

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 309 (2016), 146 – 151

UDK 520.2

V. M. Tereschenko

Fesenkov Astrophysical Institute

volter2307@mail.ru

**THE CHARACTERISTICS AND PECULIARITIES OF THE
PHOTOELECTRICAL PHOTOMETER SSP-5A OPERATION**

Abstract. Photometric method of investigation is one of the most effective in astronomy. In the case of weak objects it is the only one that can be used to obtain some information on their physical nature. Photometric method is used in the various surveys; it is indispensable in the study of variable objects. Photometric observations are absolute and relative. Currently, the vast majority of photometric observations are performed by the differential method with the help of panoramic detectors – CCD cameras. Absolute measurements continue to be performed by the photoelectric photometers. Both methods complement each other.

In FAI two CCD photometers, some sets at two meter telescopes, works successfully. With their help by the differential method the background of gamma-ray bursts, the pulsations of white dwarfs, the changes in the nuclei of Seyfert galaxies and variable stars are observed. For absolute measurements FAI was acquired single-channel photoelectric UBVR-photometer SSP-5A of firm «Optec Inc». It is mainly designed for high-precision measurements of candidates for photometric and spectrophotometric standards. This article describes the photometer and its parameters. It also contains some of the features of its work. It is important for the planning of future observations on it.

Keywords: stars, photometry, photoelectrical photometer, characteristics of SSP-5A.

УДК 520.2

В.М. Терещенко

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

**ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ФОТОМЕТРА SSP-5A**

Аннотация. Фотометрический метод исследования - один из самых эффективных в астрономии. В случае слабых объектов он является единственным, с помощью которого можно получить какую-то информацию об их физической природе. Фотометрический метод используется в различных обзорах, он незаменим при исследовании переменных объектов. Фотометрические наблюдения бывают абсолютными и относительными. В настоящее время абсолютное большинство фотометрических наблюдений выполняется дифференциальным методом с помощью панорамных приемников излучения - ПЗС-камер. Абсолютные измерения продолжают выполняться с помощью фотоэлектрических фотометров. Оба метода дополняют друг друга.

В АФИФ успешно работают два ПЗС-фотометра, установленные на двух метровых телескопах. С их помощью дифференциальным методом наблюдают послесвечение гамма-всплесков, пульсации белых карликов, изменения в ядрах сейфертовских галактик и переменные звезды. Для абсолютных измерений АФИФ приобрел одноканальный фотоэлектрический UBVR-фотометр SSP-5A фирмы «Optec Inc». В основном он предназначен для прецизионных измерений кандидатов в фотометрические и спектрофото-

метрические стандарты. В данной статье приводится описание фотометра и его параметров. Также приведены некоторые особенности его работы. Это важно для планирования будущих наблюдений на нем.

Ключевые слова: звезды, фотометрия, фотоэлектрический фотометр, параметры SSP-5A.

Введение. Несмотря на широкое внедрение в практику астрономических наблюдений приборов с зарядовой связью (ПЗС-камер), фотоэлектрический метод наблюдений продолжает оставаться одним из наиболее используемых. Это обусловлено двумя факторами: во-первых, точность измерений потоков излучения с помощью фотоумножителей по сравнению с ПЗС-камерами более высокая и, во-вторых, стоимость фотоумножителей намного ниже стоимости профессиональных ПЗС-камер. Первый фактор особенно важен для фундаментальной фотометрии, когда стандарты и исследуемые объекты находятся на относительно больших угловых расстояниях друг от друга и не попадают в один и тот же кадр. Подчеркнем, что для прецизионных измерений в ближайшем будущем фотоэлектрическому методу альтернативы нет [1]. Не случайно, практически в каждой обсерватории имеется хотя бы один экземпляр фотоэлектрического фотометра. До начала 90-х годов в АФИФ достаточно эффективно работали два таких фотометра: фотометр-поляриметр на базе стандартного электрофотометра АФМ-6 [2] и ИК-фотометр, изготовленный в ГАО АН СССР [3]. В настоящее время в АФИФ успешно эксплуатируются две ПЗС-камеры, установленные на двух метровых телескопах ТШАО. Совместно с стандартным набором фильтров они образуют систему близкую к системе Джонсона BVRI [4]. С их помощью методами дифференциальной фотометрии проводятся наблюдения переменных объектов [5, 6]. Изготовленный недавно в АФИФ двухканальный семицветный фотометр [7] тоже рассчитан на работу с ПЗС-камерами, но и из-за отсутствия ИК-камеры в настоящее время не работает. К сожалению, по разным причинам так и не был доведен до рабочего состояния пятицветный фотоэлектрический фотометр, разработанный нами еще в начале 90-х годов [8]. Вместе с тем, в последнее время в институте появились задачи, решение которых требует проведения прецизионных фотометрических наблюдений звезд. Выше изложенное послужило аргументом для приобретения одноканального фотоэлектрического фотометра SSP-5A фирмы "Optec Inc". Фотометры данной серии используются профессионалами и любителями, они многократно апробированы и зарекомендовали себя как удобные и надежные инструменты. Приобретенный фотометр намечается использовать для исследований постоянства блеска звезд-стандартов. Естественно, что его можно использовать для решения других задач, требующих высокой точности измерений. Кроме того, ввиду относительной простоты, данный фотометр очень удобен для обучения молодых специалистов без риска потерять дорогостоящую ПЗС-камеру.

Фотометр SSP-5A

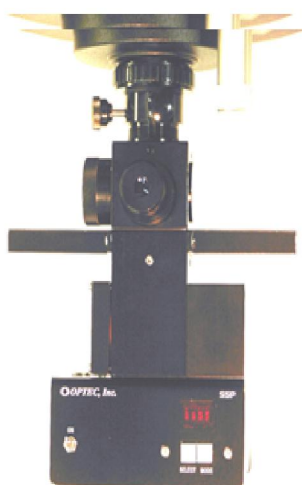


Рисунок 1 – Общий вид фотометра SSP-5A

На основе проведенных наблюдений и имеющегося описания фотометра SSP5-A [9] мы представляем основные характеристики и некоторые особенности работы фотоэлектрического фотометра SSP5-A. Приводимые в работе характеристики и особенности фотометра нужны,

прежде всего, для планирования будущих наблюдений. Они позволяют заранее оценить проникающую силу, точность и производительность наблюдений с ним.

Оптико-механическая схема SSP-5A. Общий вид фотометра приведен на рисунке 1. С телескопом фотометр соединяется с помощью патрубков – переходника диаметром 1.25 дюйма (32 мм). Отметим малые габариты и вес фотометра: размер - 25×20×20 см, вес – всего около одного килограмма. Оптико-механическая схема фотометра представлена на рисунке 2. Как видим, она классическая и предельно упрощена. Фотометр SSP-5A – одноканальный и конструктивно позволяет осуществить фотометрическую систему из пяти полос.

В фотометре предусмотрены сменные полевые диафрагмы - пластинки с отверстиями диаметром от 0.5 до 2мм, в нашем экземпляре установлена диафрагма диаметром 1мм. На пути прошедшего через диафрагму луча стоит откидное зеркало, которое направляет его либо в подсмотровый окуляр, либо через линзу Фабри на фотоумножитель. Зеркало поворачивается вручную, что не позволяет полностью автоматизировать процесс наблюдений. Подсмотровый фокусирующийся окуляр состоит из окуляра Рамседа с фокусным расстоянием 1 дюйм (25.4 мм) и освещаемой фотодиодом сетки с точно выгравированной окружностью, которая точно совпадает с границей полевой диафрагмы и определяет апертуру поля зрения. Сама же диафрагма при этом не засвечивается и, следовательно, отсчеты не искажаются.

Прошедший через диафрагму луч падает на плосковыпуклую линзу Фабри. Как известно, она строит изображение входного зрачка (объектива телескопа) в плоскости катода фотоумножителя и необходима для устранения влияния неоднородности чувствительности фотокатода. Линза

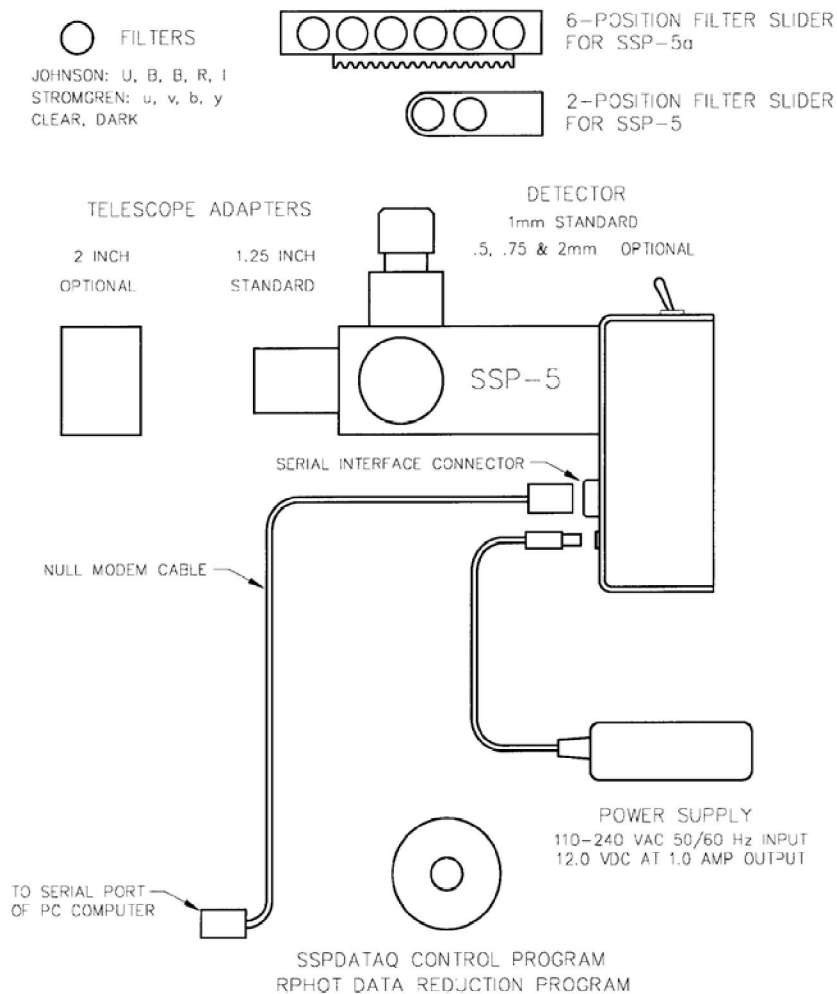


Рисунок 2 – Схема фотометра SSP-5A

изготовлена из стекла марки B270, пропускающего ультрафиолетовое излучение до 300нм. Диаметр линзы равен 9мм, толщина в центре - 2.9мм, фокусное расстояние - 25.4мм. Диаметр изображения зрачка на фотокатоде – около 2.5мм. Фотометр с такими параметрами линзы может устанавливаться на телескопах со светосилой от 1:7 до 1:20.

На пути от линзы до фотокатода луч проходит через фильтры, формирующие ту или иную фотометрическую систему. В данном экземпляре фильтры установлены в слайдере (скользящей линейке) с шестью гнездами для фильтров. Четыре фильтра формируют систему, близкую к стандартной UBVR. В пятом окне находится нейтральное прозрачное стекло, которое необходимо для соблюдения фокусного расстояния. Все фильтры, включая нейтральное стекло, имеют толщину 6-7мм. При отсутствии фильтров фокус смещается на 2.3мм от плоскости фотокатода. Именно по этой причине необходим нейтральный фильтр. В шестом гнезде помещена непрозрачная пластинка, которая служит затвором. Линейка передвигается шаговым двигателем, который управляется контроллером по заданной программе (автоматически). Положение фильтров однозначно фиксируется. Дополнительно к стандартным фильтрам Джонсона возможна установка фильтров системы Стремгрена: четырех цветных фильтров и двух H β -фильтров: узкого и широкого. Фильтры для нее приобретаются за отдельную плату. Напомним, что система Стремгрена является среднеполосной и второй по популярности среди астрономов.

Приемно-регистрирующий блок. Приемником излучения служит пальчиковый фотоумножитель фирмы “Hamamatsu” R6358. Фотоумножитель имеет боковой вход, его длина – 40мм, диаметр 13 мм, число каскадов усиления - 9. Напряжение питания фотоумножителя от 750 до 850в., усиление равно 6×10^5 , темновой ток – менее 2 пикоампер при температуре +25С. Катод фотоумножителя – мультищелочной, его спектральная чувствительность простирается от 185 до 830нм. Квантовая эффективность в центре полосы V на длине волны 540нм согласно паспортным данным составляет 17%. Для защиты фотоумножителя от различных магнитных полей служит колпак из мягкой стали, а от скачков напряжения внутри него имеется экран, который связан с источником напряжения через 22-мегаомное ограничивающее сопротивление. Для непрерывного просушивания фотоумножителя рядом с ним находится коробочка с силикагелем. Сам силикагель должен периодически просушиваться при температуре 120 С.

Фотоумножитель запитывается от портативного источника высокого напряжения с максимально хорошей регулировкой и низкими шумами. После 30-минутного прогрева стабильность напряжения источника составляет ± 0.2 в для промежутка времени менее 15 минут. В полосе пропускания от 1 до 0.05гц шум напряжения менее 0.1в, что соответствует ошибке 0.0001 . Предусмотрена обратная связь между ФЭУ и источником, что страхует фотоумножитель от губительных для него токов (напряжение автоматически отключается при значениях выше 925в). Потребляемая мощность источника высокого напряжения составляет около 1.5вт. Отключение произойдет также и при экспонировании ярких объектов (на полуметровом телескопе это звезды ярче 3 величины). В течение миллисекунд, когда выходной ток предусилителя близок к точке насыщения, питание аварийно отключается.

Выходной ток ФЭУ очень мал - для слабых звезд он порядка пикоампер. В фотометре SSP-5A для его регистрации используется аналоговый метод. Предварительно сигнал (ток) усиливается низкочастотным усилителем в аналого-цифровом преобразователе (в 7.9×10^6 раз), а затем, совместно с инвертацией напряжения, - еще в 1.5 раза. Таким образом, общее усиление выходного тока превышает десять миллионов раз. Так называемое характерное время предусилителя составляет одну миллисекунду. За это время сигнал от уровня в 10% достигает 90% от его величины. По смыслу оно близкое к постоянной времени. Миллисекундное быстроедействие позволяет наблюдать, в частности, покрытия звезд Луной с целью определения их угловых диаметров. В конвертере V/F происходит преобразование напряжения в частоту. Не вдаваясь в подробности его работы, отметим, что в нашем случае возможны усиления в 1, 10 и 100 раз. Эти управляющие усиления устанавливают напряжение сигнала, которое приводит к полномасштабной частоте 10 килогерц. На первом, наименее чувствительном усилении, вход -6.6в соответствует 9999 импульсам. При установлении усилений равных 10 или 100 выход из V/F-конвертора 10 килогерц соответствует напряжениям -660мв и -66мв.

В фотометре имеется «стандартный» набор экспозиций: 0.02, 0.05, 0.10, 0.50, 1, 5 и 10с, но можно также выставить 0.002с. Время считывания сигнала составляет 0.0037с, а моменты времени фиксируются с точностью до 0.001с.

Фотометр работает в ручном и автоматизированном (с компьютером) режимах. В ручном режиме четырехзначный дисплей фотометра «захлебывается» при числе импульсов в секунду выше 9999, а в автоматизированном возникают существенные нелинейности при числе импульсов в секунду выше 25 000. В зависимости от подбора экспозиций и усилений устанавливаются разные режимы работы фотометра: тестовый, «медленный», «быстрый» и «очень быстрый».

После включения питания фотометра, в том числе высокого напряжения на ФЭУ, выставляется пробный режим. С помощью нажатий двух кнопок на передней панели фотометра в тестовом режиме добиваемся, чтобы отсчеты на темновой ток составляли 2-3 импульса в секунду. Эта процедура аналогична установке нуля.

К сожалению, в фотометре отсутствует стандартный источник излучения для контроля общей чувствительности приемно-регистрирующего тракта. Обычно им служит либо люминофор, либо лампа накаливания или светодиод, запитываемые от стабилизированного источника питания. Как один из возможных вариантов контроля чувствительности фотометра мы рассматриваем установку светодиода на вторичном зеркале телескопа. Естественно, что необходимо обеспечить высокую стабилизацию его питания и воспроизводимость отсчетов на него.

С помощью специальных наблюдений уточнены, в частности, режим работы для объектов разного блеска, выявлены особенности работы, не указанные в его описании и паспортных данных. Они прилагаются к составленной нами инструкции наблюдателя. Это важно при составлении дальнейших программ наблюдений с ним.

Заключение. Проведены первые наблюдения звезд на новом фотометре SSP-5A. Они подтверждают ожидаемую точность измерений с ним. В настоящее время исследуется инструментальная система фотометра.

В заключение отметим, что в мире существует большое разнообразие многоканальных фотометров разных конструкций и назначений, например, [10,11]. Стоимость многих из них, как минимум, на порядок выше стоимости SSP-5A. В рыночных же условиях данное обстоятельство часто является определяющим фактором при их приобретении или изготовлении. В этом плане приобретение институтом фотометра SSP-5A является, на наш взгляд, оптимальным вариантом.

Работа выполнена по программе прикладных исследований 076 «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий» (проект

N 0003-2/ПЦФ-15-АКМИР).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Миронов А.В. Основы астрофотометрии. М., Физматлит, 2003г., 260с.
- [2] Курчаков А. В., Рспаев Ф. К. Электрополяриметр к однометровому телескопу Астрофизического института АН Каз ССР. // Сб. статей «Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел», Киев, Наукова думка, 1985, с. 178-181.
- [3] Бергнер Ю. К., Бондаренко С. Л., Мирошниченко А. С., Моралев Ю. Д., Шумахер А. В., Юдин Р. В., Ютанов Н. Ю. Многоцветный астрофотометр-поляриметр для синхронных наблюдений нестационарных объектов в видимом и ИК диапазонах спектра, Известия ГАО АН СССР, т. 205, 1988, с. 142-151.
- [4] Диденко А.В., Усольцева Л.А. Список фотометрических стандартов для наблюдений малоразмерных фрагментов космического мусора и фотометрическая система 1-м телескопа с ПЗС-матрицей, Известия НАН РК, серия физико-математическая, Т. 5, № 303, 2015, с. 109-114.
- [5] Кусакин А.В., Хруслов А.В., Кокумбаева Р.И., Рева И.В., Четыре новые долгопериодические переменные звезды. Известия НАН РК, серия физико-математическая, Т. 5, № 303, 2015, с. 49-54.
- [6] Кусакин А.В., Хруслов А.В., Кокумбаева Р.И. Поиск и исследование новых переменных на телескопе Zeiss-1000 Тянь-Шанской астрономической обсерватории, Известия НАН РК, серия физико-математическая, № 4 (296), 2014, с. 51-59.
- [7] Кругов М.А., Личкановский Н.В., Терещенко В.М. Двухканальный семицветный ПЗС-фотометр, Известия НАН РК, серия физико-математическая, Т. 5, № 303, 2015, с. 115-119.
- [8] Михайлов В. В., Терещенко В. М. Фотоэлектрический UBVR-I-фотометр. Конструкция и предварительные исследования, Сб. «Проблемы физики звезд и внегалактической астрономии». Алматы. «Гылым», 1993, с. 196 – 206.
- [9] <http://www.optecinc.com>
- [10] Kornilov V.G. Four-channel stellar photometer with dichroic beam-splitters, *Baltic astronomy*, 1998, V. 7, P. 513-524.
- [11] Kalitis R. and Meistas E. G. Photometric equipment for WET, *Baltic astronomy*, 1995, V. 4, P. 497- 509.

REFERENCES

- [1] Mironov A.V., *Osnovy astrofometrii*. M., Fizmatlit, **2003**, 260 s.
- [2] Kurchakov A.V., Rspaev F.K., *Elektropolyarimetr k odnometrovomu teleskopu Astrofizicheskogo instituta AN Kaz SSR, sb. statey «Fotometricheskie I polayrimetricheskie issledovaniy nebesnykh tel»*, Kiev, Naukova dumka, **1985**, 200 s. (s. 178-181).
- [3] Bergner Yu. K., Bondarenko S.L., Miroschnichenko A.S., Moralev Yu.D., Shumaker A.V., Yudin R. V., Yutanov N.Yu., *Mnogotsvetny astrofotometr- polyarimetr dlya sinkhronnykh nabludeniy stacionarnykh obyektov v vidimom I IK-diapazonakh spectra, Izvestiya GAO AN SSSR*, T. 205, **1988**, s. 142-151.
- [4] Didenko A.V., Usoltseva L.A., *Spisok fotometricheskikh standartov dlya nablyudeniy malorazmernykh fragmentov kosmicheskogo musora I fotometricheskaya sistema 1-m teleskopa s PZS-matritsey, Izvestiya NAN RK, seriya fiziko-matematicheskaya*, T. 5, № 303, **2015**, s.109-114.
- [5] Kusakin A.V., Khruslov A.V., Kokumbaeva R. I., Reva I. V. *Chetyre novye dolgoperiodicheskiye peremenniye zvezdy. Izvestiya NAN RK, seriya fiziko-matematicheskaya*, T. 5, № 303, **2015**, s. 49-54.
- [6] Kusakin A.V., Khruslov A.V., Kokumbaeva R. I., *Poisk i issledovanie novykh peremennykh na telescope Zeiss-1000 Tian-Shanskoy astronomicheskoy observatorii, Izvestiya NAN RK, seriya fiziko-matematicheskaya*, № 4 (296), **2014**, s. 51-59.
- [7] Krugov M. A., Lichkanovskiy N. V., Tereschenko V. M., *Dvukhkanalnyi semitsvetniy PZS-fotometr, Izvestiya NAN RK, seriya fiziko-matematicheskaya*, T. 5, № 303, **2015**, s.115-119.
- [8] Mikhaylov V.V., Tereschenko V.M. *Fotoelektricheskiy UBVR-fotometr. Konstruktsiya I predvaritelnie issledovaniya, Sb. «Problemy fiziki zvezd I vnegalakticheskoy astronomii»*. Almaty, «Gylym», **1993**, s. 196 – 206.
- [9] <http://www.optecinc.com>
- [10] Kornilov V.G. *Four-channel stellar photometer with dichroic beam-splitters, Baltic astronomy*, **1998**, V. 7, P. 513-524.
- [11] Kalitis R. and Meistas E. G. *Photometric equipment for WET, Baltic astronomy*, **1995**, V. 4, P. 497- 509.

В.М. Терещенко

«В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕШЖС, Алматы

**SSP-5A ФОТОЭЛЕКТРЛІК ФОТОМЕТРІ ЖҰМЫСЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ
ЖӘНЕ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

Аннотация. Фотометрлік зерттеу әдістері – астрономиядағы бірден бір тиімділердің бірі. Өлсіз объектілер жағдайында оның көмегімен олардың физикалық табиғаты жөнінде қандай да бір ақпарат алуға болатын бірегей болып табылады. Фотометрлік әдіс әртүрлі шолуларда пайдаланылады, айнымалы объектілерді зерттеуде ол ауыстыруға келмейді. Фотометрлік бақылаулар абсолютті және салыстырмалы болып келеді. Қазіргі таңда көптеген фотометрлік бақылаулар көріністі сәуле қабылдағыштар - ПЗС-камералар көмегімен дифференциалды әдіспен орындалады. Абсолютті өлшеулер фотоэлектрлік фотометрлер көмегімен орындалуы жалғасып келеді. Екі әдіс бір бірін толықтырады.

ФАФИ екі метрлік телескопта орналастырылған екі ПЗС-фотометр табысты жұмыс істейді. Дифференциалдық әдіс көмегімен гамма-жаркылдар сәуле түсу, ақ ергежейлілер пульсациясы, сейферт галактикалар және айнымалы жұлдыздар бақыланады. Абсолютті өлшемдер үшін ФАФИ «Ortec Inc» фирмасының UBVR-фотометр SSP-5A бірканалды фотоэлектрлік UBVR-фотометрін сатып алды. Ол негізінен фотометрлік және спектрофотометрлік стандарттар кандидаттарының прецизиялық өлшемдері үшін арналған. Осы мақалада фотометрдің және оның параметрлерінің сипаттары келтіріледі. Сонымен қатар оның жұмысының бірнеше ерекшеліктері келтірілген. Бұл онымен жүргізілетін болашақ бақылауларды жоспарлау үшін өте маңызды.

Түйін сөздер: жұлдыздар, фотометрия, фотоэлектрлік фотометр, SSP-5A параметрлер.