

УДК 523

## Реванш лучевых скоростей

*Е.Л. Ченцов*

Специальная астрофизическая обсерватория РАН  
*echen@sao.ru*

Поступила в редакцию 20 декабря 2012 г.

Из всех телескопов, на которых довелось наблюдать, этот для меня особенно значим. Общение с ним пришлось на годы ученичества, и я воспринимаю его как своего наставника – наряду с научным руководителем И.М. Копыловым и крымскими коллегами. В лабораторном корпусе они склоняли меня к тому, чем сами были увлечены, – эквивалентным ширинам, кривым роста, а под куполом «50-ки», где на полу у стенки стоял невостробованный спектрограф Альбицкого, я услышал призыв к реваншу, или мягче – к реабилитации лучевых скоростей. И откликнулся на него, стал одним из «реваншистов»...

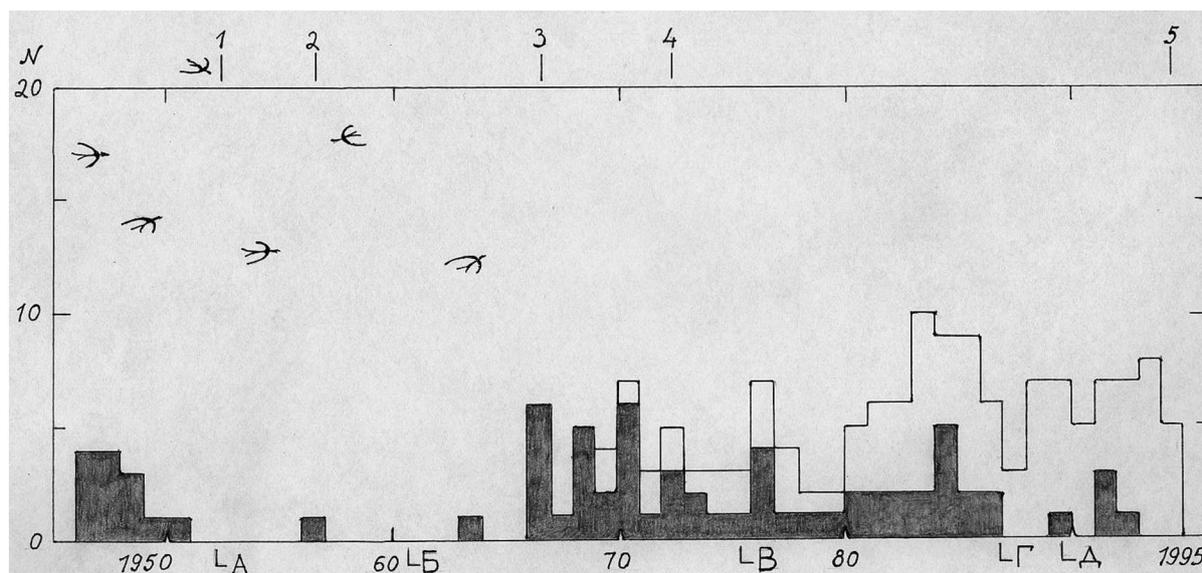
Моими объектами были сверхгиганты. На каждой из примерно полутысячи спектрограмм, накопленных в 1962–1965 годах, впечатан спектр сравнения, а значит, можно измерять скорости не только турбулентные, но и лучевые, и дифференциальные сдвиги линий. Но вообще-то, помнится, в те годы к железной дуге относились настороженно, как к опасному источнику рассеянного света, и зажигали ее разве что для контроля стабильности спектрографа. Ради чистоты фотометрических измерений отказывались от позиционных.

На рисунке – распределение по годам (от послевоенных лет до открытия первых экзопланет) публикаций, содержащих лучевые скорости, полученные на отечественных инструментах. Темные прямоугольники – вклад КрАО, «надстройка» над ними – добавка от остальных обсерваторий. Включены только результаты щелевой звездной спектроскопии (без спектроскопии галактик и панорамной Фабри-Перо спектроскопии туманностей). Информационная емкость сильно различается от статьи к статье. «Порожек» на левом краю рисунка выстроился из итоговых каталогов лучевых скоростей сотен звезд и статей, посвященных отдельным звездам. За «порожком» – «пустырь»: лучевые скорости не измерялись, по крайней мере, о них не появлялось публикаций 15 лет (с двумя оговорками – 13).

Естественно сопоставить нашу ситуацию с мировой, причем, поскольку все наши лучевые скорости до 1970 г. были крымскими, сделать это так, чтобы последняя тоже была представлена одной обсерваторией. Я взял для сравнения Маунт-Вилсон (с начала 50-х вместе с Маунт-Паламар), основного поставщика лучевых скоростей, – почти половина измерений, собранных в каталоге Р. Вилсона (1953). Как видим, его продуктивность в 50-е – 60-е годы не снижалась, оставаясь на уровне 15–20 публикаций в год. (Отмечающие его значки подсказаны стихотворением Арсения Тарковского об Анжело Секки:

... И ласточки над экваториалом,  
Как вестницы забвения, снуют.)

А наше временное забвение – отчего оно? Война, погиб не только симеизский телескоп, но и большая часть архива спектрограмм. Сбой преемственности: в 52-м умер Альбицкий, через 4 года – Шайн... В эти же годы или чуть позднее ушли и маунт-вилсоновские корифеи: Адамс, Сэнфорд, Меррилл, Джой, но оставались Гринстейн, Мюнч, приезжали наблюдать Струве, Крафт и др. И, конечно, переориентация нового, послевоенного поколения звездников КрАО со звездной астрономии на астрофизику.



**Рис. 1.** Гистограмма распределения по годам числа публикаций о лучевых скоростях и дифференциальных сдвигах линий, измеренных в отечественных обсерваториях (зачерненная часть – КрАО)

«Ласточки» – отметки уровней публикаций, обеспеченных обсерваториями Маунт-Вилсон и Маунт-Паломар.

Вверху вертикальными штрихами с цифрами отмечены годы некоторых важных событий:

1953 – выход каталога Р. Вилсона (1),

1957 – публикации Мюнча о лучевых скоростях по межзвездным линиям и Абта о переменности сверхгигантов (2),

1967 – начало работы астроспидометра Гриффина (3) и

1973 – его же публикация о достижении уровня точности измерения в 0.02 км/с,

1995 – открытие Майором первой экзопланеты.

Внизу указаны моменты начала функционирования:

А – спектрографа Альбицкого (1953 г.),

Б – АСП-11 (1961 г.),

В – ОЗСП БТА (1976 г.),

Г – астроспидометра Токовинина (1987 г.),

Д – НЭС БТА (1990 г.).

В годы, когда у нас измерения лучевых скоростей были свернуты, в остальном мире они напротив широко развертывались. К ним подключались новые обсерватории. 30-я комиссия

## Реванш лучевых скоростей

МАС обзавелась – наряду с метрологическими подкомиссиями по длинам волн и стандартам лучевых скоростей – еще и подкомиссией по кооперации этих измерений.

Эти же годы отмечены впечатляющим прогрессом в технике звездной спектроскопии. Росли проникающая сила приборов, точность и скорость измерения. Уже в начале 50-х дифракционный спектрограф в фокусе кудэ 5-метрового телескопа позволил получать скорости звезд шаровых скоплений 15-й величины с ошибкой около 3 км/с, позднее помещенный в тот же фокус астроспидометр Гриффина снизил ее до 0.8 км/с. Для самых ярких звезд еще в фотографическую эпоху, до перехода на матрицы ПЗС, ошибку удалось ограничить 10–20 м/с.

В КраО еще долго после возврата к лучевым скоростям спектрограммы обмерялись на компараторе ИЗА-2, хотя для ускорения обмера и повышения точности к тому времени был предложен и функционировал ряд полуавтоматических устройств, а первый осциллоскопический компаратор заработал еще в 1962 г. (его принцип в компьютерном варианте применяется до сих пор). Самый быстрый, но узкоспециализированный, способ измерений (частично воплощенный еще в компараторе Гартмана) был реализован в корреляционном астроспидометре.

Рост спектрального разрешения – важный фактор повышения точности измерения лучевых скоростей, особенно значимый, когда необходимо просто увидеть, четко различить подлежащие измерению детали сложных профилей. Хороший пример – разрешение на компоненты межзвездных линий Na I при переходе от высокого разрешения к очень высокому. Спектрограф кудэ 100-дюймового рефлектора обсерватории Маунт-Вилсон ( $R \sim 30000$ ) в 40–50-е годы у ряда звезд показывал их как однокомпонентные, а уже в 60-е интерферометр Фабри-Перо в фокусе кудэ 120-дюймового телескопа Ликской обсерватории ( $R \sim 600000$ ) «расщепил» каждую из этих линий на 3–5 компонентов.

Некоторый технический прогресс был и у нас. Спектрограф Альбицкого предназначался для позиционных измерений: жесткий, однопризменный, без зеркальных элементов, с терморегуляцией – конструкция отработана десятилетиями. АСП-11 по тому времени более передовой: разрешение больше вдвое (но всего лишь около 8000), а эффективность, обеспеченная профилированной решеткой и камерой Шмидта, больше на порядок, что дало выигрыш в проникающей силе на 2–3 величины.

Замена первого вторым понятна, но непонятен полный отказ от него. Это был отказ от лучевых скоростей как таковых, пусть на время, пока без них обходились. Но и когда они вновь понадобились, к спектрографу Альбицкого не вернулись. Несмотря на сильную нестабильность АСП-11 (одно качание кассеты поперек дисперсии для расширения спектра чего стоит!), именно его использовали для массовых позиционных измерений в конце 60-х годов. Сработал принцип, провозглашенный Бесселем: астрономический инструмент изготавливается дважды, сначала в мастерской оптиками и механиками, а потом еще раз – на обсерватории астрономом, который выявляет отличия прибора от идеального и вводит соответствующие поправки. Впрочем, в случае АСП-11 пришлось и конструкцию дорабатывать – укреплять узлы. Кроме того, в те же годы в КраО появилась возможность получения спектров со стабильным спектрографом и с разрешением до 80000, но только для ярких звезд. Имеется в виду самодельный, один из первых в мире звездный эшелле-спектрограф в фокусе кудэ ЗТШ (Копылов и Стешенко, 1965).

Любопытно, что позднее это повторилось в САО, но уже на более высоком техническом уровне. В качестве штатного спектрографа БТА мы получили ОЗСП ( $R \sim 15000$ ) – большой АСП-11, без гнутых и люфтов, но и без термостабилизации. Он используется до сих пор, но основной поток спектров идет с самодельного ПЗС-эшелле-спектрографа НЭС (разрешение до 60000, Панчук и др., 1990). Еще один ПЗС-эшелле-спектрограф был собран в фокусе кудэ 1-метрового телескопа САО (Мусаев, 1992).

Используя АСП-11 и ограничив погрешность на одну спектрограмму 5-ю км/с, Витриченко (1967) обнаружил двойственность звезды 7-й величины HD 3950 и при амплитудах скоростей компонентов в несколько десятков км/с надежно определил параметры их орбит. Тогда же

эшельные спектрограммы позволили мне измерять с ошибками не более 1 км/с дифференциальные сдвиги линий в спектре сверхгиганта  $\beta$  Ori, свидетельствующие о переменном (от 3 до 9 км/с) радиальном градиенте скорости в его атмосфере.

Еще большее повышение точности принес переход от фотопластинки к ПЗС-матрице. В кудэ-спектрографе ЗТШ оказалось возможным фиксировать положение отдельной линии с ошибкой 0.1 км/с, а положения деталей, деформирующих ее профиль, с ошибкой около 2 км/с (звезды типа  $\beta$  Ser, Тарасов, 1992). Последней цифрой оценивается и точность, с которой отслеживалось перемещение ветровых депрессий в Р Суг профилях линий в спектрах гипергиганта  $\beta$  Cas, полученных с помощью ПЗС-эшелле спектрографа 1-м телескопа САО (Ченцов, 1995). В обоих приведенных примерах позиционные измерения уже неотделимы от фотометрических.

Наш реванш лучевых скоростей обернулся их качественным преобразованием, возвращались они уже не в звездно-астрономической, а в астрофизической ипостаси.

За рубежом это преобразование шло постепенно. Поначалу спектрограммы, полученные для измерения лучевых скоростей, просто использовались еще и для решения других задач, например, для оценки светимостей (Кольшюттер и Адамс, 1914). Данные, собранные в спектроскопических мониторингах, предпринятых для поиска спектрально-двойных, послужили также и выявлению пульсаций одиночных звезд. Абт (1957), пришедший к выводу о пульсационной нестабильности всех достаточно ярких звезд, опирался, в частности, и на них. Мюнч (1957) по скоростям межзвездных облаков продемонстрировал не только дифференциальное вращение Галактики, но и отток холодного газа от очагов звездообразования...

У нас же работы, выполненные до и после 15-летнего пробела, резко различны. Во-первых, лучевая скорость, как правило, параметр звезды как материальной точки, во вторых – элемент поля скоростей в ее атмосфере. Книга Соболева «Движущиеся оболочки звезд» – крупное достижение отечественной астрофизики, вышла в 1947 г. В то время Альбицкий только осваивал обмер спектрограмм Р Сугни, Газе уже описала поле скоростей в оболочке  $\gamma$  Cas, но сопоставить все разнообразие расчетных профилей Соболева с наблюдаемыми можно было разве что с помощью монографии Билса (1950).

Нужно вспомнить, что в отличие от звездников, у солнечников КрАО никакого перерыва в позиционной спектроскопии не было. Задолго до открытия глобальных пульсаций Солнца, в 50–60-е годы изучались поля скоростей в активных областях, причем именно так, как это позднее делалось в звездной спектроскопии (сдвиги, асимметрия линий, бисектирование профилей и т. д.), даже одна и та же, единственная тогда, эшелле-решетка использовалась в солнечном и звездном спектрографах.

Да и спектрограф Альбицкого, как видно из рисунка, все-таки был дважды использован для позиционных измерений. А. Боярчуком (1957), как побочная задача в исследовании звезд Ве, были измерены сдвиги узких оболочечных линий относительно широких фотосферных, М. Боярчук (1964) выполнила поиск дифференциальных сдвигов линий у сверхгигантов F.

Что касается основного массива гистограммы, то его крымская основа составилась из работ по спектрально-двойным, известным (Галкина, Рачковская) и впервые открываемым (Витриченко), симбиотическим (А. Боярчук), кинематике атмосфер сверхгигантов (Ченцов), ротационным кривым лучевых скоростей (Полосухина) и т. п...

Реванш не полон без восстановления щелевой звездной спектроскопии на Цейсс-50. Практические предложения на этот счет представлены в сообщении Панчука с коллегами.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 11-02-00319а).