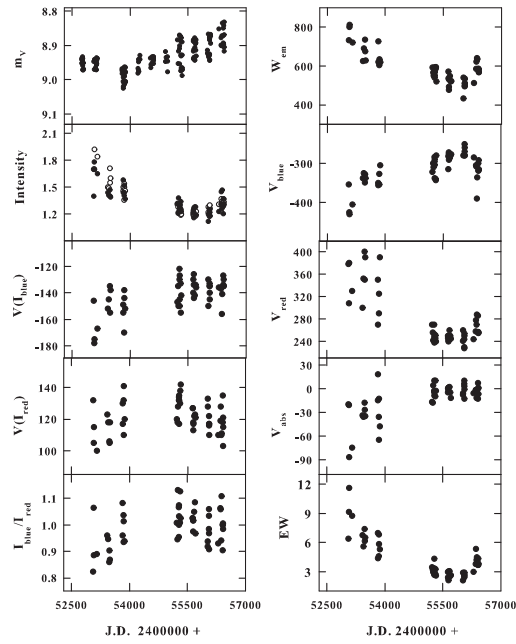


Рис. 3. а. Изменения параметров эмиссии IN Com в линии H_{α} со временем. На левых панелях сверху вниз – колебания блеска звезды m_V по данным Алексева и Козловой (2013), интенсивностей синего (точки) и красного (открытые кружки) эмиссионных пиков, их лучевые скорости $V(I_{blue})$, $V(I_{red})$ и отношения интенсивностей. На правых панелях – изменения полной ширины эмиссии на уровне континуума W_{em} , лучевые скорости синего V_{blue} и красного V_{red} эмиссионных крыльев и центральной абсорбции V_{abs} , колебания эквивалентной ширины чистой эмиссии EW

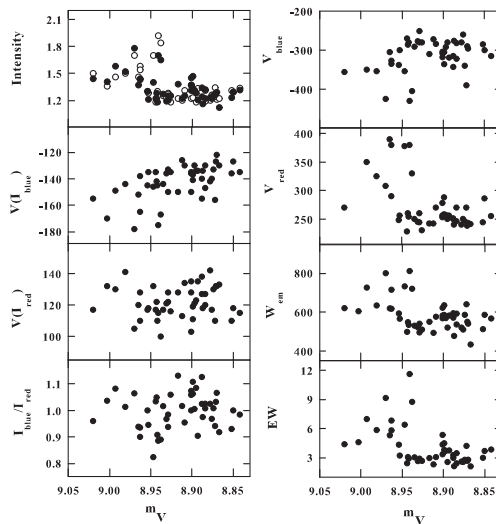


Рис. 3. б. Изменения параметров эмиссии IN Com в линии H_{α} в зависимости от блеска звезды в полосе V

Аналогичная картина получается и при рассмотрении рисунка 3б, где показано изменение параметров эмиссии в зависимости от блеска m_V . В максимуме цикла активности (минимум блеска) лучевая скорость синего эмиссионного компонента достигает наибольших значений -180 км/с. Это явный признак ветра. Однако по мере увеличения блеска значения $V(I_{blue})$ постепенно уменьшаются и во время минимума активности достигают -120 км/с.

Лучевая скорость синей границы эмиссии V_{blue} ведет себя аналогично. В ярком состоянии блеска ее величина показывает быструю переменность, колеблясь от -250 до -350 км/с, тогда как в максимуме активности лучевая скорость V_{blue} может превышать -400 км/с.

Интересное поведение можно отметить и в изменении красной границы эмиссии V_{red} . В ярком состоянии блеска модули значений лучевых скоростей V_{blue} и V_{red} примерно равны. В минимуме блеска мы наблюдаем резкое увеличение величины V_{red} , которое, в отличие от плавно увеличивающихся значений V_{blue} , происходит скачкообразно.

Такие изменения довольно просто объясняются в рамках перехода от ветровой оболочки в максимуме цикла активности (2004–2005 гг.) к вращающемуся газовому диску в минимуме (2010–2013 гг.). Поскольку часть газовой оболочки экранируется диском звезды, мы не видим газ, расположенный непосредственно за ним. В результате та часть ветра, которая удаляется от нас, не вносит свой вклад в эмиссионный профиль H_α . Однако при самых слабых значениях блеска, когда ветровая активность максимальна, диск звезды уже не может полностью экранировать движущийся от нас газ. Зная ориентацию звезды по отношению к наблюдателю (см. табл. 1), легко можно оценить, что внешняя граница диска в этот момент превышает два звездных радиуса.

На рисунках 3в-г показано изменение параметров эмиссионного профиля H_α в зависимости от фазы, свернутой с периодом 5.9 суток. Как уже отмечалось выше, этот период, определенный по фотометрическим данным, считается периодом вращения самой IN Com. Из-за слабой статистики мы не стали приводить рисунки за 2004–2006 гг. Однако по приведенным данным видно, что фазовая кривая отчетливо просматривается в 2010, 2012 и 2013 гг. в изменении таких параметров, как соотношение интенсивностей эмиссионных компонент, изменение их лучевых скоростей, лучевой скорости центральной абсорбции, а также, возможно, эквивалентной ширины. Такие фазовые зависимости могут быть результатом как твердотельного вращения, так и вращательной модуляции, обусловленной присутствием в диске газовых неоднородностей. Подобные образования могут возникать над областями пятен, где открытые линии локальных магнитных полей, продолжающиеся в диск, будут формировать устойчивые структуры в звездном ветре.

3.2 Линия H_β

За все время наблюдений мы получили только два спектра IN Com в области линии H_β . Как видно из рис. 4, интенсивность эмиссии настолько мала, что она становится заметна только после вычитания фотосферного профиля. Интересно, что эта эмиссия тоже имеет 2-компонентный профиль, как и линия H_α , при этом соотношение интенсивностей чистой эмиссии $I(H_\alpha)/I(H_\beta)$ составляет около 4.5 : 1.0.

К сожалению, у нас нет данных по другим бальмеровским линиям, однако результат по H_α и H_β можно рассматривать как косвенный аргумент в пользу относительно низкой плотности газа в диске. Следует также заметить, что эта величина близка к значению бальмеровского декремента в средах, где ионизация происходит за счет электронных ударов, космических частиц или рентгеновского излучения, например, в остатках сверхновых. Газовый диск IN Com, вещество для которого поставляется напрямую звездным ветром, формирующимся в активных областях, хорошо вписывается в эти условия.

3.3 Линия гелия $HeI\ 5876$

Пример спектра IN Com в области линии $He\ I\ 5876\ \text{\AA}$ и резонансного дублета натрия показан на рис. 5. В линии гелия заметна слабая двухкомпонентная эмиссия с глубокой центральной абсорбцией.

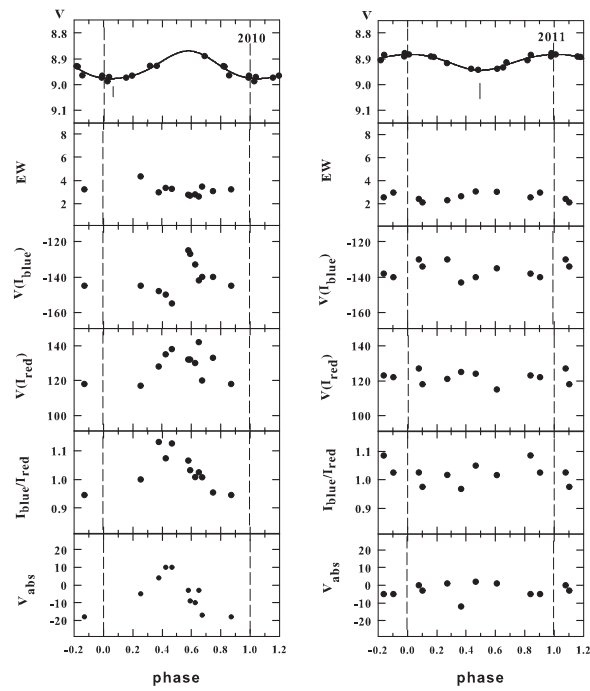


Рис. 3. в. Зависимость параметров H_{α} -эмиссии IN Com от фазы осевого вращения звезды. 2010–2011 годы

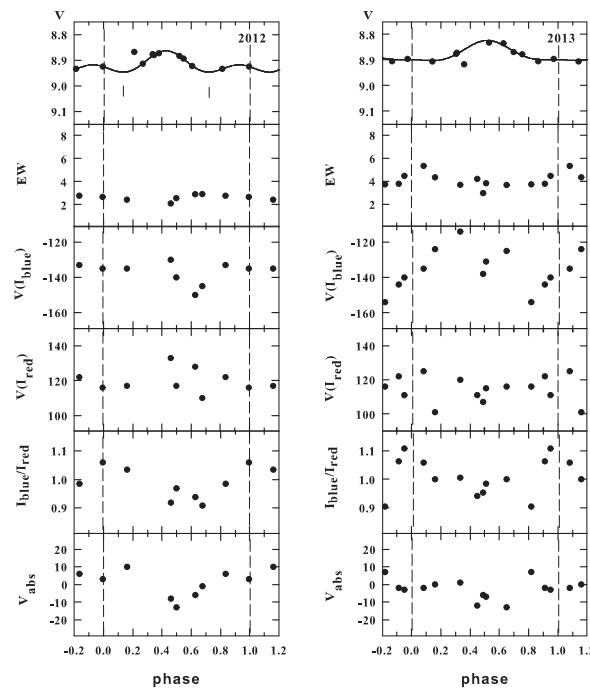


Рис. 3. г. Зависимость параметров H_{α} -эмиссии IN Com от фазы осевого вращения звезды. 2012–2013 годы

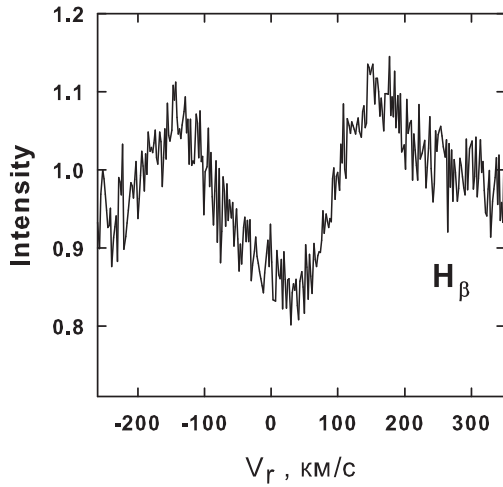


Рис. 4. Спектры чистой эмиссии IN Com в области H_β

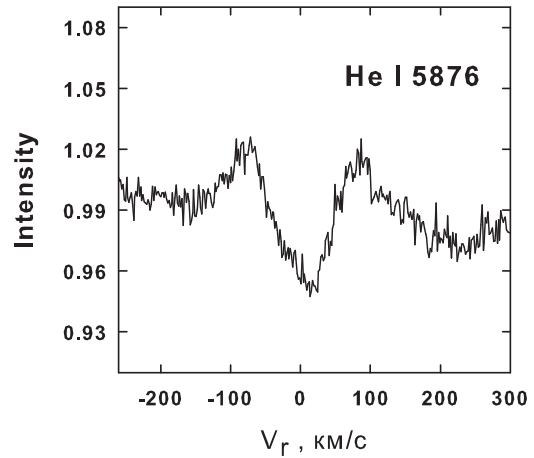


Рис. 5. Спектры чистой эмиссии IN Com в области $He I 5876 \text{ \AA}$

Следует заметить, что у активных звезд присутствие линии гелия He I 5876 отмечается довольно часто и связано с хромосферой (см., например, Монтес и др., 2000). При этом линия наблюдается или в абсорбции, или в виде узкой эмиссии, ширина которой определяется кинематикой газа в активных областях хромосферы. Однако в случае IN Com мы имеем в линии гелия профиль, аналогичный профилю линии H_α . Это указывает на то, что местом его формирования является диск. Лучевые скорости эмиссионных компонент симметричны и составляют $\pm 80 \text{ км/с}$, что очень близко к значению $V \sin i$ самой IN Com.

В предположении твердотельного вращения диска этот результат означает, что в линии гелия мы наблюдаем самые глубокие области диска, непосредственно примыкающие к звезде. По-видимому, именно здесь, в основании ветра, могут достигаться необходимые для формирования эмиссии температуры и плотности (см. результаты моделирования Тамбовцевой и др., 1999).

4 Параметры околозвездного газового диска IN Com

Выше мы уже отмечали, что размер ветровой оболочки в максимуме активности должен превышать два звездных радиуса. Размер газового диска, наблюдаемого в минимуме цикла активности, оценить сложнее. Для этого нужно знать кинематические условия в околозвездном газе. Выше мы говорили о признаках твердотельного вращения диска, однако они могут относиться только к устойчивым образованиям в звездном ветре, а не ко всему диску в целом.

Сделаем сначала оценки размера диска в приближении кеплеровского вращения. В этом случае параметры V_{blue} и V_{red} , определяющие синюю и красную границы эмиссии H_α , будут описывать кинематику газа на внутренней границе диска, там, где скорости вращения максимальны. Для IN Com эти величины составляют около $\pm 280 \text{ км/с}$. Зная параметры звезды (см. табл. 1), легко показать, что в кеплеровском приближении внутренняя граница диска R_{in} составляет около трети радиуса звезды. Это означает, что в рамках кеплеровского приближения околозвездный диск должен был бы находиться внутри IN Com, что совершенно нереально.

В твердотельном приближении параметры V_{blue} и V_{red} определяют уже вращение газа на внешней границе диска. В этом случае внешняя граница R_{disk} будет составлять около полутора радиусов звезды. Для грубой оценки размеров внутренней границы можно использовать лучевые скорости эмиссионных компонент $V(I_{blue})$ и $V(I_{red})$. Для вращающегося диска они составляют около

± 130 км/с. В этом случае внутренняя граница диска будет примерно равной радиусу IN Com, т. е. диск будет начинаться от поверхности звезды.

Таким образом, твердотельное приближение дает наиболее реалистичные оценки размеров околозвездного диска, при этом в максимуме и минимуме активности этот размер диска меняется более чем в 2 раза.

Данные, полученные по линиям гелия He I 5876, дублета натрия и H_β , подтверждают, что в случае IN Com мы имеем дело с горячим, оптически тонким газовым диском.

5 Обсуждение

Полученные нами результаты показывают, что спектральная активность IN Com в 2004–2012 годы в среднем хорошо коррелирует с фотометрической переменностью звезды, являющейся результатом многолетнего цикла активности. Этот факт позволяет предположить, что именно изменение локальных магнитных полей на поверхности звезды, происходящее на многолетней временной шкале, является тем физическим механизмом, который регулирует звездный ветер, и, как результат, поступление газа в околозвездный диск, окружающий IN Com.

Действительно, в максимуме цикла активности (в 2004–2005 годы) интенсивный звездный ветер буквально “надувает” околозвездную газовую оболочку вокруг звезды – ее размеры увеличиваются. На это указывает рост лучевой скорости V_{red} – ветер, дующий в сторону от нас, уже не экранируется диском звезды и дает вклад в красный компонент эмиссии. В минимуме активности, когда площади пятен минимальны, звездный ветер практически отсутствует, и мы видим только остатки бывшей ветровой оболочки – вращающийся газовый диск.

Однако не все факты хорошо вписываются в представленную картину. Если мы посмотрим на рис. 3а, то заметим, что в 2013 г. параметры эмиссии в линии H_α (EW , W_{em} , V_{red} , V_{blue} и др.) показали явную тенденцию к росту своих значений, тогда как блеск звезды продолжал увеличиваться, а площадь запятанных областей, соответственно, уменьшаться (Алексеев и Козлова, 2013). Если именно локальные магнитные поля ответственны за усиление ветра и рост околозвездной газовой оболочки, поведение параметров эмиссии в 2013 году оказывается непонятным.

Возможно, что причина таких изменений – присутствие у IN Com вторичного компонента, орбита которого сильно отличается от круговой. В этом случае при прохождении периастра второй компонент мог бы забирать часть газа из ветровой оболочки, аккрецируя ее на себя. Затем ветер снова наполняет околозвездный диск газом, и мы видим рост параметров эмиссии H_α . Несомненная корреляция с циклом активности в рамках этой гипотезы может получить простое объяснение. Действительно, такие циклы в двойных системах часто “подстраиваются” под орбитальный период, и мы знаем много таких примеров.

С другой стороны, неясно и присутствие близкого вторичного компонента с периодом около 2 суток – данные по лучевым скоростям, полученные Штрассмайером и др. (1997) и нами противоречат более ранним результатам. В сочетании с активностью в линии H_α это позволяет уточнить эволюционный статус переменной и утверждать, что IN Com – не классическая система типа RS CVn, а более проэволюционировавшая звезда типа FK Com (Бопп и Стенсел, 1981). Впервые такое предположение выдвинули Ясниевич и др. (1987).

К сожалению, сегодня мы не можем ответить на вопрос, существует ли у IN Com вторичный компонент с таким орбитальным периодом. Он много раз поднимался другими исследователями, но вопрос остается открытым. Таким образом, только новые наблюдения могут внести ясность в этот вопрос.

6 Заключение

Результаты наших наблюдений в линии H_α убедительно показывают, что именно звездный ветер является тем физическим механизмом, который поставляет газ в ближайшую окрестность IN Com, формируя вокруг нее оптически тонкий горячий газовый диск. Образующаяся в нем эмиссионная

линия H_{α} определяется физическими условиями в диске, которые, как мы уже показали, меняются на многолетней временной шкале. Одной из причин столь интенсивного звездного ветра являются, несомненно, локальные магнитные поля. Их изменение со временем определяется циклом активности звезды и непосредственно влияет на ее запытенность на многолетней временной шкале. Вторая причина, по-видимому, связана с быстрым вращением IN Com, которое близко к критическому. Поскольку больше ни одна из известных хромосферно-активных звезд не показывает таких необычных свойств, нельзя исключить того, что обе причины связаны друг с другом и столь бурная магнитная активность усиливается аномальным вращением звезды.

В результате мы имеем феномен, аналогичный наблюдаемому у Ве-звезд. Как известно, для объяснения Ве-феномена ряд исследователей пытается привлечь гипотезу об их двойственности. Тем не менее, несмотря на хорошее согласие с некоторыми наблюдательными данными, этот вопрос пока остается открытым.

Таким образом, нельзя исключить, что именно присутствие белого карлика вблизи IN Com обеспечило ей столь редкую возможность “Ве”-активности.

Литература

- Акер и др. (Acker A., Jasniewicz G., Gleizes F.) // *Astron. Astrophys.* 1985. V. 151. L. 13.
 Алексеев И.Ю. // *Запытенные звезды малых масс.* Одесса: АстроПринт. 2001.
 Алексеев И.Ю., Кожевникова А.В. // *Астрофизика.* 2004. Т. 47. С. 519.
 Алексеев И.Ю., Козлова О.В. // *Астрофизика.* 2000. Т. 43. С. 339.
 Алексеев И.Ю., Козлова О.В. // *Астрофизика.* 2001. Т. 44. С. 529.
 Алексеев, Козлова (Alekseev I.Yu., Kozlova O.V.) // *Astron. Astrophys.* 2002. V. 396. P. 203.
 Алексеев, Козлова (Alekseev I.Yu., Kozlova O.V.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 403. P. 205.
 Алексеев И.Ю., Козлова О.В. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2013. данный выпуск.
 Бош, Стенсел (Bopp W.W., Stencel R.E.) // *Astrophys. J.* 1981. V. 247. L. 131.
 Козлова О.В., Гринин В.П., Чунтонов Г.А. // *Астрофизика.* 2003. Т. 46. С. 265.
 Маласан и др. (Malasan H.L., Yamasaki A., Kondo M.) // *Astron. J.* 1991. V. 101. P. 2131.
 Монтес и др. (Montes D., Fernández-Figueroa M.J., De Castro M., et al.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 2000. V. 146. P. 103.
 Пискунов Н.Е. // *Магнетизм звезд.* / Ред. Глаголевский Ю.В., Романюк И.И. Санкт-Петербург: Наука. 1992. С. 92.
 Пискунов и др. (Piskunov N.E., Kupka F., Ryabchikova T.A., et al.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1995. V. 112. P. 525.
 Пискунов и др. (Piskunov N.E., Kupka F., Ryabchikova T.A., et al.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1999. V. 138. P. 119.
 Погодин и др. (Pogodin M.A., Franco G.A.P., Lopes D.F.) // *Astron. Astrophys.* 2005. V. 438. P. 239.
 Тамбовцева Л.В., Гринин В.П., Козлова О.В. // *Астрофизика.* 1999. Т. 42. С. 54.
 Шмидт-Калер (Schmidt-Kaler Th.) // *Physical parameters of stars.* / Eds Schaifers K., Voigt H.H. Landolt-Börnstein. Subvol. Springer. Verlag. 1982. V. 2. P. 1.
 Штрассмайер и др. (Strassmeier K.G., Hubl B., Rice J.B.) // *Astron. Astrophys.* 1997. V. 322. P. 511.
 Ясниевич и др. (Jasniewicz G., Duquennoe A., Acker A.) // *Astron. Astrophys.* 1987. V. 180. P. 145.
 Ясниевич и др. (Jasniewicz G., Thévenin F., Monier R., Skiff B.A.) // *Astron. Astrophys.* 1996. V. 307. P. 200.