

УДК 524.3-13

История поляриметрических исследований звезд и галактик в КрАО: 1954–2008 гг.

Ю.С. Ефимов, Н.М. Шаховской

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

Поступила в редакцию 20 октября 2008 г.

Аннотация. Приводится краткий обзор поляризационных исследований космических объектов, проводившихся в КрАО на протяжении более 50 лет. Особое внимание уделено важнейшим результатам, полученным по наблюдениям астероидов, переменных звезд разных типов и внегалактических объектов.

HISTORY OF POLARIMETRIC STUDY OF STARS AND GALAXIES AT THE CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY, by Yu.S. Efimov and N.M. Shakhovskoy.

Ключевые слова: поляризация, аппаратура, астероиды, переменные звезды, галактики с активными ядрами.

1 Введение

История поляризационных исследований в КрАО насчитывает более 50 лет. Начало этих исследований восходит к работам по изучению структуры общего магнитного поля Галактики первого директора КрАО Г.А. Шайна, выполненным в конце 50 годов прошлого века и поляризации излучения Крабовидной туманности. После небольшого перерыва поляризационные наблюдения были продолжены группой сотрудников Лаборатории физики звезд и галактик (ЛФЗГ). Создавались поляризационные приборы (1962, интегрирующий поляриметр – Н.М. Шаховской; “быстрый” поляриметр – Ю.С. Ефимов, Н.М. Шаховской; 1972, звездный магнитограф 1 – А.Б. Северный; 1977, звездный магнитограф 2 – В.М. Кувшинов; 1988, стоксметр – С.И. Плачинда), исследовалась переменность поляризации излучения переменных звезд разных типов и внегалактических объектов, разрабатывалась методика наблюдений и их обработки. С 1981 г. на АЗТ-11 работает финский пятиканальный фотополяриметр, на котором наблюдения продолжают до настоящего времени. За это время были проведены поляризационные наблюдения более 200 различных объектов, охватывающих почти все типы переменных звезд, малых тел Солнечной системы и внегалактических объектов. В наблюдениях принимали активное участие более 20 сотрудников ЛФЗГ и около 30 ученых из нескольких стран. В разное время наблюдения проводились на нескольких телескопах КрАО (40-см астрограф, 70-см рефлектор АЗТ-8, 125-см телескоп АЗТ-11 и 2.6-м телескоп ЗТШ). Количество работ только по поляриметрии, выполненных сотрудниками КрАО, превышает 200. По результатам этих наблюдений было защищено около 20 диссертаций. Приводимый ниже график (рис. 1) иллюстрирует распределение большинства опубликованных работ по годам с указанием инструментов, на которых проводились наблюдения.

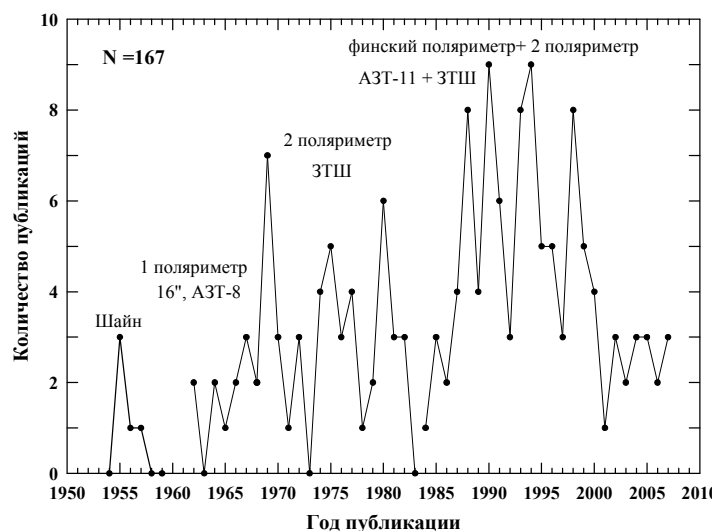


Рис. 1. Распределение опубликованных статей по поляриметрии по годам

Видно, что наибольшее количество наблюдений было получено на телескопах АЗТ-11 и ЗТШ.

2 Основные этапы поляризационных исследований в КрАО

В связи с развитием техники наблюдений историю поляриметрии в КрАО можно разделить на несколько этапов.

I этап. 1954–1957 гг. Работы Г.А. Шайна и его сотрудников по исследованию структуры общего магнитного поля Галактики и поляриметрии Крабовидной туманности. Сопоставив ориентацию вытянутостей диффузных туманностей с ориентацией плоскостей межзвездной поляризации звезд, он выяснил, что единственно возможным механизмом, дающим коррелированность этих ориентаций, может быть только общее магнитное поле Галактики. Г.А. Шайн также определил его общую структуру и получил одну из первых оценок напряженности магнитного поля, которая неплохо согласуется с более поздними оценками (Шайн, 1957). Совместно с С.Б. Пикельнером и Р.Н. Ихсановым Г.А. Шайн впервые провел исследование поляризации излучения в нескольких местах Крабовидной туманности и показал, что ее излучение поляризовано и поляризация разная в разных местах, получив тем самым независимое подтверждение синхротронной природы излучения туманности и “запутанности” в ней магнитного поля (Шайн и др., 1955).

II этап. 1960–1968 гг. Наблюдения на первом (интегрирующем) одноканальном поляриметре конструкции Н.М. Шаховского, Н.А. Димова и А.Ф. Лагутина (1962), работавшем на постоянном токе, сначала на 40-см астрографе, позднее – на 70-см телескопе АЗТ-8 в Симеизском отделении КрАО. Проведен первый мониторинг большого количества переменных звезд различных типов для выяснения характера поведения параметров их собственной поляризации со временем. Велась разработка методики наблюдений и их обработки.

III этап. 1969–1980 гг. Наблюдения на ЗТШ, ЗТЭ (Южная станция ГАИШ), на втором (“быстром”) одноканальном поляриметре, разработанным Ю.С. Ефимовым и Н.М. Шаховским с использованием метода счета импульсов. В программу наблюдений включены вспыхивающие звезды, полярны (звезды типа АМ Геркулеса с магнитными полями на уровне миллионов гаусс), эруптивные звезды, некоторые кометы, новые и сверхновые звезды, галактики с активными ядрами (AGN). Измерена поляризация излучения пульсара в Крабовидной туманности. На

звездных магнитографах ЗТШ (1970 – А.Б. Северный; 1977 – В.М. Кувшинов) проведены измерения магнитных полей некоторых ярких AGN.

IV этап. 1981–2008 гг. С появлением в КрАО финского пятицветного фотополариметра возможности поляризационных наблюдений сильно расширились. Стало возможным получать одновременные фотометрические и поляриметрические наблюдения в широком оптическом диапазоне – от ультрафиолетовой до ближней инфракрасной области. В программу наблюдений был добавлен ряд симбиотических звезд, тесных двойных систем, молодых звезд с околозвездными пылевыми дисками и астероидов. Проводились параллельные наблюдения полярных и катаклизмических переменных одновременно на АЗТ-11 и ЗТШ, что позволило выявить детальную структуру изменений параметров поляризации по спектру с изменениями блеска. На уникальном стоксметре ЗТШ, созданным С.И. Плачиндой, впервые удалось получить измерения слабых (слабее 100 гаусс) магнитных полей ряда звезд и проследить за изменениями напряженности их магнитных полей с фазой блеска.

Приводимая на рис. 2 таблица дает представление о статистике наблюдавшихся объектов.

Статистика наблюдавшихся объектов

Тип	Число	Тип	Число
WD	85	Peculiar	4
g,sg, et al.	50	Flare stars	10
Miras	31	Planet. Neb.	3
Asteroids	25	RR Lyr	3
BL Lac	25	Supernovae	4
BIN	20	T Tau	3
SyG	13	Diff Neb	2
Symbiotic	13	Novalike	3
Novae	11	QSS	2
Polars	10	RV Tau	2
UXORs	9	SR	2
XR	7	Babcock's star	1
Cepheids	5	Fuors	1
R CrB	5	microQSS	1
RS CVn	5	Pulsar	1
Comets	6	W Vir	1
Galaxies	4	All	>200

Рис. 2. Список типов наблюдавшихся объектов. Жирным шрифтом выделены типы объектов, результаты наблюдений которых более подробно описаны ниже

3 Основные результаты поляриметрических исследований в КрАО

3.1 Оценка массы газовых сгустков в оболочке β Лиры

По поляризационным наблюдениям β Лиры, сделанным в КрАО, Н.М. Шаховской (1962) оценил массу сгустков ее газовой оболочки, расположенных на фазах 0.4 и 0.9 кривой блеска как 10^{-9} массы Солнца. Изменения степени поляризации p (%), позиционного угла θ (градусы) плоскости поляризации и яркости звезды в полосе V с фазой блеска звезды показаны на рис. 3.

3.2 Опозиционный эффект астероидов

Наиболее важным результатом поляризационных наблюдений астероидов было обнаружение предсказанного теорией опозиционного эффекта поляризации, который состоит в кратковременном повышении отрицательной ветви поляризации при малых фазовых углах. Наблюдения проводились по инициативе и активном участии ученых из ГАО НАНУ (В.К. Розенбуш, Н.Н. Киселева) и обсерватории Харьковского Национального Университета (И.Н. Бельской). На рис. 4 показаны некоторые примеры результатов этих наблюдений.

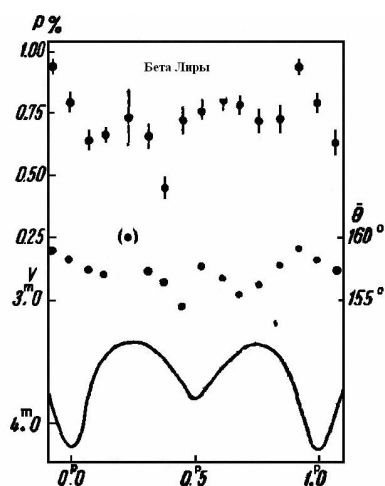


Рис. 3. Изменения параметров поляризации и яркости β Лиры с фазой блеска по наблюдениям с первым поляриметром КрАО

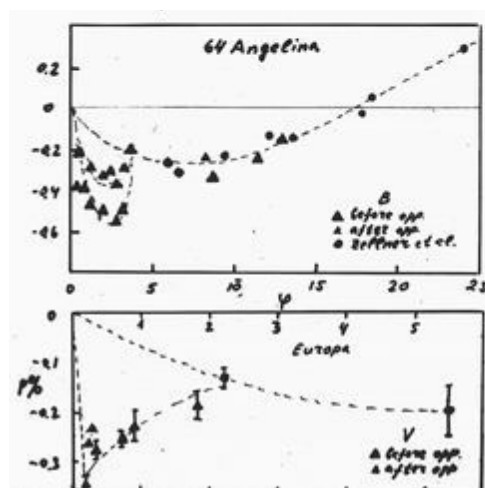


Рис. 4. Наблюдения опозиционного эффекта у астероидов Angelina и Еутора. По оси абсцисс отложены фазовые углы, а по оси ординат – степень поляризации (Розенбуш и др., 2001).

3.3 Поляриметрия вспышки EV Лас на ЗТШ 17 августа 1969г.

Для исследования природы вспышечной активности красных был создан новый поляриметр с быстрым вращением анализатора и использованием режима счета импульсов. С этим прибором на ЗТШ были проведены измерения поляризации излучения звезды EV Лас в полосе В во время ее сильной вспышки 17 августа 1969 г. с амплитудой 1^m и общей продолжительностью 18 минут. За это время получено 95 оценок параметров поляризации с экспозицией 20 сек. На рис. 5 показана эта вспышка с указанием интервалов времени, в которых измерялась поляризация. Поляризации вспышки не обнаружено. Позднее аналогичные результаты были

получены разными авторами еще во время нескольких вспышек звезд этого типа. Исчерпывающую информацию о всестороннем исследовании вспыхивающих звезд и моделях вспышек можно найти в монографии Р.Е. Гершберга (Гершберг, 2002).

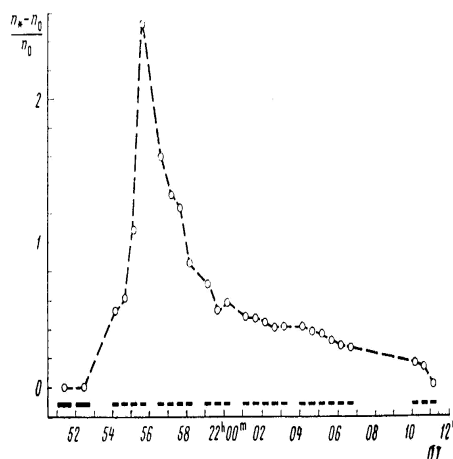


Рис. 5. Вспышка EV Lac17 августа 1969 г. По оси абсцисс отложено всемирное время, а по оси ординат — относительная амплитуда вспышки в полосе В

3.4 Феномен R CrB

Характерной особенностью звезд типа R CrB являются непредсказуемые ослабления блеска с максимальной амплитудой до 8^m , во время которых цвет звезды сначала краснеет, а потом начинается быстрое поглубление с последующим медленным возвратом к исходному цвету (“феномен R CrB”). Поляризационные наблюдения самой R CrB, проведенные Ю.С. Ефимовым в КрАО, в нескольких глубоких минимумах ее блеска выявили связь изменений блеска и степени поляризации. Феномен R CrB был обнаружен в КрАО В.П. Грининым и его сотрудниками у ряда молодых звезд Ae/Be Хербига с околозвездными пылевыми дисками (“UXORs”). При большом внешнем сходстве наблюдаемых явлений у звезд этих двух типов между ними имеется и существенное различие. У звезд типа R CrB ослабление вызывается появлением на луче зрения выброшенного из звезды газопылевого облака с его последующим расширением и ростом пылевых частиц, вызывающих изменения фотометрических и поляризационных характеристик излучения звезд. Согласно разработанной В.П. Грининым модели, феномен R CrB у UXOR’ов возникает при прохождении через луч зрения пылевых облаков переменной плотности, вращающихся по кеплеровским орбитам в плоскости околозвездного пылевого диска. У обоих типов звезд наблюдается совершенно идентичное изменение степени поляризации с блеском, показанное на рис. 6.

3.5 Галактики с активными ядрами

Первые поляризационные наблюдения нескольких галактик с активными ядрами NGC 1068, 1275, 3516, 4151 и 7469 были проведены в Крыму на Южной станции ГАИШ с первым поляриметром КрАО в 1965–1966 гг. С 1972 г. наблюдения были продолжены со вторым поляриметром на ЗТШ и с 1981 г. с финским фотополяриметром на АЗТ-11. С 1994 г. до 2005 г. КрАО участвовала в большой международной программе OJ-94 по мониторингу ряда активных галактик типа BL Lac (“блазары”) с основным объектом OJ 287 – блазаром с двойной черной

дырой в центре и переменностью блеска с периодом ~ 11.6 лет. Основным результатом крымских наблюдений является впервые полученное наблюдательное подтверждение спиральной структуры магнитного поля во внутренних частях релятивистских струй (джетов) у блазаров OJ287 и PKS 0735+178 (Шаховской, Ефимов, 1999). Об этом свидетельствуют петельные диаграммы для треков этих объектов на диаграммах параметров Стокса. На рис. 7 показана наиболее впечатляющая диаграмма относительных параметров Стокса для OJ287.

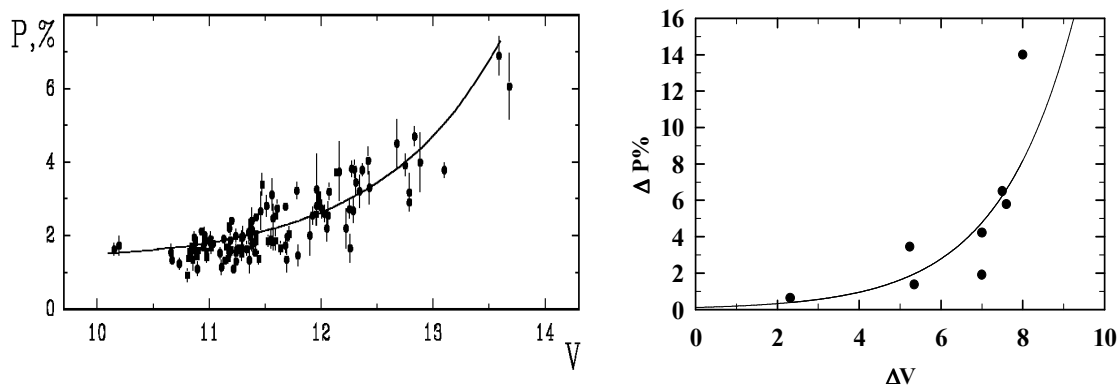


Рис. 6. Связь степени поляризации с яркостью R CrB во время 8 глубоких минимумов ее блеска (слева, по данным Ю.С. Ефимова) и RR Тау типа UX Ori (справа, по данным А.Н. Ростопчиной и др. (1997)). Каждая точка соответствует одной дате наблюдений

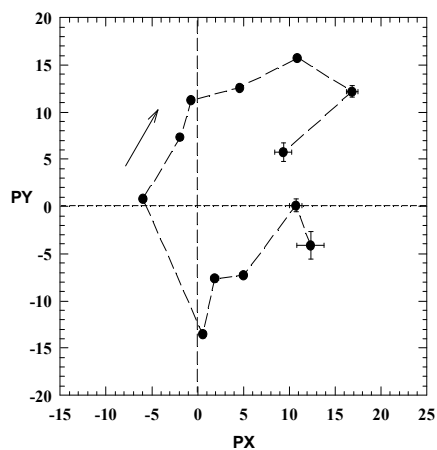


Рис. 7. Диаграмма параметров Стокса для OJ 287 по наблюдениям в феврале-марте 1996 г. в полосе R на финском фотополариметре на АЗТ-11. Прямые линии соединяют последовательные точки движения объекта на диаграмме. Стрелкой указано направление движения по треку

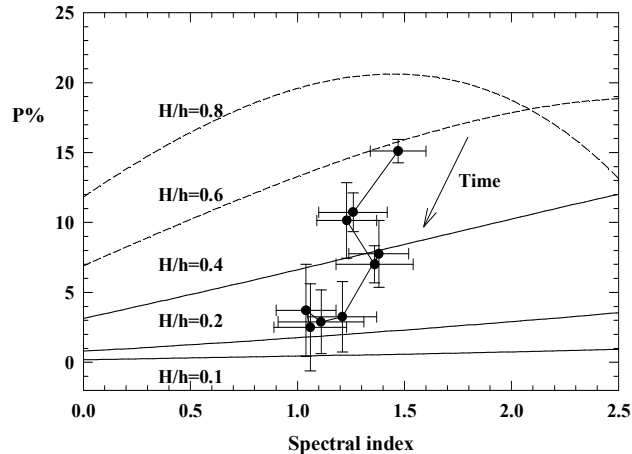


Рис. 8. Сравнение наблюдаемых величин степени линейной поляризации и спектрального индекса с их модельными зависимостями для различных вкладов изотропного (регулярного) магнитного поля и его хаотической компоненты у 3C 66 A

Для получения оценки средней напряженности магнитного поля и его топологии можно использовать параметры, модельно связанные с напряженностью и топологией магнитного поля в джете: степень поляризации и спектральный индекс. Пример результатов таких

наблюдений блазара 3C 66 A в 2003 г. приведен на рис. 8 с использованием данных из статьи Ю.С. Ефимова и Н.В. Примак (2006). Стрелкой указано направление движения по треку. Прямыми и штриховыми линиями показаны величины степени поляризации и спектрального индекса для различных отношений изотропного магнитного поля H к хаотической компоненте h по модели Корчака и Сыроватского (1962). Видно, что увеличение вклада регулярной компоненты приводит к увеличению степени поляризации и спектрального индекса.

3.6 Поляры и катаклизмические переменные

Поляризационные наблюдения полярных и катаклизмических переменных были начаты в КраО со вторым поляриметром на ЗТШ в 1978 г. Первыми объектами этого типа были поляры AM Her и AN UMa. По этим наблюдениям были построены средние кривые изменений параметров линейной поляризации их излучения и определены геометрические характеристики этих систем (Ефимов, Шаховской, 1981; Ефимов, Шаховской, 1982). С 1989 г. до настоящего времени проводится фотометрический и поляризационный мониторинг ряда полярных. Основные результаты можно суммировать следующим образом:

1. Создана база данных фотометрических и поляриметрических наблюдений катаклизмических систем с разным уровнем влияния магнитного поля на аккрецию. В программу входили несколько объектов – AM Her, VY и VZ Cam, IT Aq1, MV Lyr, HQ, HV и PX And, RXJ 055X+5X, RXJ 2107.9–0518.
2. В результате 15-летнего исследования AM Her:
 - создан атлас кривых блеска и каталог характеристик фотометрической и поляриметрической переменности;
 - обнаружены изменения ориентации аккреционной колонны как по широте, так и по долготе белого карлика, входящего в систему.
3. Обнаружена поляризация излучения и ее переменность с фазой вращения белого карлика у промежуточных полярных RXJ 0558+58 и RXJ 2107.9–058.
4. Для полярных AM Her и QQ Vul доказано и исследовано изменение ориентации аккреционной колонны на временах в несколько лет, подтверждающее выдвинутую ранее И.Л. Андроновым модель “качающегося диполя”. Тем самым подтверждено наличие “активного” и “неактивного” состояния системы (круговая поляризация практически исчезает).

Звезда PX And активно исследовалась в КраО в 90 годах. Позже к ней возвращались с целью получения новых наблюдений. Во время одного из таких наблюдений в 2007 г. у PX And была обнаружена не наблюдавшаяся ранее переменная круговая поляризация. Это важный прецедент, показывающий, что у некоторых объектов могут происходить изменения топологии магнитного поля. Наиболее естественное объяснение состоит в гипотезе “качающегося диполя” (Андронов, 1987).

4 Заключение

Обзор охватывает лишь небольшую часть результатов поляризационных исследований, проведенных в КраО на протяжении почти полувека. Естественно, что он носит довольно субъективный характер. Но из рассмотренных выше данных уже виден весьма существенный вклад поляризационных исследований в понимание физических процессов, протекающих в различных объектах нашей Галактики и внегалактических источниках излучения. Эти исследования стали возможны благодаря постоянной поддержке администрации КраО и помощи многих сотрудников Лаборатории физики звезд и галактик, за что авторы этого обзора приносят им всем свою искреннюю благодарность.

Литература

- Андронов И.Л. (Andronov I.L.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1987/ V. 131. P. 557
- Гершберг Р.Е. // *Активность солнечного типа звезд главной последовательности*. Одесса: Астропринт. 2002.
- Ефимов Ю.С., Шаховской Н.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1981. Т. 64. С. 55.
- Ефимов Ю.С., Шаховской Н.М. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1982. Т. 65. С. 143.
- Ефимов Ю.С., Примак Н.В. // *Астрофизика*. 2006. Т. 49. С. 51.
- Корчак и Сыроватский // *Астрон. журн.* 1962. Т. 38. С. 885.
- Розенбуш и др. (Rosenbush V.K. et al) // *NATO Advanced Research Workshop on the Optics of cosmic dust*. Bratislava. November 16–19. 2001.
- Ростопчина А.Н. и др. // *Astron. Astrophys.* 1997. Т. 327. С. 145.
- Шайн Г.А. // *Астрон. журн.* 1957. Т. 34. С. 3.
- Шайн Г.А., Пикельнер С.Б., Ихсанов Р.Н. // *Астрон. журн.* 1955. Т. 32. С. 395.
- Шаховской Н.М., Ефимов Ю.С. // *Труды всероссийской конференции “Астрофизика на пороге веков”*. 2001. С. 435.