

УДК 524.333:524.662

ДВОЙНЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ ЦЕФЕИД NGC 4258 ПО HVI -ДАННЫМ SH_0ES И ВАЖНЫЕ ЗАКОНЫ ПОГЛОЩЕНИЯ

© 2025 Д. Маджаесс^{1*}¹ Университет Маунт-Сент-Винсент, Галифакс, Новая Шотландия, ВЗМ 2J6 Канада

Поступила в редакцию 26 апреля 2025 года; после доработки 10 сентября 2025 года;

принята к публикации 15 октября 2025 года

HVI -данные исследований классических цефеид в ключевой галактике NGC 4258 в рамках проекта SH_0ES (Supernovae and H_0 for the Equation of State of dark energy) в 2016–2022 гг. дают дважды противоречивые функции Везенхейт–Ливитт: $\Delta W_{0,H-VI} = -0^m13 \pm 0^m02$ (-0^m17 невзвешенная), при ранее отмеченной $\Delta W_{0,I-VI} \simeq -0^m3$, что в сочетании с дополнительными доказательствами указывает на необходимость тщательной проверки оценки $H_0 \pm \sigma_{H_0}$, полученной по данным SH_0ES 2016 г. для NGC 4258 (то есть $\sigma_{H_0}/H_0 \gtrsim 6\%$). Неопределенности в оценках расстояния до цефеид еще более усугубляются неоднозначностями закона поглощения, свойственными подобным соотношениям Ливитт (например, NGC 4258), особенно для переменных со сравнительно слабым поглощением (например, $\Delta d \gtrsim 4\%$, подвыборки покрасневших цефеид в Млечном Пути, M 31, NGC 2442, NGC 4424, NGC 5643, NGC 7250). В ходе анализа выявлено, что база данных SH_0ES 2022 г. содержит неверные результаты фотометрии цефеид Малого Магелланова Облака (ММО).

Ключевые слова: звезды: переменные: цефеиды — космология: шкала расстояний — постоянная Хаббла

1. ВВЕДЕНИЕ

Ключевая галактика NGC 4258 (M 106) представляет собой давний вызов для исследователей цефеид, что подтверждается историческими фактами несоответствий оценок расстояний и соотношений Ливитт (см. Majaess, 2024b, и ссылки в ней). Сложности возникают отчасти из-за особенностей, вызванных значительной плотностью звездного поля в центре галактики, ее поверхностной яркостью и аномалиями химического состава, а также, возможно, нестандартными параметрами поглощения. Недавно Majaess (2024a) было отмечено существенное расхождение, 0^m3 , между Везенхейт-функциями W_{I-VI} для цефеид NGC 4258, полученными Hoffmann et al. (2016, SH_0ES)¹ и Yuan et al. (2022, SH_0ES); несоответствия имеются также у Maoz et al. (1999), Newman et al. (2001), Macri et al. (2006) и Fausnaugh et al. (2015). Результаты Yuan et al. (2022, SH_0ES) являются более надежными, так как получены с

учетом специфики фотометрии в плотных звездных полях (см. раздел 4 указанной работы), тем самым подтверждая существующие опасения, что предыдущие попытки SH_0ES (Efstathiou, 2020; Majaess, 2020) требуют пристального внимания. Важно отметить, что расхождение результатов для NGC 4258 говорит об общих трудностях, присущих методу цефеид, таких как, например, отягощение фотометрии вкладом других источников, стандартизация, учет закона поглощения и металличности Bono et al., 2008; Majaess, 2010; 2024b; Fausnaugh et al., 2015; см. также раздел 5 в Macri et al., 2001; правую панель рис. 9 в Yuan et al., 2020; раздел 4 и рис. 6 в Yuan et al., 2022; рис. 1 в Madore and Freedman, 2024).

Таким образом, определение расстояний TRGB- и JAGB-методами желательно, особенно если оценки получают для неплотных звездных полей и областей с небольшим поглощением (Freedman and Madore, 2023). Freedman et al. (2025, CCHP²) пришли к выводу, что оценки расстояний по цефеидам и по данным SH_0ES являются слишком приближенными, по сравнению с TRGB- и JAGB-результатами, и существуют

*E-mail: Daniel.Majaess@msvu.ca

¹ Независимо от этой проблемы, Hoffmann et al. (2016, SH_0ES) представил базовую обширную выборку индексов W_{I-VI} цефеид за пределами Местной группы.² Chicago–Carnegie Hubble Program.

проблемы определения H_0 на основе SNe. Отдельной точки зрения придерживаются Riess et al. (2024, SH_0ES).

Согласно Freedman et al. (2025, CCHP), оценки постоянной Хаббла, полученные JAGB- и TRGB-методами по данным JWST, составляют 67.80 и $68.81 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ соответственно, в то время как у Tammann and Reindl (2013) и Riess et al. (2024, SH_0ES) аналогичные величины равны 64.1 ± 2.0 и $73.2 \pm 0.9 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$. Данные результаты представлены с учетом дискуссии Сэндиджа и де Вокулера о H_0 ³, которая подчеркивает актуальность «слепых» процедур (см., например, раздел 4 в Freedman et al., 2025, CCHP). В более широком смысле, как высказываются Chaussidon et al. (2024, DESI), «во избежание систематической ошибки нуль-пункта... процедуры определения вслепую становятся стандартной практикой при анализе таких обзоров в космологическом аспекте.» Однако в публикациях результатов SH_0ES процесс слепого определения не был описан исчерпывающе, а оценка H_0 Riess et al. (2005; 2024) оставалась практически неизменной на протяжении почти двух десятилетий, несмотря на внутренние противоречия, которые ставят под сомнение понятие устойчивости и кумулятивной сходимости. Исследование Efstathiou (2020) предполагает следующее: проверка SH_0ES частично затруднена тем, что предварительно отобранные данные цефеид не опубликованы, имеются смещения наклона закона Левитт (см. рис. 2 из Majaess, 2010), неопределенности занижены (см. таблицу 1 в Majaess, 2024a) и существуют значительные расхождения цветовых индексов (см. рис. 6 из Majaess, 2010). Детальный анализ некоторых компиляций SH_0ES может оказаться сложным, поскольку результаты VI -фотометрии получены в не разделенных полностью спектральных полосах, а ранние данные SH_0ES следует интерпретировать с осторожностью, так как наклон W_{V-VI} (Riess et al., 2009b, SH_0ES), определенный для цефеид в окрестности Солнца, противоречит результатам для аналогов Местной группы (ср. рис. 12 в Riess et al. (2009b) с рис. 2 в Majaess (2010) и рис. 1 в Majaess et al. (2011)). Более пологий наклон, определяемый Riess et al. (2009b, SH_0ES), может указывать на нестандартную фотометрию или неполный учет вклада фоновых объектов (см. рис. 2 в Majaess, 2020). Помимо этого, нужно отметить слишком голубые цвета части наблюдений SH_0ES (например, NGC 1309, Majaess, 2010). Более того, сопоставление цефеид SH_0ES исключительно на основе координат может оказаться неудовлетворительным (см. также Efstathiou,

2020, и обсуждение в этом разделе). Вопросы, высказанные относительно SH_0ES , изложены в ряде исследований (например, Efstathiou, 2020, Mörtzell et al., 2022; Blanchard et al., 2024; Madore and Freedman, 2024; Wojtak and Hjorth, 2024; Freedman et al., 2025; а также Majaess, 2010, 2024a,b).

В то же время остаются основные вопросы относительно Λ CDM (Steinhardt, 2011; Kroupa et al., 2012; López-Corredoira, 2014; Peebles, 2015)⁴, следовательно, и относительно H_0 , привязанной к этой модели (см. раздел 1 и Приложение А в Riess and Breuval, 2023). Оценки H_0 Λ CDM для более ранних эпох, выполненные командой NASA LAMBDA⁵, следующие: 71.2 ± 2.1 (SPTPol, 2017), 67.36 ± 0.54 (Planck PR3, 2018), $68.7 \pm 1.3 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ (Planck+ACTPol+ SPTPolEE 2021). Разброс частично обусловлен неоднородным покрытием и увеличивается при рассмотрении моделей, выходящих за рамки канонического варианта Λ CDM. Полученный в результате расширенный базис можно сравнить с независимыми оценками относительно локального H_0 (Steer, 2020).

В настоящей работе рассматриваются дополнительные вопросы, касающиеся данных NGC 4258. В разделе 2.1 сравниваются величины W_{H-VI} , связанные с наблюдениями NGC 4258 по данным SH_0ES 2016–2022 гг. В разделе 2.2 заново оценивается комплексное влияние неопределенного отношения полного поглощения к селективному R на указанные Везенхайт-величины, а также описываются систематические смещения расстояний. Для NGC 4258 R может быть аномальным (см. Fausnaugh et al., 2015, и пояснения в этой работе), и продолжаются дебаты относительно больших последствий неопределенностей R (Mörtzell et al., 2022; Wojtak and Hjorth, 2024; для контраргумента см. Riess et al., 2022).

2. АНАЛИЗ

2.1. Фотометрические неоднородности

Закон Левитт, сформулированный через Везенхайт-величины, выглядит следующим образом:

$$W_{H-VI} - W_{0,H-VI} = \mu_0 \\ (H - R_{H-VI}(V - I)) - (\alpha \log P + \beta) = \mu_0.$$

⁴Significant issues associated with canonical cosmology include: "... dark matter particle or not, explanation of cosmic acceleration, the transformation of inflation into a fundamental theory".—UChicago Cosmic Controversies conference.

⁵Legacy Archive for Microwave Background Data Analysis.

³Overbye (1991).

Фильтры могут быть, например, H ($F160W$), V ($F555W$) и I ($F814W$). Выбранное отношение полного поглощения к селективному ($R_{H-VI} \approx 0.4$) является средним значением, цитируемым Riess et al. (2016, SH_0ES), которые упоминали «диапазон от 0.3 до 0.5 при H в зависимости от закона покраснения» (см. таблицу 6 в Riess et al., 2022). Влияние этого разброса обсуждается в разделе 2.2. Наклон α получен из анализа наблюдений Riess et al. (2019, SH_0ES) цефеид Большого Магелланова Облака (БМО) благодаря относительной нечувствительности этого члена к металличности в рассмотренных полосах пропускания (Riess et al., 2022).

Более масштабная проблема быстро проясняется при сравнении нуль-пунктов абсолютно-го соотношения для Везенхейт-величин, выведенного по SH_0ES -данным для цефеид БМО: $\beta = -2^m53 \pm 0^m03$ (Riess et al., 2019) и для цефеид NGC 4258: $\beta = -2^m72 \pm 0^m04$ (Riess et al., 2016) и $\beta = -2^m59 \pm 0^m03$ (Riess et al., 2022). Результаты привязаны к опорным точкам БМО (Pietrzyński et al., 2019) и NGC 4258 (Reid et al., 2019), как и в SH_0ES . В соответствии с выводами Majaess (2024a) (раздел 2) эти результаты указывают на проблемы, присущие оценкам H_0 и σ_{H_0} , основанным на VIH -данных SH_0ES 2016 г. для NGC 4258 (таблицы 6 и 8 в Riess et al., 2016)⁶. В качестве альтернативы, при рассмотрении одной и той же галактики влияние расстояния до нее (а также его ошибки) можно исключить и значимость смещения усиливается. Тогда результаты NGC 4258, выведенные из Riess et al. (2016; 2022, SH_0ES), можно вычесть, и получим $\Delta\beta = -0.13 \pm 0^m02$ или невзвешенное $-0^m17 \pm 0^m03$ (Таблица 1). Проблемы возникают из-за смещения видимой Везенхейт-величины ΔW_{H-VI} между этими наборами данных для NGC 4258, поскольку есть фотометрические отклонения $\Delta H \Delta(V-I)$ для общих звезд. Причина именно в этом, и эффект сказывается на β или $W_{0,H-VI}$. То же справедливо и в случае расхождения результатов Hoffmann et al. (2016, SH_0ES) и Yuan et al. (2022, SH_0ES) для NGC 4258 (см. также раздел 4 последнего). Спорный эффект влияния металличности не согласуется со всеми вышеупомянутыми данными (например, Riess and Breuval, 2023; Madore and Freedman, 2024).

2.2. Неоднозначности R

Fausnaugh et al. (2015) предположили, что NGC 4258 может соответствовать аномальному $R_V \simeq 4.9$ в сравнении с Млечным Путем

($R_V \simeq 3.26$, Berdnikov et al., 1996), однако предостерегая, высказали следующее мнение: «кажется вероятным, что в цветах нашей выборки присутствует хотя бы еще один систематический эффект». Более того, галактика может обладать вариациями R , зависящими от галактоцентрического расстояния (Gontcharov, 2013), в сочетании со средним значением, отклоняющимся от более широкой внегалактической выборки (Gordon et al., 2003). Fitzpatrick (1999) отмечал, что «поразительное разнообразие кривых поглощения от ИК до УФ» является обычным явлением, а Gordon et al. (2003) упоминал, что кривые поглощения нашей Галактики и ММО демонстрируют «континуум свойств» (см. также таблицы 2 и 4 в Turner, 1976, и таблицу 1 в Turner, 2012). В частности, балдж Галактики может следовать отдельному R_{VI} , отличающемуся от окрестностей Солнца (например, Udalski, 2003), а Majaess et al. (2016) подтвердили, что туманность Киля характеризуется экстремальным R_V в видимой области (Turner, 2012; Carraro et al., 2013), тогда как результаты R_{J-JK_s} в ближнем ИК-диапазоне сравнительно постоянны вдоль всей l . Продолжаются споры о том, изменяются ли законы поглощения ИК-излучения (Zasowski et al., 2009) и является ли подмножество полос пропускания в этой области крайне чувствительным к изменениям состава (Hackwell and Gehrz, 1974; Scowcroft et al., 2011; Majaess et al., 2013).

Как уже отмечалось, R_{H-VI} может находиться в диапазоне 0.3–0.5, а R_{I-VI} меняется примерно от 1.30 до 1.55; эти оценки консервативны (см., например, таблицу 2 в Udalski, 2003, и таблицу 6 в Riess et al. 2022) и немного меняются при незначительном отличии профилей «SED-фильтр-инструмент». Например, Hoffmann et al. (2016, SH_0ES) приняли $R_{I-VI} = 1.45$, а Yuan et al. (2022, SH_0ES) выбрали $R_{I-VI} = 1.30$, как и Riess et al. (2019, SH_0ES и ссылки в ней). Что касается комбинации полос пропускания W_{H-VI} , Riess et al. (2009a, SH_0ES) отдали предпочтение $R_{H-VI} = 0.479$, тогда как Riess et al. (2022, SH_0ES) получили $R_{H-VI} = 0.34$ по своей полной выборке цефеид.

В целом, можно говорить о широком диапазоне возможного закона поглощения, используемого для внегалактических цефеид. Один из способов аппроксимации влияния вышеупомянутого разброса на расстояния — вывод абсолютной и видимой Везенхейт-функций при одном и том же R . Сначала для установления абсолютной Везенхейт-величины использовалась фотометрия БМО из Riess et al. (2019, SH_0ES) вместе с привязкой по данным проекта Araucaria⁷. Затем

⁶См. также важные выводы, представленные в разделе 10 Freedman and Madore (2023).

Таблица 1. Данные для NGC 4258 согласно SH_0ES 2016–2022 гг.

Ссылка	W_λ	$\Delta\beta$
Riess et al. (2016) Riess et al. (2022)	$H - VI$	$-0^m13 \pm 0^m02$
Hoffmann et al. (2016) Yuan et al. (2022)	$I - VI$	-0^m3

Примечание: для определения W_{I-VI} см. Majaess (2024a).

расстояния для отдельных цефеид Галактики были определены с привлечением для расчета наблюдаемых Везенхейт-функций данных Riess et al. (2021, SH_0ES). Фотометрия Галактики на основе SH_0ES с успехом позволяет оценить значимый нижний уровень поглощения. Итоговое медианное смещение расстояний между экстремумами R_{I-VI} составляет примерно 5%, при этом более низкие R_{I-VI} дают более значительные расстояния. Для R_{H-VI} выявлено медианное различие около 4%. Наибольшие расстояния, определенные с использованием $R_{H-VI} = 0.30$, относительно наименьших, полученных по $R_{I-VI} = 1.55$, отличаются примерно на 8% (по медиане). Предельные расстояния R_{H-VI} в целом больше, чем связанные с R_{I-VI} .

Аналогичным образом широкомасштабный иллюстративный подход был применен к большой совокупности внегалактических данных Riess et al. (2016; 2022, SH_0ES) и Hoffmann et al. (2016, SH_0ES), но для всех цефеид с $P > 7^d$ в пределах конкретной галактики (то есть критерий периода снижает влияние обертонов). Цефеиды в M 31, NGC 2442, NGC 4424, NGC 5643 и NGC 7250 характеризовались сравнительно большим поглощением на луче зрения и имели расхождение расстояния более 4%. NGC 4258 не попадает в эту группу ($\Delta d \lesssim 1.6\%$, в зависимости от набора данных), если R находится в указанных пределах и не является аномальным (однако см. Fausnaugh et al., 2015, и пояснения в этой работе). Эта неопределенность сочетается с более существенным фотометрическим смещением W_{H-VI} по данным SH_0ES (раздел 2.1), что подразумевает⁸ внутреннее расхождение H_0 около 6%. Несоответствие H_0 значительно выше для W_{I-VI} по SH_0ES -данным 2016–2022 гг. (Majaess, 2024a).

⁷Такие привязки могут потребовать пересмотра (что важно, вероятно, однонаправленного), и существуют отдельные оценки с низкой цитируемой неопределенностью (Steer, 2020, и ссылки в нем).

⁸Уравнение (2.1) в Efstathiou (2020).

Наконец, макроанализ показал, что по данным, собранным Riess et al. (2022, SH_0ES), W_{H-VI} -фотометрия цефеид ММО выглядит некорректно и перекрывает соответствующую Везенхейт-функцию. Такой вывод был подтвержден с помощью построения выборки цефеид ММО на основе фотометрических каталогов из литературы. В более широком смысле цефеиды ММО могут представлять собой сравнительно большую проблему при использовании в качестве Везенхейт-калибратора (по сравнению, например, с БМО) из-за значительной глубины ММО вдоль луча зрения и наклона (Caldwell and Coulson, 1986; Groenewegen, 2000; Subramanian and Subramaniam, 2012, например, рис. 12).

3. ВЫВОДЫ

По данным выборок SH_0ES 2016–2022 гг. (таблица 1) диапазон оценок абсолютного нуля-пункта $W_{0,H-VI}$ -величин цефеид в ключевой мазерной галактике NGC 4258 составляет более 0^m1 . Такой разброс добавляется к различию в 0^m3 $W_{0,I-VI}$, обнаруженному ранее и связанному с комбинированием отдельных полос пропускания (Majaess, 2024a), а также указывает на проблемы с фотометрическими данными NGC 4258 SH_0ES 2016 г. и с величиной $H_0 \pm \sigma_{H_0}$, привязанной к этой галактике (см. таблицы 6 и 8 в Riess et al., 2016). Возникающие неопределенности расстояний до цефеид еще сильнее возрастают за счет внутреннего расхождения SH_0ES (в предположении около 6% H_0 при привязке исключительно по мазерам) для относительно более красных подвыборок из-за неоднозначностей R_{H-VI} и R_{I-VI} (см. раздел 2.2).

Желательно продолжение независимых исследований более широкого влияния вариаций R на расстояния по цефеидам и сверхновым (Elias-Rosa et al., 2006; Goobar, 2008; Fausnaugh et al., 2015; Wojtak and Hjorth, 2024), как показано на примере неоднозначности относительно расстояния до Центавра А (Ferrarese et al., 2007; Majaess, 2010). Ограничения могут возникнуть в результате прорывов в изучении межзвездной среды, связанных с выявлением источника(ов) за пределами пика поглощения на 220 нм, многочисленных неотожествленных линий ИК-излучения и более чем 500 диффузных межзвездных полос (Turner et al., 2014; Xiang et al., 2017; Ebenbichler et al., 2024; Majaess et al., 2025).

Группа SH_0ES излагает свою точку зрения относительно влияния неопределенностей R на H_0 в нескольких работах (Riess et al., 2009a; 2022, раздел 6.3 и Приложение D последней), а отдельные мнения можно найти в Mörtzell et al. (2022) и Wojtak and Hjorth (2024).

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе использованы данные баз и проектов: CDS (<https://cds.unistra.fr/>), NASA ADS (<https://ui.adsabs.harvard.edu/>), arXiv (<https://arxiv.org/>), OGLE (<https://ogle.astrouw.edu.pl/atlas/>), Araucaria (<https://araucaria.camk.edu.pl/>), SH_0ES (<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ac5c5b/pdf>), (C)CHP (<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/adce78/pdf>).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках финансирования организации.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L. N. Berdnikov, O. V. Vozyakova, and A. K. Dambis, *Astronomy Letters* **22** (3), 334 (1996).
2. A. Blanchard, J.-Y. Héloret, S. Ilić, et al., *The Open Journal of Astrophysics* **7**, id. 32 (2024). DOI:10.33232/001c.117170
3. G. Bono, F. Caputo, G. Fiorentino, et al., *Astrophys. J.* **684** (1), 102 (2008). DOI:10.1086/589965
4. J. A. R. Caldwell and I. M. Coulson, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **218**, 223 (1986). DOI:10.1093/mnras/218.2.223
5. G. Carraro, D. Turner, D. Majaess, and G. Baume, *Astron. and Astrophys.* **555**, id. A50 (2013). DOI:10.1051/0004-6361/201321421
6. E. Chaussidon, A. de Mattia, C. Yèche, et al., *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, **2025** 01, id. 135 (2024). DOI:10.1088/1475-7516/2025/01/135
7. A. Ebenbichler, J. V. Smoker, R. Lallement, et al., *Astron. and Astrophys.* **686**, id. A50 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348871
8. G. Efstathiou, arXiv e-prints astro/ph:2007.10716 (2020). DOI:10.48550/arXiv.2007.10716
9. N. Elias-Rosa, S. Benetti, E. Cappellaro, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **369** (4), 1880 (2006). DOI:10.1111/j.1365-2966.2006.10430.x
10. M. M. Fausnaugh, C. S. Kochanek, J. R. Gerke, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **450** (4), 3597 (2015). DOI:10.1093/mnras/stv881
11. L. Ferrarese, J. R. Mould, P. B. Stetson, et al., *Astrophys. J.* **654** (1), 186 (2007). DOI:10.1086/506612
12. E. L. Fitzpatrick, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **111** (755), 63 (1999). DOI:10.1086/316293
13. W. L. Freedman and B. F. Madore, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **2023** (11), id. 050 (2023). DOI:10.1088/1475-7516/2023/11/050
14. W. L. Freedman, B. F. Madore, H. J. Taylor, et al., *Astrophys. J.*, **985** 2, id. 203 (2025). DOI:10.3847/1538-4357/adce78
15. G. A. Gontcharov, *Astronomy Letters* **39** (2), 83 (2013). DOI:10.1134/S1063773713020047
16. A. Goobar, *Astrophys. J.* **686** (2), L103 (2008). DOI:10.1086/593060
17. K. D. Gordon, G. C. Clayton, K. A. Misselt, et al., *Astrophys. J.* **594** (1), 279 (2003). DOI:10.1086/376774
18. M. A. T. Groenewegen, *Astron. and Astrophys.* **363**, 901 (2000). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/0010298
19. J. A. Hackwell and R. D. Gehrz, *Astrophys. J.* **194**, 49 (1974). DOI:10.1086/153222
20. S. L. Hoffmann, L. M. Macri, A. G. Riess, et al., *Astrophys. J.* **830** (1), article id. 10 (2016). DOI:10.3847/0004-637X/830/1/10
21. P. Kroupa, M. Pawlowski, and M. Milgrom, *International Journal of Modern Physics D* **21** (14), id. 1230003 (2012). DOI:10.1142/S0218271812300030
22. M. López-Corredoira, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* **46-A**, 86 (2014). DOI:10.1016/j.shpsb.2013.11.005
23. L. M. Macri, D. Calzetti, W. L. Freedman, et al., *Astrophys. J.* **549** (2), 721 (2001). DOI:10.1086/319465
24. L. M. Macri, K. Z. Stanek, D. Bersier, et al., *Astrophys. J.* **652** (2), 1133 (2006). DOI:10.1086/508530
25. B. F. Madore and W. L. Freedman, *Astrophys. J.* **961** (2), id. 166 (2024). DOI:10.3847/1538-4357/acfaea
26. D. Majaess, *Acta Astronomica* **60** (2), 121 (2010). DOI:10.48550/arXiv.1006.2458
27. D. Majaess, *Astrophys. J.* **897** (1), id. 13 (2020). DOI:10.3847/1538-4357/ab8d1f
28. D. Majaess, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **529** (3), 2627 (2024a). DOI:10.1093/mnras/stae691
29. D. Majaess, arXiv e-prints astro/ph:2401.12964 (2024b). DOI:10.48550/arXiv.2401.12964
30. D. Majaess, H. Seuret, T. A. Harriott, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **539** (4), 3489 (2025). DOI:10.1093/mnras/staf722
31. D. Majaess, D. Turner, I. Dékány, et al., *Astron. and Astrophys.* **593**, id. A124 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201628763
32. D. Majaess, D. Turner, and W. Gieren, *Astrophys. J.* **741** (2), id. L36 (2011). DOI:10.1088/2041-8205/741/2/L36
33. D. Majaess, D. G. Turner, and W. Gieren, *Astrophys. J.* **772** (2), id. 130 (2013). DOI:10.1088/0004-637X/772/2/130
34. E. Maoz, J. A. Newman, L. Ferrarese, et al., *Nature* **401** (6751), 351 (1999). DOI:10.1038/43838
35. E. Mörtzell, A. Goobar, J. Johansson, and S. Dhawan, *Astrophys. J.* **935** (1), id. 58 (2022). DOI:10.3847/1538-4357/ac7c19

36. J. A. Newman, L. Ferrarese, P. B. Stetson, et al., *Astrophys. J.* **553** (2), 562 (2001). DOI:10.1086/320969
37. D. Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos. The Scientific Quest for the Secret of the Universe.* (Harper-Collins, New York, 1991).
38. P. J. E. Peebles, *Proceedings of the National Academy of Science* **112** (40), 12246 (2015). DOI:10.1073/pnas.1308786111
39. G. Pietrzyński, D. Graczyk, A. Gallenne, et al., *Nature* **567** (7747), 200 (2019). DOI:10.1038/s41586-019-0999-4
40. M. J. Reid, D. W. Pesce, and A. G. Riess, *Astrophys. J.* **886** (2), id. L27 (2019). DOI:10.3847/2041-8213/ab552d
41. A. G. Riess and L. Breuval, *arXiv e-prints astro/ph:2308.10954* (2023). DOI:10.48550/arXiv.2308.10954
42. A. G. Riess, S. Casertano, W. Yuan, et al., *Astrophys. J.* **876** (1), article id. 85 (2019). DOI:10.3847/1538-4357/ab1422
43. A. G. Riess, S. Casertano, W. Yuan, et al., *Astrophys. J.* **908** (1), id. L6 (2021). DOI:10.3847/2041-8213/abdbaf
44. A. G. Riess, W. Li, P. B. Stetson, et al., *Astrophys. J.* **627** (2), 579 (2005). DOI:10.1086/430497
45. A. G. Riess, L. Macri, S. Casertano, et al., *Astrophys. J.* **699** (1), 539 (2009a). DOI:10.1088/0004-637X/699/1/539
46. A. G. Riess, L. Macri, W. Li, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **183** (1), 109 (2009b). DOI:10.1088/0067-0049/183/1/109
47. A. G. Riess, L. M. Macri, S. L. Hoffmann, et al., *Astrophys. J.* **826** (1), article id. 56 (2016). DOI:10.3847/0004-637X/826/1/56
48. A. G. Riess, D. Scolnic, G. S. Anand, et al., *Astrophys. J.*, **977** (1), id. 120 (2024). DOI:10.3847/1538-4357/ad8c21
49. A. G. Riess, W. Yuan, L. M. Macri, et al., *Astrophys. J.* **934** (1), id. L7 (2022). DOI:10.3847/2041-8213/ac5c5b
50. V. Scowcroft, W. L. Freedman, B. F. Madore, et al., *Astrophys. J.* **743** (1), article id. 76 (2011). DOI:10.1088/0004-637X/743/1/76
51. I. Steer, *Astron. J.* **160** (5), id. 199 (2020). DOI:10.3847/1538-3881/abafba
52. P. Steinhardt, *Scientific American* **304** (4), 18 (2011). DOI:10.1038/scientificamerican0411-36
53. S. Subramanian and A. Subramaniam, *Astrophys. J.* **744** (2), article id. 128 (2012). DOI:10.1088/0004-637X/744/2/128
54. G. A. Tammann and B. Reindl, *Proc. IAU Symp. No. 289, Ed. R. de Grijs* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2013), p. 13.
55. D. G. Turner, *Astron. J.* **81**, 1125 (1976). DOI:10.1086/111994
56. D. G. Turner, *Astrophys. and Space Sci.* **337** (1), 303 (2012). DOI:10.1007/s10509-011-0833-4
57. D. G. Turner, D. J. Majaess, and D. D. Balam, *Canadian Journal of Physics* **92** (12), 1696 (2014). DOI:10.1139/cjp-2014-0288
58. A. Udalski, *Astrophys. J.* **590** (1), 284 (2003). DOI:10.1086/374861
59. R. Wojtak and J. Hjorth, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **533** (2), 2319 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae1977
60. F. Y. Xiang, A. Li, and J. X. Zhong, *Astrophys. J.* **835** (1), article id. 107 (2017). DOI:10.3847/1538-4357/835/1/107
61. W. Yuan, M. M. Fausnaugh, S. L. Hoffmann, et al., *Astrophys. J.* **902** (1), 26 (2020). DOI:doi:10.48550/arXiv.2007.07888
62. W. Yuan, L. M. Macri, A. G. Riess, et al., *Astrophys. J.* **940** (1), id. 64 (2022). DOI:10.3847/1538-4357/ac51db
63. G. Zasowski, S. R. Majewski, R. Indebetouw, et al., *Astrophys. J.* **707** (1), 510 (2009). DOI:10.1088/0004-637X/707/1/510

Doubly Discordant SH_0 ES NGC 4258 Cepheid Relations (HVI), and Impactful Extinction Laws

D. Majaess¹

¹Mount Saint Vincent University, Halifax, Nova Scotia, B3M 2J6 Canada

SH_0 ES (Supernovae and H_0 for the Equation of State of dark energy) 2016–2022 HVI data for classical Cepheids in the keystone galaxy NGC 4258 yield doubly discordant Wesenheit Leavitt functions: $\Delta W_{0,H-VI} = -0^m.13 \pm 0^m.02$ ($-0^m.17$ unweighted) and that is paired with the previously noted $\Delta W_{0,I-VI} \simeq -0^m.3$, which in concert with complimentary evidence suggest the 2016 SH_0 ES NGC 4258-anchored $H_0 \pm \sigma_{H_0}$ warrants scrutiny (i.e., $\sigma_{H_0}/H_0 \gtrsim 6\%$). Cepheid distance uncertainties are further exacerbated by extinction law ambiguities endemic to such Leavitt relations (e.g., NGC 4258), particularly for comparatively obscured variables (e.g., $\Delta d \gtrsim 4\%$, reddened Cepheid subsamples in the Milky Way, M 31, NGC 2442, NGC 4424, NGC 5643, NGC 7250). Lastly, during the analysis it was identified that the 2022 SH_0 ES database relays incorrect SMC Cepheid photometry.

Keywords: *stars: variables: Cepheids—cosmology: distance scale—Hubble constant*