

Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 121, № 2, 5–20 (2025)

УДК 535.361

Асимметрия отрицательной ветви поляризации и ее зависимость от альбеда для 44 астероидов главного пояса

*Д.В. Петров, Е.А. Жужулина*ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
dvp@craocrimea.ru

Поступила в редакцию 20 мая 2025 г.

Аннотация. Степень линейной поляризации света, рассеянного астероидами, сильно зависит от состава и структуры поверхности. Известны эмпирические соотношения между поляриметрическим наклоном и степенью линейной поляризации света, а также между альбедо и величиной минимума степени линейной поляризации. Поляриметрические наблюдения астероидов главного пояса, проводившиеся в Крымской астрофизической обсерватории в 2021–2024 гг., позволили установить еще одну фундаментальную особенность: форма отрицательной ветви степени линейной поляризации оказалась зависящей от альбеда. На основании данных наблюдений для 44 астероидов были построены уточненные фазовые зависимости степени линейной поляризации. Было показано, что основным фактором, влияющим на степень симметрии отрицательной ветви степени линейной поляризации, является альбедо астероида. Компьютерное моделирование при помощи матриц формы позволило объяснить этот эффект, демонстрируя зависимость степени асимметрии отрицательной ветви поляризации от мнимой части показателя преломления частиц реголита, покрывающих поверхность астероида. Предложена дополнительная калибровка альбеда астероидов по степени асимметрии отрицательной ветви поляризации на малых фазовых углах, которая может быть использована в качестве дополнения для существующих калибровок альбеда астероидов главного пояса.

Ключевые слова: рассеяние света, поляризация, астероиды, метод матриц формы, калибровка шкалы альбеда

1 Введение

Наше понимание физических свойств астероидов опирается на поляриметрические наблюдения, в частности на изучение фазовой зависимости степени линейной поляризации. Путем сравнения этих наблюдений с лабораторными исследованиями земных минералов, метеоритного вещества и лунного грунта были установлены важные эмпирические связи. Эти соотношения помогли качественно объяснить механизм отрицательной поляризации безатмосферных космических тел из-за рассеяния света на их шероховатых поверхностях. Хотя фазозависимая поляризация не позволяет напрямую определить состав, она образует отдельные типы на основе таких параметров, как P_{min} и h (Lupishko, Di Martino, 1998). Эмпирические зависимости между альбедо и наклоном h , а также альбедо и P_{min} полезны для определения альбеда астероида. Зная альбедо и фотометрические данные, можно определить размер астероидов.

В последнее время была предложена новая обобщенная калибровка, полученная на основе взаимосвязей между поляриметрическим наклоном h и альбедо, а также между P_{min} и альбедо (Лупишко, 2018). Эта калибровка основана на всех имеющихся рядах альбеда астероидов и наиболее полных данных о параметрах поляризации астероидов. Обобщенная калибровка дает значения поляриметрического альбеда астероидов в системе, объединенные с радиометрическими альбедо и альбедо, полученными по покрытиям звезд астероидами. Это, в свою очередь, снимает трудности при их сравнении, совместном анализе и т. п. Таким образом, поляриметрия остается одним из важнейших методов исследования астероидов.

В настоящее время известно более десятка теоретических моделей рассеяния света шероховатыми поверхностями (Petrov, 2023). Механизмы формирования отрицательной ветви степени линейной поляризации могут быть использованы для качественного описания картины рассеяния. Однако количественное описание сталкивается со многими трудностями. В частности, не совсем понятно, при каких условиях работают те или иные механизмы, каковы пределы их применимости, и самое главное – каков их относительный вклад в финальную картину рассеяния. Ведь при совместной работе всех вышеописанных механизмов можно ожидать проявления различных эффектов взаимодействия, вызывающих их взаимное усиление или ослабление. Ввиду этого поляриметрические наблюдения астероидов являются крайне важными.

2 Результаты поляриметрических наблюдений астероидов главного пояса и астероидов, сближающихся с Землей

Поляриметрическая база данных астероидов (Lupishko, 2022) включает 5112 наблюдений 519 объектов. Преимущественно это астероиды главного пояса. То есть в среднем на один астероид приходится 10 точек. Тем не менее поляриметрическая база данных требует значительного дополнения и расширения. В период 2021–2024 гг. на 2.6-метровом телескопе ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) авторами было проведено 284 поляриметрических наблюдения 44 астероидов. В основном наблюдения были сосредоточены на заполнении пустот в фазовых зависимостях степени линейной поляризации астероидов. Поэтому наши исследования поляризации астероидов, некоторые из которых наблюдались впервые и только нами, количественно и качественно существенно дополнили имеющиеся данные. Сводка наших наблюдений степени линейной поляризации астероидов приведена в таблице 1. В третьей колонке приведены данные об альбедо астероидов, взятые из Базы данных малых тел Солнечной системы, полученные различными авторами с применением различных методов¹. Результаты этих наблюдений ранее не публиковались. Поляриметрические данные размещены в Приложении А.

Таблица 1. Данные о поляриметрических наблюдениях астероидов в КрАО в 2021–2024 гг.

Астероид	Sp	Альбедо	Период наблюдений	г, а.е.	D, а.е.	α , град	n
1 Ceres	G	0.087	21.03.23	2.56	1.60	6.4	5
3 Juno	S	0.246	27.06.22 – 04.07.22; 19.12.22	2.50 – 2.52; 2.08	1.92 – 2.04; 1.98	22.3 – 22.7; 27.9	10
7 Iris	S	0.179	18.05.20	2.93	1.97	7.5	4
10 Hygiea	C	0.066	02.07.20	2.79	2.49	19.7	2
11 Parthenope	S	0.188	22.06.23	2.32	1.33	8.8	2
13 Egeria	G	0.086	28.04.22 – 11.05.22	2.59	1.59	10.9 – 31.0	30
16 Psyche	M	0.181	14.05.22	3.27	2.85	17.5	3
18 Melpomene	S	0.225	22.08.23	1.80	1.22	32.5	4
20 Massalia	S	0.258	14.05.22 – 15.05.22	2.22	2.02	27.0	6
44 Nysa	E	0.479	13.05.23, 20.06.23	2.58; 2.61	1.58; 1.63	4.2, 13.0	8
46 Hestia	P	0.055	22.01.23	2.26	2.00	25.7	2
47 Aglaja	C	0.060	28.04.22 – 30.04.22	2.91	1.91	1.8 – 2.4	4
51 Nemausa	CU	0.094	18.09.23	2.5	1.5	3.2	2
59 Elpis	CP	0.049	17.05.23	2.92	2.91	20.0	2
60 Echo	S	0.373	19.09.23	2.42	1.42	1.3	2
64 Angelina	E	0.515	31.08.22; 21.12.22	2.49; 2.38	2.69; 1.42	6.5; 21.9	6
67 Asia	S	0.230	18.05.23	2.22	1.21	2.9	2
72 Feronia	TDG	0.068	13.05.22; 16.10.22	2.05; 2.00	1.40; 1.65	26.7; 29.7	4
87 Sylvia	P	0.043	29.04.22; 10.05.22 – 11.05.22	3.57; 3.56	2.58; 2.56	2.0 – 3.3	6

¹ См. https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html и ссылки внутри.

Таблица 1. (продолжение)

Астероид	Sp	Альбедо	Период наблюдений	r, а.е.	D, а.е.	α , град	n
90 Antiope	C	0.057	02.08.22	2.62	1.61	1.5	4
92 Undina	X	0.275	09.01.24; 17.01.24	3.37; 3.38	2.39; 2.41	0.6; 3.3	4
112 Iphigenia	DCX	0.041	30.08.22; 26.09.22; 17.12.22; 15.10.22; 21.10.22	2.16; 2.18; 2.28; 2.2; 2.21	1.49; 1.29; 1.61; 1.22; 1.22	24.2; 15.7; 21.0; 6.1; 3.1	10
115 Thyra	S	0.270	29.08.22	1.94	1.47	30.5	2
125 Liberatrix	M	0.233	25–26.09.22; 21.12.22	2.70; 2.77	1.70; 2.57	0.6–0.8; 20.8	6
128 Nemesis	C	0.059	21.12.22	2.40	2.23	24.2	2
130 Elektra	G	0.075	04.04.22	3.66	2.79	8.8	2
135 Hertha	M	0.171	05.04.22	2.63	1.63	2.8	2
204 Kallisto	S	0.191	18.10.23–19.10.23	2.86	1.87	0.5	4
213 Lilaea	F	0.107	04.04.22	2.69	1.70	3.8	2
216 Kleopatra	M	0.149	21.12.22	2.10	1.93	27.8	2
230 Athamantis	S	0.173	02.08.22; 16.10.22	2.24; 2.23	1.80; 1.25	26.3; 4.5	6
233 Asterope	T	0.108	12.05.22	2.74	1.74	2.2	2
269 Justitia	Ld	0.082	27.06.22	2.06	1.05	5.7	2
324 Bamberga	CP	0.050	02.08.22; 21.10.22; 28.11.22; 21.12.22	1.77; 1.85; 1.94; 2.01	1.49; 0.98; 1.00; 1.15	35.0; 20.9; 11.7; 18.1	16
338 Budrosa	M	0.276	19.12.22	2.88	2.30	2.0	4
349 Dembowska	R	0.384	30.08.22; 21.10.22; 28.11.22	2.70; 2.72; 2.75	2.57; 1.95; 1.77	22.0; 15.7; 3.0	10
374 Burgundia	S	0.301	19.10.23	2.94	1.95	1.2	2
387 Aquitania	S	0.19	15.05.22	2.58	1.90	19.4	4
419 Aurelia	F	0.034	15.06.21; 20.06.21; 27.08.22; 20.03.23	1.95; 1.94; 2.86; 3.19	0.94; 0.93; 2.60; 3.59	4.7; 2.9; 20.7; 15.5	16
433 Eros	S	0.25	15.08.23	1.76	0.75	4.8	4
476 Hedwig	P	0.035	20.12.22	2.66	2.28	21.3	2
558 Carmen	M	0.131	21.01.23	2.82	2.51	20.2	2
654 Zelinda	C	0.027	21.12.22	1.77	1.05	28.1	2
704 Interamnia	F	0.078	11.12.23	2.82	1.85	3.6	2

Поляриметрические наблюдения астероидов показывают, что, несмотря на качественное сходство фазовых зависимостей степени линейной поляризации, форма этой кривой индивидуальна для каждого астероида. Совокупность механизмов формирования отрицательной ветви степени линейной поляризации (Petrov et al., 2023) задействована в каждом индивидуальном случае в различной степени, что приводит к огромной вариативности параметров отрицательной ветви. Однако можно выделить среди них и общие закономерности. Интереснее всего исследовать форму ветви отрицательной поляризации. Из рисунков хорошо видно, что у некоторых астероидов она симметричная (практически параболическая), а у других наблюдается заметная асимметрия, проявляющаяся в смещении минимума ветви отрицательной поляризации в сторону малых фазовых углов. Для численного описания этой асимметрии удобно ввести параметр величины асимметрии отрицательной ветви степени линейной поляризации

$$G = \frac{\alpha_{inv}}{2\alpha_{min}}. \quad (1)$$

В случае симметричной ветви отрицательной поляризации этот параметр близок к единице. Но чем сильнее минимум отрицательной ветви степени линейной поляризации смещен в направлении малых фазовых углов, тем больше становится параметр G.

Для примера рассмотрим астероид С-типа (10) Гигея.

Гигея (обозначение астероида: 10 Hygiea) – крупный астероид, расположенный в главном поясе астероидов. Его средний диаметр составляет от 425 до 440 км, а масса – около 3 % от общей массы

пояса. Это четвертый по величине астероид в Солнечной системе как по объему, так и по массе, а также самый крупный астероид в Солнечной системе среди астероидов С-типа. Форма астероида практически сферическая, вероятно, благодаря тому, что он образовался после разрушительного удара, в результате которого образовалось большое астероидное семейство Гигеи – группа темных углеродных астероидов главного пояса, принадлежащих к спектральным классам В и С. Альbedo Гигеи равно 0.063 (Vernazza et al., 2021). Аппроксимация наблюдательных данных проводилась при помощи тригонометрических полиномов, предложенных в работе Lumme, Muinonen (1993). Величина асимметрии отрицательной ветви степени линейной поляризации равна

$$G = 1.157 \text{ для фильтра В,}$$

$$G = 1.159 \text{ для фильтра R.}$$

Фазовая зависимость степени линейной поляризации для астероида (10) Hygiea в фильтрах В и R приведена на рис. 1.

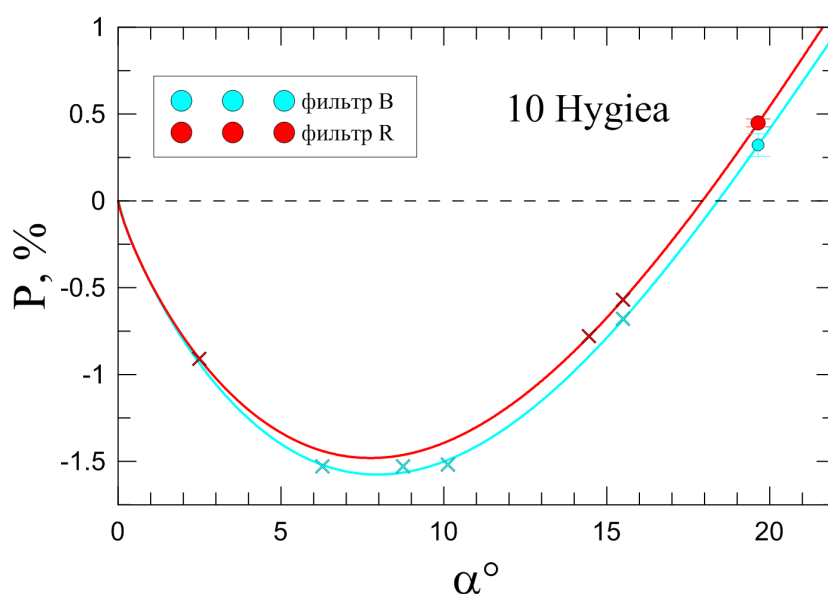


Рис. 1. Фазовая зависимость степени линейной поляризации для астероида (10) Hygiea в фильтрах В и R

3 Особенности ветви отрицательной поляризации астероидов по данным наблюдений

Как же зависит асимметрия отрицательной ветви степени линейной поляризации астероидов от альbedo астероидов? Ответ приведен на рис. 2, где построены зависимости величины асимметрии отрицательной ветви степени линейной поляризации астероидов как функция альbedo для фильтров U (рис. 2а), В (рис. 2б), V (рис. 2в) и R (рис. 2г). Во всех фильтрах наблюдается четкая корреляция между альbedo и величиной асимметрии. Чем выше у астероида альbedo, то есть чем светлее материал его поверхности, тем более асимметричной становится его ветвь отрицательной поляризации. Для объяснения этого наблюдаемого факта было использовано компьютерное моделирование характеристик рассеянного света при помощи метода матриц формы (Petrov et al., 2011, 2012). На рис. 3 приведены зависимости параметра G от значения мнимой части показателя преломления k для различных значений действительной части ($n = 1.4$, $n = 1.5$, $n = 1.6$, $n = 1.7$) для случайных гауссовских частиц (Petrov et al., 2019). Как видно из рисунка, увеличение k , что соответствует уменьшению альbedo частицы, сопровождается уменьшением параметра G . Следовательно, можно сделать вывод, что данная особенность объясняется изменением мнимой части показателя преломления. Следовательно, у светлых объектов можно ожидать асимметричную ветвь отрицательной

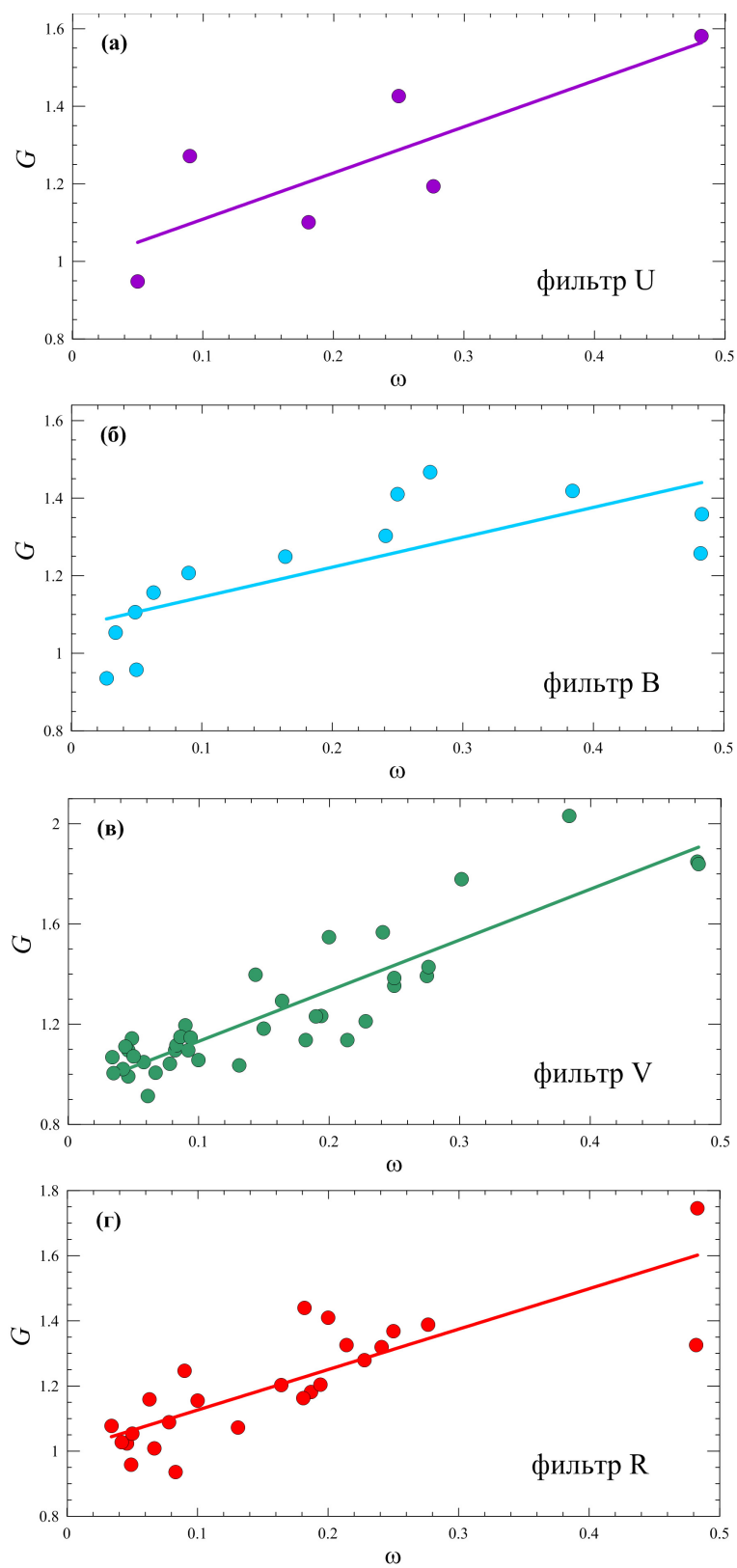


Рис. 2. Величина асимметрии отрицательной ветви степени линейной поляризации астероидов как функция альбедо для фильтров U, B, V и R

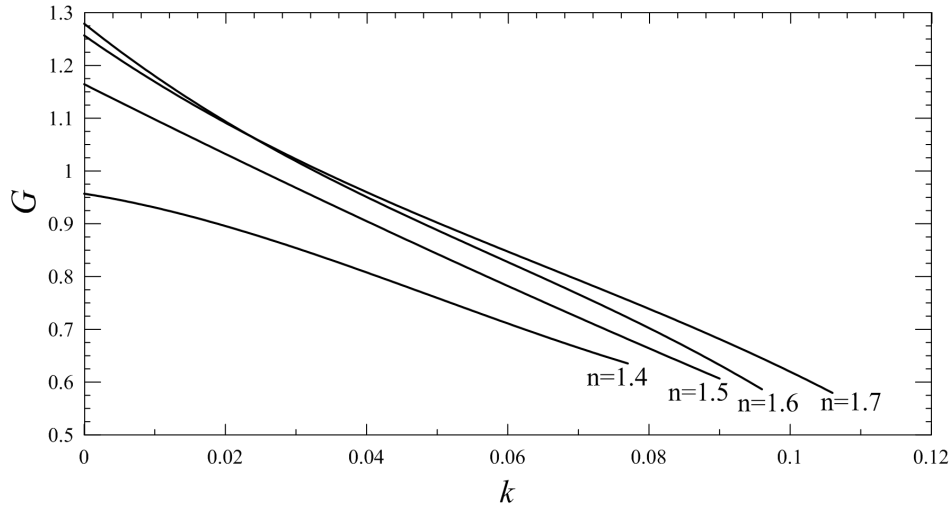


Рис. 3. Зависимости параметра G от значения мнимой части показателя преломления k для различных значений действительной части ($n = 1.4$, $n = 1.5$, $n = 1.6$, $n = 1.7$)

поляризации, описываемую векторной теорией когерентного усиления обратного рассеяния (Petrov et al., 2023), а для темных объектов скорее характерна симметричная ветвь отрицательной поляризации, описываемая моделью двукратного рассеяния совокупностью точечных рассеивателей обратного рассеяния (Petrov, 2023).

4 Калибровка альbedo астероидов по асимметрии отрицательной ветви

В настоящее время нет единой системы поляриметрических альbedo астероидов. Каждая из калибровок дает свои собственные значения альbedo, которые иногда различаются более чем в 1.5 раза, что весьма затрудняет их сопоставление, ограничивая возможности проведения статистических исследований и т. д. Существует несколько калибровок альbedo астероида, связывающих его значение с параметрами отрицательной ветви степени линейной поляризации (Zellner, Gradie, 1976; Zellner et al., 1977; Lupishko, Mohamed, 1996; Cellino et al., 1999; Masiero et al., 2012; Cellino et al., 2015; Лупишко, 2018).

Во всех этих методах эмпирические соотношения между альbedo ω и параметрами отрицательной ветви, такими как величина минимума поляризации P_{min} и поляриметрический наклон h , выглядят следующим образом:

$$lg\omega = C_1 lgh + C_2, \quad (2)$$

$$lg\omega = C_3 P_{min} + C_4. \quad (3)$$

Параметры C_1, C_2, C_3 и C_4 отличаются в каждой из вышеприведенных калибровок, и потому калибровки дают различные значения альbedo. Для ряда астероидов (39, 41, 51, 129, 230, 704) полученные значения альbedo по этим нескольким калибровкам различаются более чем на 50 % (Лупишко, 2018), и остается неясным, какая калибровка из предложенных дает более точное альbedo. Еще один недостаток этих калибровок состоит в том, что они выполнены по весьма ограниченной выборке астероидов (13–16 объектов). Также следует отметить, что во всех калибровках параметры C_1, C_2, C_3 и C_4 не зависят от длины волны, в то время как альbedo астероидов в различных фильтрах могут различаться кардинально (Lederer et al., 2008).

Нами предложена дополнительная калибровка альbedo астероидов по степени асимметрии, проведенная по заметно большей выборке (44 астероида), в зависимости от используемого фильтра:

для фильтра U

$$\omega(U) = 0.839 * G - 0.830, \quad (4)$$

для фильтра В

$$\omega(B) = 1.297 * G - 1.385, \quad (5)$$

для фильтра V

$$\omega(V) = 0.494 * G - 0.459, \quad (6)$$

для фильтра R

$$\omega(R) = 0.805 * G - 0.807. \quad (7)$$

По мере расширения списка измеренных астероидов и уточнения их формы отрицательной ветви степени линейной поляризации, соотношения (4)–(7) также будут уточняться. Данные соотношения могут быть использованы совместно с иными калибровками для уточнения получаемых значений альbedo астероидов главного пояса.

5 Выводы

Отрицательная ветвь степени линейной поляризации астероидов сильно зависит от их типа. Форма этой ветви варьируется от практически симметричной (параболической) до весьма асимметричной, в которой минимум поляризации смещен в область малых фазовых углов. На 2.6-метровом телескопе ЗТШ КрАО был проведен огромный массив поляриметрических наблюдений астероидов главного пояса. Сопоставляя результаты наших поляриметрических наблюдений со сведениями из поляриметрической базы данных астероидов, была обнаружена закономерность в зависимости степени асимметрии отрицательной ветви степени линейной поляризации от альbedo астероида. У светлых астероидов, обладающих высоким альbedo, форма отрицательной ветви близка к симметричной, тогда как для темных низкоальбедных астероидов она весьма асимметрична. Данные были проанализированы в четырех спектральных диапазонах U, B, V и R, и во всех случаях параметр асимметрии зависит от альbedo практически линейно. При помощи метода матриц формы было показано, что основным фактором, влияющим на форму отрицательной ветви степени линейной поляризации, является мнимая часть показателя преломления рассеивающих частиц. Предложена дополнительная калибровка альbedo астероидов по степени асимметрии, проведенная по выборке из 44 астероидов. Данная калибровка совместно с иными калибровками может быть использована для уточнения альbedo астероидов главного пояса.

Литература

- Лупишко Д., 2018. Астрон. вестник. Т. 52. № 2. С. 110–127. [Lupishko D., 2018. Astron. vestnik, vol. 52, no. 2, pp. 110–127. (In Russ.)]
- Cellino A., Gil-Hutton R., Tedesco E.F., et al., 1999. Icarus, vol. 138, no. 1, pp. 129–140.
- Cellino A., Bagnulo S., Gil-Hutton R., et al., 2015. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 451, no. 4, pp. 3473–3488.
- Cellino A., Gil-Hutton R., Tedesco E.F., et al., 2023. Icarus, vol. 138, no. 1, pp. 129–140.
- Lederer S.M., Domingue D.L., Thomas-Osip J.E., et al., 2008. Earth, Planets and Space, vol. 60, iss. 1, pp. 49–59.
- Lumme K., Muinonen K.O., 1993. In LPI Editorial Board (Ed.), Asteroids, Comets, Meteors 1993. LPI Contributions, vol. 810, pp. 194–197.
- Lupishko D., 2022. Asteroid Polametric Database (APD) Bundle V2.0, NASA Planetary Data System, [doi:10.26033/hyf9-4762](https://doi.org/10.26033/hyf9-4762).
- Lupishko D.F., Mohamed R.A., 1996. Icarus, vol. 119, no. 1, pp. 209–213.
- Lupishko D.F., Di Martino M., 1998. Planetary Space Sci., vol. 46, no. 1, pp. 47–74.
- Masiero J.R., Mainzer A.K., Grav T., et al., 2012. Astron. J., vol. 749, no. 2, p. 104.
- Petrov D., 2023. Earth and Planetary Science, vol. 2, no. 1, pp. 55–67.
- Petrov D.V., Kiselev N.N., 2019. Sol. Syst. Res., vol. 53, no. 4, pp. 294–305.
- Petrov D., Shkuratov Yu., Videen G., 2011. J. Quant. Spectr. Radiat. Trans., vol. 112, iss. 11, pp. 1636–1645.
- Petrov D., Shkuratov Yu., Videen G., 2012. J. Quant. Spectr. Radiat. Trans., vol. 113, pp. 2406–2418.

- Petrov D.V., Kiselev, N.N., Savushkin A.A., Zhuzhulina E.A., 2023. Sol. Syst. Res., vol. 57, no. 2, pp. 143–160.
- Vernazza P., Ferrais M., Jorda L., et al., 2021. Astron. Astrophys., vol. 654, p. A56.
- Zellner B., Gradie J., 1976. Astron. J., vol. 81, no. 4, pp. 262–280.
- Zellner B., Leake M., Le Bertre T., et al., 1977. Proc. Lunar Sci. Conf. 8th. Oxford: Pergamon Press, pp. 1091–1110.

А Приложение

Номер	Название	Фазовый угол	Фильтр	Дата	Время	Sca	P	$\pm\sigma(P)$	$q = \Theta_{\text{cat}}$	$\pm\sigma(\Theta)$	$q_r = \Theta_r$	P_r	Телескоп
1	Ceres	6.47	R	21.03.2023	21:10:31	201.973	1.539	0.007	22.401	0.127	90.43	-1.539	2.6
1	Ceres	6.47	I	21.03.2023	21:54:08	201.843	1.527	0.006	18.372	0.122	86.53	-1.515	2.6
1	Ceres	6.47	V	21.03.2023	21:10:07	201.973	1.624	0.014	20.138	0.253	88.17	-1.62	2.6
1	Ceres	6.47	B	21.03.2023	21:38:19	201.89	1.62	0.013	21.484	0.232	89.59	-1.62	2.6
1	Ceres	6.47	U	21.03.2023	22:09:11	201.799	1.533	0.04	25.643	0.769	93.84	-1.519	2.6
3	Juno	22.71	R	27.06.2022	27.947	244.99	0.198	0.023	158.15	3.33	3.16	0.197	2.6
3	Juno	22.71	V	27.06.2022	27.947	244.99	0.228	0.057	151.87	7.43	-3.12	0.226	2.6
3	Juno	22.17	I	03.07.2022	3.946	244.35	0.066	0.02	157.75	8.53	3.4	0.065	2.6
3	Juno	22.17	V	03.07.2022	3.946	244.35	0.17	0.032	158.47	5.46	4.12	0.169	2.6
3	Juno	22.06	Rc	04.07.2022	4.959	244.24	0.121	0.073	165.87	17.58	11.63	0.111	2.6
3	Juno	22.06	Gc	04.07.2022	4.959	244.24	0.103	0.118	125.64	32.56	151.4	0.055	2.6
3	Juno	27.8	R	19.12.2022	17:36:20	67.518	0.752	0.016	158.295	0.616	0.78	0.752	2.6
3	Juno	27.8	Rc	19.12.2022	18:17:30	67.52	0.748	0.083	159.068	3.203	1.55	0.747	2.6
3	Juno	27.8	V	19.12.2022	17:36:20	67.518	0.819	0.038	158.193	1.333	0.67	0.819	2.6
3	Juno	27.8	Gc	19.12.2022	18:17:16	67.52	0.894	0.158	159.097	4.982	1.58	0.893	2.6
7	Iris	7.48	U	18.05.2023	20:54:55	97.85	0.624	0.182	92.859	8.426	85.01	-0.615	2.6
7	Iris	7.48	R	18.05.2023	20:54:08	97.85	0.763	0.017	98.165	0.813	90.32	-0.763	2.6
7	Iris	7.48	C3	18.05.2023	21:39:15	97.875	0.304	0.35	115.386	32.981	107.51	-0.249	2.6
7	Iris	7.48	Rc	18.05.2023	21:39:43	97.875	0.72	0.085	103.437	3.445	95.56	-0.706	2.6
10	Hygiea	19.65	R	02.07.2022	2.814	108.73	0.449	0.023	19.47	1.47	0.73	0.449	2.6
10	Hygiea	19.65	B	02.07.2022	2.814	108.73	0.324	0.066	14.63	6.12	-4.1	0.321	2.6
11	Parthenope	8.78	R	22.06.2023	23:03:03	113.31	0.714	0.018	112.94	0.68	89.63	-0.714	2.6
11	Parthenope	8.78	U	22.06.2023	22:59:36	113.31	0.591	0.308	88.40	19.71	65.09	-0.381	2.6
13	Egeria	1.822	Rc	30.04.2022	30.993	286.91	0.611	0.136	104.53	6.47	87.62	-0.609	2.6
13	Egeria	1.822	Bc	30.04.2022	30.992	286.91	0.808	0.308	85.62	11.25	68.7	-0.594	2.6
13	Egeria	1.831	I	30.04.2022	30.974	286.89	0.78	0.031	105.62	1.16	88.74	-0.78	2.6
13	Egeria	1.831	B	30.04.2022	30.974	286.89	0.708	0.068	106.2	2.77	89.31	-0.708	2.6
13	Egeria	1.836	R	30.04.2022	30.964	286.87	0.827	0.025	105.23	0.88	88.36	-0.826	2.6
13	Egeria	1.836	V	30.04.2022	30.964	286.87	0.661	0.065	106.49	2.78	89.62	-0.661	2.6
13	Egeria	2.297	Rc	29.04.2022	29.986	285.8	0.843	0.116	103.86	3.78	88.06	-0.841	2.6
13	Egeria	2.297	Bc	29.04.2022	29.986	285.8	0.921	0.273	90.64	8.33	74.83	-0.794	2.6
13	Egeria	2.31	I	29.04.2022	29.959	285.78	0.889	0.027	104.46	0.89	88.68	-0.888	2.6

Продолжение на следующей странице

Приложение (продолжение)

Номер	Название	Фазовый угол	Фильтр	Дата	Время	Sca	P	$\pm\sigma(\mathbf{P})$	$q = \Theta_{\text{cat}}$	$\pm\sigma(\Theta)$	$q_{\text{r}} = \Theta_{\text{r}}$	P_{r}	Телескоп
13	Egeria	2.31	B	29.04.2022	29.96	285.78	0.77	0.069	106.3	2.5	90.52	-0.77	2.6
13	Egeria	2.323	R	29.04.2022	29.932	285.76	0.895	0.04	104.61	1.24	88.85	-0.895	2.6
13	Egeria	2.323	V	29.04.2022	29.932	285.76	0.768	0.088	110.73	3.29	94.98	-0.757	2.6
13	Egeria	2.778	Rc	28.04.2022	28.967	285.05	1.11	0.08	105.59	2.05	90.55	-1.11	2.6
13	Egeria	2.778	Bc	28.04.2022	28.967	285.05	1.084	0.151	106.45	3.95	91.4	-1.082	2.6
13	Egeria	2.788	I	28.04.2022	28.945	285.03	1.135	0.027	103.95	0.67	88.92	-1.134	2.6
13	Egeria	2.788	B	28.04.2022	28.946	285.03	0.966	0.048	105.81	1.4	90.78	-0.966	2.6
13	Egeria	2.794	R	28.04.2022	28.933	285.02	1.127	0.02	105.22	0.52	90.2	-1.127	2.6
13	Egeria	2.794	V	28.04.2022	28.933	285.02	1.032	0.045	103.25	1.25	88.23	-1.03	2.6
13	Egeria	2.851	R	10.05.2022	10.854	99.66	1.095	0.019	97.23	0.5	87.58	-1.091	2.6
13	Egeria	2.851	V	10.05.2022	10.854	99.66	1.059	0.044	96.13	1.23	86.47	-1.051	2.6
13	Egeria	2.863	B	10.05.2022	10.881	99.67	0.994	0.039	96.86	1.07	87.19	-0.989	2.6
13	Egeria	2.863	I	10.05.2022	10.881	99.67	1.185	0.019	98.69	0.44	89.02	-1.185	2.6
13	Egeria	2.877	Rc	10.05.2022	10.91	99.69	1.139	0.085	98.07	2.1	88.38	-1.137	2.6
13	Egeria	2.878	Gc	10.05.2022	10.911	99.69	1.073	0.154	98.47	4.01	88.78	-1.072	2.6
13	Egeria	3.311	R	11.05.2022	11.845	100.19	1.235	0.02	99.86	0.46	89.67	-1.235	2.6
13	Egeria	3.311	V	11.05.2022	11.845	100.19	1.199	0.038	99.29	1.01	89.1	-1.199	2.6
13	Egeria	3.325	I	11.05.2022	11.874	100.2	1.353	0.023	99.36	0.45	89.16	-1.352	2.6
13	Egeria	3.325	B	11.05.2022	11.874	100.2	1.247	0.043	98.86	0.99	88.66	-1.246	2.6
13	Egeria	3.341	Rc	11.05.2022	11.909	100.21	1.247	0.092	98.73	2.1	88.52	-1.245	2.6
13	Egeria	3.341	Gc	11.05.2022	11.909	100.21	1.391	0.155	100.38	3.19	90.17	-1.391	2.6
16	Psyche	17.55	R	14.05.2022	14.786	112.08	0.504	0.03	107.73	1.68	85.35	-0.497	2.6
16	Psyche	17.55	V	14.05.2022	14.807	112.08	0.625	0.053	106.95	2.41	84.87	-0.615	2.6
16	Psyche	17.55	I	14.05.2022	14.829	112.08	0.347	0.038	105.58	3.03	83.5	-0.338	2.6
18	Melpomene	32.5	R	22.08.2023	23:31:34	255.619	1.443	0.017	139.186	0.352	-26.43	0.872	2.6
18	Melpomene	32.5	Rc	22.08.2023	0:46:55	255.633	1.396	0.073	142.994	1.506	-22.64	0.983	2.6
18	Melpomene	32.5	U	22.08.2023	23:29:37	255.619	1.158	0.31	144.384	8.472	-21.23	0.855	2.6
18	Melpomene	32.5	C3	22.08.2023	0:44:03	255.632	3.754	0.797	137.381	6.01	-28.25	2.073	2.6
20	Massalia	27.01	R	14.05.2022	14.875	108.64	0.926	0.048	19.31	1.49	0.67	0.926	2.6
20	Massalia	27.01	V	14.05.2022	14.874	108.64	0.714	0.136	21.71	5.44	3.09	0.71	2.6
20	Massalia	26.98	R	15.05.2022	15.813	108.73	0.781	0.024	18.14	0.9	-0.58	0.781	2.6
20	Massalia	26.98	I	15.05.2022	15.849	108.73	0.824	0.03	17.42	1.04	-1.31	0.824	2.6
20	Massalia	26.98	V	15.05.2022	15.812	108.73	0.545	0.059	17.93	3.13	-0.79	0.545	2.6
20	Massalia	26.98	B	15.05.2022	15.846	108.73	0.972	0.144	7.6	4.18	-11.13	0.9	2.6
44	Nysa	4.56	R	13.05.2023	22:11:59	251.614	0.246	0.028	247.473	3.223	85.86	-0.244	2.6
44	Nysa	4.56	V	13.05.2023	22:14:13	251.608	0.135	0.068	69.722	14.457	88.11	-0.135	2.6

Продолжение на следующей странице

Приложение (продолжение)													
Номер	Название	Фазовый угол	Фильтр	Дата	Время	Sca	P	$\pm\sigma(P)$	$q = \Theta_{\text{cat}}$	$\pm\sigma(\Theta)$	$q_r = \Theta_r$	P_r	Телескоп
44	Nysa	4.2	U	14.05.2023	23:17:25	4.1474	0.175	0.136	81.741	21.987	103.43	-0.157	2.6
44	Nysa	4.2	B	14.05.2023	23:17:40	248.308	0.327	0.033	63.45	2.916	85.14	-0.322	2.6
44	Nysa	4.2	V	14.05.2023	0:30:54	248.129	0.331	0.043	66.841	3.715	88.71	-0.33	2.6
44	Nysa	4.2	R	14.05.2023	0:31:00	248.126	0.283	0.021	73.983	2.27	95.86	-0.277	2.6
44	Nysa	13	R	20.06.2023	21:35:01	111.101	0.157	0.03	112.387	5.345	91.29	-0.157	2.6
44	Nysa	13	U	20.06.2023	21:34:57	111.101	0.969	0.558	58.101	14.757	37	0.268	2.6
46	Hestia	25.68	R	22.01.2023	19:07:24	70.467	2.541	0.046	-19.837	0.524	-0.3	2.54	2.6
46	Hestia	25.68	V	22.01.2023	19:03:54	70.466	2.141	0.092	-23.291	1.229	-3.76	2.123	2.6
46	Hestia	5.7	R	06.02.2024	1:45:24	297.477	1.418	0.042	113.269	0.851	85.79	-1.402	2.6
46	Hestia	5.7	V	06.02.2024	1:44:38	297.477	1.599	0.089	113.763	1.605	86.29	-1.585	2.6
47	Aglaja	1.803	I	28.04.2022	28.89	57.179	0.533	0.048	51.18	2.56	84	-0.521	2.6
47	Aglaja	1.803	V	28.04.2022	28.89	57.179	0.66	0.079	57.35	3.43	90.17	-0.66	2.6
47	Aglaja	2.411	I	30.04.2022	30.93	73.121	0.715	0.056	73.37	2.25	90.24	-0.715	2.6
47	Aglaja	2.411	V	30.04.2022	30.93	73.121	0.771	0.112	81.59	4.15	98.47	-0.738	2.6
51	Nemausa	3.16	R	18.09.2023	1:17:33	77.825	1.142	0.03	76.304	0.723	88.48	-1.141	2.6
51	Nemausa	3.16	V	18.09.2023	1:16:55	77.825	0.822	0.06	77.368	2.195	89.54	-0.822	2.6
59	Elpis	19.96	V	17.05.2023	19:56:23	107.773	1.632	0.485	30.996	8.54	13.22	1.462	2.6
59	Elpis	19.96	R	17.05.2023	19:55:42	107.773	0.365	0.165	59.459	13.11	41.69	0.042	2.6
60	Echo	1.34	R	19.09.2023	0:32:02	220.418	0.325	0.04	31.903	3.456	81.48	-0.31	2.6
60	Echo	1.34	V	19.09.2023	0:32:34	220.418	0.435	0.083	46.655	5.474	96.24	-0.425	2.6
64	Angelina	21.93	R	31.08.2022	31.049	270.61	0.112	0.046	178.53	11.18	-2.08	0.112	2.6
64	Angelina	21.93	V	31.08.2022	31.049	270.61	0.224	0.097	164.24	12.32	-16.37	0.189	2.6
64	Angelina	6.45	R	21.12.2022	0:16:33	272.778	0.338	0.028	93.841	2.283	91.06	-0.338	2.6
64	Angelina	6.45	I	21.12.2022	0:48:33	272.77	0.194	0.03	96.48	4.735	93.71	-0.192	2.6
64	Angelina	6.45	V	21.12.2022	0:17:32	272.778	0.335	0.048	88.398	4.727	85.62	-0.331	2.6
64	Angelina	6.45	B	21.12.2022	0:49:06	272.77	0.28	0.05	85.2	5.395	82.43	-0.27	2.6
64	Angelina	2	R	10 05 24	22:13:00	304.221	0.314	0.036	128.374	3.186	94.15	-0.31	2.6
64	Angelina	2	V	10 05 24	22:34:23	304.284	0.353	0.077	128.538	6.273	94.25	-0.349	2.6
64	Angelina	2	R	11 05 24	21:54:36	309.322	0.179	0.029	125.267	4.789	85.95	-0.177	2.6
64	Angelina	2	V	11 05 24	21:51:02	309.309	0.235	0.067	135.921	8.379	96.61	-0.228	2.6
64	Angelina	1.3	R	12 05 24	21:50:21	317.44	0.255	0.021	132.615	2.428	85.18	-0.251	2.6
64	Angelina	1.3	V	12 05 24	21:50:40	317.44	0.17	0.054	129.611	9.05	82.17	-0.163	2.6
64	Angelina	0.76	R	15.05.24	21:30:09	28.686	0.207	0.025	21.936	3.394	83.25	-0.201	2.6
64	Angelina	0.76	I	15.05.24	22:35:52	30.141	0.186	0.028	19.229	4.37	79.09	-0.172	2.6
64	Angelina	0.76	V	15.05.24	22:02:35	29.404	0.216	0.043	28.248	5.552	88.84	-0.216	2.6
64	Angelina	0.9	R	16.05.2024	21:04:35	54.421	0.025	0.151	50.709	4.932	86.29	-0.15	2.6

Продолжение на следующей странице

Приложение (продолжение)													
Номер	Название	Фазовый угол	Фильтр	Дата	Время	Sca	P	$\pm\sigma(P)$	$q = \Theta_{\text{cat}}$	$\pm\sigma(\Theta)$	$q_r = \Theta_r$	P_r	Телескоп
64	Angelina	0.9	I	16.05.2024	22:24:44	55.53	0.031	0.194	53.716	4.407	88.19	-0.194	2.6
64	Angelina	0.9	V	16.05.2024	21:36:32	54.869	0.046	0.15	57.553	8.189	92.68	-0.149	2.6
67	Asia	2.93	R	18.05.2023	22:30:35	174.231	0.539	0.029	176.669	1.703	92.44	-0.537	2.6
67	Asia	2.93	V	18.05.2023	22:30:32	174.231	0.432	0.067	172.955	4.801	88.72	-0.432	2.6
72	Feronia	26.65	R	13.05.2022	13.036	256.03	0.095	0.069	21.57	20.63	35.53	0.031	2.6
72	Feronia	26.65	V	13.05.2022	13.034	256.03	1.14	0.181	67.81	4.55	81.78	-1.093	2.6
72	Feronia	29.74	R	16.10.2022	5:20:42 PM	79.345	1.36	0.051	167.001	1.079	-2.34	1.355	2.6
72	Feronia	29.74	V	16.10.2022	5:20:47 PM	79.345	1.426	0.131	171.95	2.665	2.61	1.42	2.6
87	Sylvia	3.334	R	29.04.2022	29.888	250.53	0.534	0.051	75.68	2.64	95.15	-0.526	2.6
87	Sylvia	3.335	V	29.04.2022	29.888	250.53	0.624	0.121	62.78	5.41	82.25	-0.601	2.6
87	Sylvia	2.03	R	10.05.2022	10.951	171.05	0.443	0.033	171.94	2.1	90.89	-0.443	2.6
87	Sylvia	2.03	V	10.05.2022	10.951	171.05	0.429	0.076	170.28	5.18	89.23	-0.428	2.6
87	Sylvia	2.178	R	11.05.2022	11.959	163.13	0.522	0.036	163.61	1.95	90.48	-0.522	2.6
87	Sylvia	2.178	V	11.05.2022	11.958	163.13	0.397	0.08	150.93	5.78	77.8	-0.361	2.6
90	Antiope	1.49	R	02.08.2022	2.86	22.08	0.452	0.051	19.56	3.27	87.47	-0.45	2.6
90	Antiope	1.5	I	02.08.2022	2.879	22.35	0.271	0.055	13.72	6.14	81.37	-0.259	2.6
90	Antiope	1.49	V	02.08.2022	2.859	22.07	0.416	0.093	11.51	6.66	79.44	-0.387	2.6
90	Antiope	1.5	B	02.08.2022	2.88	22.36	0.124	0.114	42.62	27.47	110.26	-0.094	2.6
92	Undina	0.6	R	09.01.2024	23:05:14	143.35	0.291	0.028	141.213	2.753	87.87	-0.291	2.6
92	Undina	0.6	V	09.01.2024	23:06:05	143.33	0.185	0.057	129.678	8.876	76.35	-0.165	2.6
92	Undina	3	R	17.01.2024	23:26:28	105.993	0.56	0.032	104.094	1.601	88.1	-0.559	2.6
92	Undina	3	V	17.01.2024	23:26:13	105.993	0.526	0.059	113.684	3.25	97.69	-0.507	2.6
112	Iphigenia	24.21	R	30.08.2022	30.941	249.43	1.455	0.057	161.38	1.12	1.95	1.452	2.6
112	Iphigenia	24.21	V	30.08.2022	30.941	249.43	1.851	0.13	158.7	2.02	-0.73	1.85	2.6
112	Iphigenia	15.7	R	26.09.2022	1:07:51	245.653	0.83	0.054	69.059	1.873	93.41	-0.825	2.6
112	Iphigenia	15.7	V	26.09.2022	1:06:37	245.653	0.815	0.085	62.728	3.07	87.08	-0.81	2.6
112	Iphigenia	21	R	17.12.2022	20:18:14	70.706	1.406	0.291	158.281	5.954	-2.43	1.401	2.6
112	Iphigenia	21	V	17.12.2022	20:16:28	70.706	3.452	0.623	155.202	5.175	-5.5	3.389	2.6
112	Iphigenia	6.06	R	15.10.2022	18:06:15	231.827	1.349	0.039	52.849	0.857	91.02	-1.349	2.6
112	Iphigenia	6.06	V	15.10.2022	18:06:31	231.827	1.407	0.084	49.301	1.812	87.47	-1.402	2.6
112	Iphigenia	3.1	R	21.10.2022	18:49:05	210.5	0.801	0.03	211.792	1.078	91.29	-0.801	2.6
112	Iphigenia	3.1	V	21.10.2022	18:47:38	210.51	0.853	0.067	29.142	2.292	88.63	-0.852	2.6
115	Thyra	30.55	V	29.08.2022	29.898	250.58	1.125	0.042	161.71	1.06	1.13	1.125	2.6
115	Thyra	30.55	B	29.08.2022	29.898	250.58	1.227	0.05	161.41	1.16	0.83	1.227	2.6
125	liberatrix	0.65	R	25.09.2022	23:29:32	336.652	0.342	0.062	152.902	5.168	86.25	-0.339	2.6
125	liberatrix	0.65	V	25.09.2022	23:28:49	336.624	0.254	0.097	157.314	10.904	90.69	-0.254	2.6

Продолжение на следующей странице

Приложение (продолжение)													
Номер	Название	Фазовый угол	Фильтр	Дата	Время	Sca	P	$\pm\sigma(\mathbf{P})$	$q = \Theta_{\text{cat}}$	$\pm\sigma(\Theta)$	$q_r = \Theta_r$	P_r	Телескоп
125	liberatrix	0.78	I	26.09.2022	22:57:00	10.002	0.283	0.061	186.596	6.298	86.59	-0.281	2.6
125	liberatrix	0.78	B	26.09.2022	22:56:14	10.02	0.263	0.091	30.988	9.925	110.97	-0.196	2.6
125	liberatrix	20.76	R	21.12.2022	18:43:51	66.496	0.495	0.161	190.445	9.237	33.95	0.187	2.6
125	liberatrix	20.76	V	21.12.2022	18:42:20	66.496	0.918	0.376	101.035	11.751	-55.46	-0.327	2.6
128	Nemesis		R	21.12.2022	18:00:04	66.71	1.344	0.057	160.155	1.207	3.44	1.334	2.6
128	Nemesis		V	21.12.2022	17:59:57	66.71	0.995	0.135	150.82	3.727	-5.89	0.974	2.6
130	Elektra	8.897	R	04.04.2022	5.021	135.06	1.828	0.043	133.06	0.68	88	-1.824	2.6
130	Elektra	8.897	V	04.04.2022	5.021	135.06	1.824	0.107	131.12	1.65	86.06	-1.806	2.6
135	Hertha	2.822	V	05.04.2022	5.997	309.3	0.783	0.071	133.8	2.63	94.5	-0.774	2.6
135	Hertha	2.822	B	05.04.2022	5.997	309.3	0.456	0.085	108.32	5.31	69.02	-0.339	2.6
204	Kallisto	0.5	R	18.10.2023	0:19:23	76.986	0.205	0.038	57.173	5.385	70.19	-0.158	2.6
204	Kallisto	0.5	V	18.10.2023	0:17:35	76.998	0.12	0.087	98.273	20.514	111.27	-0.089	2.6
204	Kallisto	0.87	R	19.10.2023	21:31:18	72.456	0.271	0.041	84.387	4.399	101.93	-0.248	2.6
204	Kallisto	0.87	V	19.10.2023	21:31:36	72.456	0.369	0.091	70.503	7.003	88.05	-0.368	2.6
213	Lilaea	3.81	R	04.04.2022	5.07	200.52	1.708	0.041	17.62	0.71	87.1	-1.699	2.6
213	Lilaea	3.81	V	04.04.2022	5.071	200.52	1.816	0.104	21.37	1.64	90.85	-1.815	2.6
216	Kleopatra	27.83	R	21.12.2022	16:24:42	66.418	1.016	0.032	154.922	0.925	-1.5	1.015	2.6
216	Kleopatra	27.83	V	21.12.2022	16:24:37	66.418	0.789	0.079	157.413	2.861	0.99	0.788	2.6
230	Athamantis	26.28	R	02.08.2022	2.91	245.86	0.549	0.038	156.12	1.6	0.26	0.549	2.6
230	Athamantis	26.28	V	02.08.2022	2.909	245.86	0.751	0.073	155.62	2.77	-0.23	0.751	2.6
230	Athamantis	4.5	R	16.10.2022	22:19:34	168.322	0.75	0.014	165.089	0.532	86.77	-0.745	2.6
230	Athamantis	4.5	I	16.10.2022	22:51:30	168.165	0.799	0.016	163.946	0.586	85.78	-0.79	2.6
230	Athamantis	4.5	V	16.10.2022	22:19:28	168.322	0.798	0.032	168.326	1.167	90	-0.798	2.6
230	Athamantis	4.5	B	16.10.2022	22:52:00	168.16	0.629	0.035	170.614	1.636	92.45	-0.626	2.6
233	Asterope	1.817	R	12.05.2022	12.969	250.79	0.405	0.034	64.2	2.35	83.4	-0.394	2.6
233	Asterope	1.817	V	12.05.2022	12.969	250.79	0.77	0.081	84.18	3.07	103.39	-0.688	2.6
269	Justitia	5.75	R	27.06.2022	27.906	214.65	0.83	0.032	34.27	1.1	89.62	-0.83	2.6
269	Justitia	5.75	V	27.06.2022	27.907	214.65	0.435	0.078	40.28	4.98	95.56	-0.427	2.6
324	Bamberga	35.03	R	02.08.2022	2.939	251.76	5.474	0.027	161.12	0.14	-0.64	5.473	2.6
324	Bamberga	35.03	V	02.08.2022	2.965	251.76	5.566	0.046	160.38	0.24	-1.39	5.56	2.6
324	Bamberga	35.03	B	02.08.2022	2.939	251.76	5.497	0.055	160.6	0.285	-1.16	5.492	2.6
324	Bamberga	35.03	U	02.08.2022	2.965	251.76	5.379	0.209	161.62	1.11	-0.14	5.379	2.6
324	Bamberga	21	R	21.10.2022	19:59:29	231.31	0.355	0.008	140.572	0.694	-0.74	0.355	2.6
324	Bamberga	21	Rc	21.10.2022	20:47:19	231.273	0.373	0.048	135.902	3.69	-5.37	0.366	2.6
324	Bamberga	21	U	21.10.2022	19:58:51	231.31	0.225	0.067	140.106	8.292	-1.2	0.225	2.6
324	Bamberga	21	C3	21.10.2022	20:47:46	231.273	0.538	0.114	124.504	6.073	-16.77	0.449	2.6

Продолжение на следующей странице

Приложение (продолжение)													
Номер	Название	Фазовый угол	Фильтр	Дата	Время	Sca	P	$\pm\sigma(\mathbf{P})$	$q = \Theta_{\text{cat}}$	$\pm\sigma(\Theta)$	$q_{\text{r}} = \Theta_{\text{r}}$	P_{r}	Телескоп
419	Aurelia	4.71	B	15.06.2021	15.91015046	234.53	1,075	0.052	52,983	1,374	88.45	-1.073	2.6
419	Aurelia	4.71	V	15.06.2021	15.89671296	234.59	1107	0.049	53364	1281	88.77	-1.106	2.6
419	Aurelia	4.71	R	15.06.2021	15.89653935	234.59	0.908	0.022	55264	0.76	90.67	-0.908	2.6
419	Aurelia	4.71	I	15.06.2021	15.91024306	234.53	0.905	0.028	55217	0.95	90.69	-0.905	2.6
419	Aurelia	20.712	R	27.08.2022	27.025	257.76	1.221	0.094	167.61	2.23	-0.16	1.221	2.6
419	Aurelia	20.712	V	27.08.2022	27.022	257.76	0.902	0.216	166.56	6.83	-1.2	0.901	2.6
419	Aurelia	15.49	R	20.03.2023	18:43:27	78.142	0.248	0.272	78.856	31.509	90.71	-0.248	2.6
419	Aurelia	15.49	V	20.03.2023	18:44:30	78.142	1.149	0.876	26.194	21.446	38.05	0.277	2.6
433	Eros	4.8	R	15.08.2023	19:38:00	132.906	0.619	0.031	129.358	1.459	86.45	-0.614	2.6
433	Eros	4.8	V	15.08.2023	21:00:09	132.460	0.591	0.056	128.387	2.688	85.93	-0.585	2.6
433	Eros	4.8	U	15.08.2023	19:37:42	132.912	1.311	0.402	112.042	8.602	69.13	-0.977	2.6
433	Eros	4.8	B	15.08.2023	20:58:50	132.471	0.564	0.07	122.577	3.694	80.11	-0.53	2.6
476	Hedwig	21	R	20.12.2022	18:18:42	67.068	0.675	0.063	166.693	2.648	9.62	0.637	2.6
476	Hedwig	21	V	20.12.2022	18:18:47	67.068	0.827	0.128	150.689	4.407	-6.38	0.806	2.6
558	Carmen	20	R	21.01.2023	20:21:05	70.645	0.255	0.108	-1.179	12.189	18.18	0.205	2.6
558	Carmen	20	V	21.01.2023	20:20:00	70.645	0.784	0.274	-9.966	9.802	9.39	0.742	2.6
654	Zelinda	28.12	R	21.12.2022	1:48:23	296.716	2.799	0.027	27.096	0.276	0.38	2.799	2.6
654	Zelinda	28.12	B	21.12.2022	1:47:57	296.716	2.454	0.058	24.627	0.672	-2.09	2.447	2.6
704	Interamnia	3.6	R	11.12.2023	21:18:57	223.121	1.028	0.018	39.22	0.51	86.1	-1.018	2.6
704	Interamnia	3.6	V	11.12.2023	21:17:55	223.118	1.146	0.029	39.14	0.77	86.02	-1.135	2.6

Asymmetry of the negative branch of polarization and its dependence on albedo for 44 main-belt asteroids

D. Petrov, E. Zhuzhulina

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
dvp@craocrimea.ru

Abstract. The degree of linear polarization of light scattered by asteroids strongly depends on the composition and structure of the surface. Empirical relationships are known between the polarimetric tilt and the degree of linear polarization of light, as well as between the albedo and the minimum value of the degree of linear polarization. Polarimetric observations of main-belt asteroids carried out at the Crimean Astrophysical Observatory in 2021–2024 make it possible to establish another fundamental feature: the shape of the negative branch of the degree of linear polarization turns out to be dependent on the albedo. Based on the observational data for 44 asteroids, we constructed refined phase dependences of the degree of linear polarization. The main factor affecting the degree of symmetry of the negative branch of the degree of linear polarization is shown to be the albedo of the asteroid. Computer modeling using shape matrices makes it possible to explain this effect, demonstrating the dependence of the degree of asymmetry of the negative branch of polarization on the imaginary part of the refractive index of the regolith particles covering the surface of the asteroid. We propose an additional calibration of the asteroid albedo by the degree of asymmetry of the negative branch of polarization at small phase angles, which can be used as an addition to the existing calibrations of the main-belt asteroid albedo.

Key words: light scattering, polarization, asteroids, shape matrix method, albedo scale calibration