

Вторая версия солнечного спектромагнитографа ИЗМИРАН

Кожеватов И.Е., Иошпа* Б.А., Обридко* В.Н., Руденчик* Е.А., Куликова Е.Х.

*Федеральное государственное научное учреждение “Научно-исследовательский радиофизический институт”, Россия, 603950,
г.Нижний Новгород, ул. Большая Печерская 25.*

**Учреждение Российской академии наук Институт земного магнетизма
ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова, Россия, 142090,
Московская обл., г.Троицк*

Аннотация

Описывается вторая версия солнечного спектромагнитографа ИЗМИРАН для измерений полного вектора магнитного поля и лучевых скоростей в солнечной фотосфере. Принципиальные отличия схемы представляемого спектромагнитографа от традиционных связаны с заменой последовательного анализа спектра и поляризации оптического излучения параллельным. Последнее стало возможным благодаря разработанным авторами методом прецизионной калибровки схем с многоэлементными приемниками излучения.

Вторая версия солнечного спектромагнитографа ИЗМИРАН

Кожеватов И.Е., Иошпа* Б.А., Обридко* В.Н., Руденчик* Е.А., Куликова Е.Х.

*Федеральное государственное научное учреждение “Научно-исследовательский радиофизический институт”, Россия, 603950,
г.Нижний Новгород, ул. Большая Печерская 25.*

**Учреждение Российской академии наук Институт земного магнетизма
ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова, Россия, 142090,
Московская обл., г.Троицк*

1. Введение

Задачи измерения магнитных полей являются одними из самых старых в астрофизике. Экспериментальная астрофизика фактически началась после того, как в 1908 году Хейл открыл магнитные поля солнечных пятен. С тех пор стало ясно, что магнитное поле является главным фактором активности, как на Солнце, так и на других звездах. Именно магнитное поле превращает безжизненные плазменные шары в объекты, на которых наблюдаются пятна, циклы, вспышки и т.п.

Особенно важны измерения магнитных полей для задач прогнозирования воздействия солнечных агентов на Землю, так называемая «космическая погода». Именно измерения магнитного поля лежат в основе прогноза солнечных вспышек и корональных выбросов массы, которые приводят к возникновению магнитных бурь на Земле. Магнитные бури, в свою очередь, приводят к нарушениям в работе целого ряда технологических систем. Без прогноза потоков высокоэнергетичных частиц от Солнца, основой которого являются измерения магнитных полей, невозможна никакая продолжительная деятельность в космосе.

Однако проблема адекватного измерения магнитных полей на Солнце еще очень далека от своего решения. Это связано с тем, что магнитное поле на звездах непосредственно не измеряется. По существу современный

магнитограф – это высокоточный поляриметр. Только подробный анализ характеристик поляризации может дать информацию обо всех компонентах магнитного поля.

Но одних измерений поляризации все равно недостаточно. Дело в том, что поляризация в спектральной линии возникает в результате переноса излучения в атмосфере звезды и зависит не только от характеристик поля, но и от физических условий в области образования линии. Таким образом, современный прибор для измерения магнитного поля должен давать всю информацию как о поляризации, так и о контуре спектральной линии. По существу, мы должны одновременно с измерением магнитного поля в рамках самосогласованной задачи строить полную модель атмосферы звезды в точке измерения, включая не только параметры магнитного поля, но и температуру, плотность, давление, скорости и градиенты этих величин по глубине.

Очевидно, что схемы магнитографов, которые использовали данные в двух точках крыла линии, или даже среднее значение вдоль всего крыла, не дают предпосылок, в силу малости информации, ни для постановки, ни для решения этой задачи. Необходима подробная информация обо всех характеристиках интенсивности и поляризации внутри спектральной линии.

В данной статье представлены особенности новой схемы спектромагнитографа ИЗМИРАН (раздел 2), его функциональная схема (раздел 3) и описание анализатора поляризации параллельного типа (раздел 4).

2. Особенности новой схемы спектромагнитографа ИЗМИРАН

Большая часть современных магнитографов имеет в качестве приемников излучения двумерные матрицы. Тем не менее, даже при наличии матричных приемников с количеством элементов более миллиона приходится выбирать, на что в первую очередь направить возникшие возможности. Дело в том, что для регистрации двумерной магнитограммы требуется трехмерный массив данных, включающий кроме двумерных пространственных координат еще и спектр излучения в линии. Кроме того, этот спектр должен быть зарегистрирован в

шести вариантах, что необходимо для последующего поляризационного анализа.

Несоответствие размерности одновременно регистрируемых массивов с размерностью требуемых ставит исследователей перед необходимостью выбора одной из двух альтернатив.

Фильтровые магнитографы позволяют одновременно регистрировать интенсивность излучения по двум координатам поверхности Солнца. В этом случае реализуется максимальное пространственно-временное разрешение, поскольку не тратится время на сканирование по диску Солнца. Однако при этом теряется время при сканировании по спектру. Кроме того, в силу низкого разрешения фильтров удастся на профиле линий регистрировать не более двух-трех спектральных элементов.

Спектромагнитографы позволяют одновременно регистрировать с высоким разрешением спектр по всему профилю одной или даже нескольких линий. В этом случае реализуется максимальное спектрально-временное разрешение. Естественно, что по одной из пространственных координат (перпендикулярной высоте входной щели магнитографа) должно проводиться сканирование.

В версии магнитографа ИЗМИРАН выбор был сознательно сделан в пользу получения более полной информации о профилях спектральных линий, т.е. спектромагнитографической схемы. Отметим, что на данный момент солнечный телескоп ИЗМИРАН оснащен одним из самых совершенных автоматизированных гидрирующих устройств [1, 2]. В дополнении к этому для автоматизированной взаимной привязки данных, полученных в результате сканирования по одной из пространственных координат, был разработан регистратор положения входной щели спектрографа относительно особенностей и деталей хромосферы над областью регистрации фотосферных магнитных полей. В результате, основной недостаток спектромагнитографических схем, связанный с невозможностью одновременной регистрации по двум пространственным координатам Солнца, нивелируется точной работой гидрирующей системы.

Первая версия спектромагнитографа ИЗМИРАН работала с 2002 по 2005 год [3]. За это время подтверждена эффективность основных идей, использованных при реализации спектромагнитографа. Получено большое количество карт поперечной и продольной компонент магнитного поля и поля скоростей в различных активных областях.

Практика расчетов магнитных полей показала, что информация, заложенная в профилях параметров Стокса, входит в противоречие с простыми теориями образования магнитоактивных линий (например, с теорией Унно [4]), и для корректной интерпретации эксперимента необходимо использовать более сложные и многопараметрические модели.

Были выявлены и конструктивные недостатки спектромагнитографа. Конвективные воздушные потоки внутри магнитографа и захваченные ими пылинки вызывали неконтролируемое изменение пространственного распределения освещенности П.З.С.-матрицы и, как следствие, систематические ошибки в определении значений магнитных полей и лучевых скоростей полей. Использование в качестве блока согласующих линз, распиленных частей одной линзы приводило к большому и трудно контролируемому рассеянному свету. Кроме того, использование этой схемы сильно ограничивало поле зрения в спектральной области.

Поэтому было принято решение о разработке следующей версии спектромагнитографа, в которой, во-первых, для компенсации разницы оптических путей в светорасщепителе используются поворотные зеркала, а во-вторых, все оптические элементы анализатора поляризации погружены в иммерсию. В результате этих доработок в новой версии спектромагнитографа:

- спектральное поле зрения увеличилось от 1.2 \AA до 2.5 \AA , что позволяет проводить наблюдения одновременно в двух магнитоактивных линиях FeI $\lambda = 6301.5 \text{ \AA}$ и $\lambda = 6302.5 \text{ \AA}$;
- в 4-5 раз снизился пространственный шум в распределении интенсивности света на П.З.С.-матрице;

- примерно в 2 раза снизился уровень рассеянного света и увеличилась равномерность его распределения.

3. Оптическая схема спектромагнитографа ИЗМИРАН

Функциональная оптическая схема спектромагнитографа ИЗМИРАН представлена на рис. 1. Она содержит типичные для всех солнечных магнитографов общие составляющие: солнечный телескоп, спектральное устройство, анализатор поляризации и устройства приема, регистрации и обработки данных. Такое сочетание элементов и узлов связано с решением определенного круга задач, необходимых для получения солнечных магнитограмм: с пространственной селекцией данных измерений и спектрально-поляризационным анализом излучения. Последнее является необходимым, поскольку измерение магнитных полей в солнечной фотосфере осуществляется, как правило, путем оценки эффекта Зеемана в фотосферных магнитоактивных линиях. Мы не будем здесь приводить описание эффекта Зеемана, а также описание элементов теории переноса излучения в среде с магнитным полем, отсылая читателя к большому объему литературы, посвященной этой проблеме.

Солнечный телескоп ИЗМИРАН представляет собой типичную схему башенного целостного телескопа. Схема его подробно описана в [3]. Фокусное расстояние главного зеркала (М3), находящегося в основании башни, в сочетании с Ньютоновским зеркалом (М4) составляет 17 метров. Относительное отверстие телескопа, определяемое отношением входной апертуры (30 сантиметров) к фокусу составляет $\sim 1/60$. Наиболее примечательными особенностями телескопа, отличающими его от других аналогичных телескопов, являются широкополосный гидирующее устройство (ГИД), выполняющее одновременно функции гида и компенсатора дрожаний изображений Солнца [1, 2], и калибровочная насадка для тестирования

поляризационных свойств всего оптического тракта магнитографической схемы.

Изображение Солнца размером 170 мм строится на входной щели дифракционного спектрографа. Схема спектрографа также является типичной для солнечных спектрографов. Она включает в себя коллиматорное (М6) и камерное (М7) зеркала с фокусами 10 метров и дифракционную решетку (ДР), рабочая апертура решетки 150x150 мм с периодом 600шт/мм. Спектрограф имеет дисперсию во втором порядке $0,8 \text{ \AA}/\text{мм}$. Спектральное разрешение спектрографа, определяемое дифракционной решеткой, составляет $\lambda/600 \times 150 = \lambda/90000 = 0,066 \text{ \AA}$.

Весьма важным элементом магнитографа является канал оптической привязки данных к элементам и деталям хромосферы. Для этого щечки входной щели (Д1) спектрографа сделаны зеркально отражающими. Это позволяет не прошедшее в спектрограф излучение направить в канал получения изображений хромосферы в линии H_{α} . Для получения изображений хромосферы используется интерференционно-поляризационный фильтр (ИПФ) фирмы «Opton», П.З.С-камера фирмы «Proscan» (Германия) с числом пикселей матрицы 1024x1024 с размерами 14x14 мкм, снабженная контроллером (К1), и компьютер (ПК3).

Важность канала хромосферных изображений определяется не только возможностью оперативно наблюдать за проявлениями вспышечной активности, но и возможностью последующей взаимной привязки данных измерений для получения двумерных изображений магнитограмм. Такую привязку осуществляет специальная программа, использующая алгоритм двумерного коррелятора. С этой же целью происходит синхронная регистрация данных на выходе магнитографа и изображений хромосферы, на которых видно текущее положение входной щели спектрографа относительно деталей хромосферы.

При работе магнитографа данные спектрально-поляризационного анализа регистрируются основной П.З.С-камерой на выходе анализатора поляризации

(АП) одновременно по всей высоте входной щели спектрографа (Д1). П.З.С.-камера основного канала аналогична П.З.С.-камере для получения изображения в линии $H\alpha$. По второй из пространственных координат осуществляется последовательное сканирование. При этом изображение солнечного диска перемещается относительно входной щели спектрографа при помощи поворотов дополнительного зеркала (М2) телескопа шаговыми двигателями (ШД) и целостатного зеркала (М1) пьезострикционными элементами (I, II, III). Управление процессами сканирования и компенсации дрожаний осуществляется программой специального компьютера (ПК1). Использование широкополосного гидирующего устройства и канала регистрации хромосферных изображений позволяет в значительной мере нивелировать недостатки, связанные с неодновременной регистрацией всех пространственных точек активной области.

Калибровочная насадка включает в себя управляемые шаговыми двигателями (ШД) $\lambda/4$ волновую пластинку и линейный поляризатор (П). Отличительной особенностью принципа калибровки является определение матрицы Стокса сразу всей «оптической стопы», включающей оптику телескопа, спектрографа, анализатора поляризации, объективов (О1, О2) и элементов матрицы П.З.С.-камеры основного измерительного канала. Подробная схема калибровочной насадки и принцип работы описаны в работе [4].

4. Анализатор поляризации оптического излучения

Анализатор поляризации является одним из важнейших элементов солнечных магнитографов. При всем разнообразии используемых схемных и конструктивных решений общим для большинства солнечных магнитографов является требование управляемости анализатора поляризации. Чаще всего это осуществляется путем механических манипуляций поляризационными

элементами или подачей электрических напряжений с использованием электрооптических эффектов.

Принципиальным отличием анализатора поляризации магнитографа ИЗМИРАН, определившим его схемные и конструктивные особенности, является отсутствие управляемых элементов, так же как и необходимости управления. Все параметры поляризационного оптического излучения (компоненты вектора Стокса) регистрируются одновременно (параллельно). Преимущества такой схемы анализатора поляризации выражаются не только в ее быстродействии, но и в существенном ослаблении влияния факторов нестабильности аппаратуры на результаты спектрально-поляризационного анализа.

Особенно существенным является исключение дрейфов спектрографа. Использование П.З.С.- камеры с большим количеством (более 1 мБ) элементов с высоким динамическим диапазоном, а также малая относительная интенсивность излучения, требующая больших экспозиций, настолько снижает частоту опроса матрицы (~10 гц), что на результаты последовательного поляризационного анализа начинают сказываться все временные нестабильности спектрографа. При параллельном спектрально-поляризационном анализе нестабильности спектрографа вызывают одинаковые смещения для всех участков спектра и во всех поляризациях и поэтому могут быть легко вычтены в последующем.

Представляется также важным полная статичность такого анализатора, увеличивающая его надежность и обеспечивающая практически неограниченный ресурс. Это обстоятельство было учтено нами в связи с планами разработки солнечного магнитографа для бортовых космических систем. Однако, как будет видно из последующего рассмотрения, такие анализаторы требуют точной взаимной калибровки оптических каналов параллельного анализа.

Оптическая схема анализатора поляризации представлена на рис. 2. Схема включает в себя входную щель, светорасщепитель, две четверть волновые

пластинки, четыре поворотных зеркала и поляризационный расщепитель. Все элементы анализатора поляризации от входной щели до поляризационного расщепителя помещены в герметичную кювету с прозрачными входным и выходным окнами и погружены в иммерсионную жидкость.

Входная щель анализатора одновременно является выходной щелью спектрографа, ограничивающей спектральный интервал анализируемого излучения.

Назначением светорасщепителя является получение трех максимально одинаковых по интенсивности пучков с минимальными искажениями поляризации. Хотя неравенство интенсивностей и искажения поляризации учитываются последующей калибровкой, требование идентичности пучков на выходе светоделителя не является излишним. Конструктивно светорасщепитель выполнен в виде прямоугольной призмы из кварца с плоско параллельными рабочими гранями. Наклон призмы по отношению к оси падающего светового пучка и ее толщина подобраны так, чтобы шаг расщепления исключал возможность взаимного блендирования выходных пучков. Коэффициенты отражения различных участков граней подобраны из требования равенства пучков по интенсивности. При подборе угла наклона призмы к пучкам и состава светоделительных отражательных покрытий учитывалось также требование минимальности искажений поляризации, хотя, как мы уже отмечали, все факторы неидеальности учитываются последующей калибровкой всей схемы.

Как видно из рис. 2, первый из пучков, выйдя из светорасщепителя, проходит непосредственно на поляризационный расщепитель, второй пучок проходит последовательно две четверть волновые пластинки, повернутые относительно друг друга на угол в 45° , а третий пучок проходит через одну четверть волновую пластинку. Комбинация четверть волновых пластинок, используемых в схеме, является типичной. Отличие состоит в том, что в известных анализаторах поляризации она возникает последовательно в результате управления анализатором поляризации. В представляемой схеме

действие анализатора не коммутируется, и анализ поляризации проводится параллельно. Отметим также, что четверть волновые пластины выполнены в варианте элементов «нулевых порядков», что определяет их широкополосность и высокую светосилу.

Назначением комбинации поворотных зеркал (M, M1, M2, M3) является компенсация разницы оптических путей в пучках, возникающей в результате разницы путей, проходимых пучками в светорасщепителе. Уравнивание оптических путей необходимо для получения последующих изображений спектра в одной плоскости.

Назначением поляризационного расщепителя является разнесение по углам излучений с ортогональной линейной поляризацией. Углы расщепления рассчитаны так, чтобы в последующем изображения спектров, полученные в разных поляризациях, строились без взаимного блендирования (наложения). Поляризационный расщепитель, являющийся анализатором линейной поляризации, выполнен из шпата. Конструкция таких расщепителей также хорошо известна в практике поляризационных измерений.

Комбинация четверть волновых пластин и анализатора линейной поляризации дает при идеальном исполнении этих элементов следующие интенсивности в каждом из шести пучков на выходе анализатора поляризации:

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| (1) $J + Q$ | (3) $J + V$ | (5) $J + U$ |
| (2) $J - Q$ | (4) $J - V$ | (6) $J - U$ |

Здесь J, Q, V, U - параметры Стокса в соответствии общепринятыми обозначениями [5]. Для получения четырех параметров Стокса J, Q, V, U, определяющих полный вектор Стокса, в принципе достаточно четырех линейно независимых комбинаций интенсивностей. Тем не менее, используются именно шесть представленных комбинаций. Причина заключается в том, что выражения (1)-(6) позволяют получить наиболее важные для оценки эффекта Зеемана параметры (Q, V, U) путем соответствующих вычитаний интенсивности в каналах регистрации, что в свою очередь позволяет эффективно исключить из конечных результатов любые аддитивные помехи,

способные приводить к систематическим ошибкам. Такой способ улучшения соотношения сигнал/шум аналогичен по своей природе модуляционному способу, который реализуется в последовательных схемах анализа.

Высота всех элементов анализатора поляризации, начиная от входной щели и кончая поляризационным расщепителем, рассчитывается такой, чтобы обеспечить прохождение изображения спектра высотой 20 мм. Поскольку фокусные расстояния коллиматорного и камерного зеркал спектрографа одинаковы, то это соответствует ~ 200 угловых секунд на изображении солнечного диска (при фокусном расстоянии телескопа ~ 17 метров).

Использование иммерсионной жидкости, в которую погружены элементы анализатора поляризации, преследует сразу две цели: уменьшает уровень интенсивности лучей, отраженных от прозрачных граней, и сохраняет от пылинок поверхности элементов. Последнее является особенно важным для параллельных схем анализа, поскольку пылинки способны нарушить идентичность условий распространения пучков, в том числе и после калибровки. Что касается уменьшения влияния отраженных от граней пучков, то это особенно важно для уменьшения интерференционных эффектов в плоскопараллельных поляризационных пластинах.

Коэффициент преломления иммерсионной жидкости, в качестве которой использовано вакуумное масло, весьма близко совпадает с коэффициентом преломления кварца, из которого изготовлено большинство элементов анализатора поляризации.

Назначением последующей схемы (на рис. 2), содержащей объектив 1, диафрагму, объектив 2 и П.З.С.-камеру, является получение и регистрация изображения спектра на выходе спектрографа, отдельно в шести вариантах, соответствующих шести комбинациям интенсивности в различных поляризациях, описываемых выражениями (1) – (6). Дополнительными функциями комбинации объективов 1 и 2 является согласование масштабов изображения спектра на выходе спектрографа с размерами приемной матрицы П.З.С.-камеры и угловая фильтрация излучения. Требуемое согласование

масштабов осуществляется за счет выбора фокусных расстояний объективов 1 и 2. Роль углового фильтра играет комбинация объектива 1 и диафрагмы, установленной в его задней фокальной плоскости. Назначением углового фильтра является отсекание рассеянного света и бликов.

На рис. 3 представлены изображения спектров, регистрируемых основной П.З.С.-камерой. На рис. 3а представлено изображение анализируемого спектрального участка в первом варианте спектромагнитографа. На рис. 3б то же самое для второго варианта спектромагнитографа. Расширение спектрального участка позволяет получать данные о воздействии магнитного поля сразу на две фотосферные магнитоактивные линии нейтрального железа: FeI λ 6301,5 Å и λ 6302,5 Å. Кроме того, в зоне регистрации оказываются еще две линии атмосферного кислорода: O₂I λ 6302,0 Å. и λ 6302,76 Å. Регистрация атмосферных молекул в данной схеме магнитографа имеет важное значение. Они играют роль точек отсчета (реперов) при определении доплеровских смещений солнечных спектральных линий а также используются в процедурах калибровки.

Отметим, что, несмотря на принятые меры по уравниванию интенсивности пучков в различных каналах (подбор коэффициентов деления в расщепителе и т.д.) непосредственное использование данных детектирования интенсивности для последующей оценки компонент вектора Стокса с требуемой точностью не удастся. Причиной тому является не только неидентичность условий распространения излучения по сечению пучков, но и существенная неидентичность приемных элементов П.З.С.- матрицы – пикселей. Это та самая обратная сторона медали, с которой приходится иметь дело при использовании схем параллельного спектрально-поляризационного анализа. Получение данных об интенсивностях требует специальной калибровочной процедуры, включающей дополнительные эксперименты и тщательный анализ с привлечением специально разработанных для этой цели алгоритмов. Основной целью калибровочных процедур является учет пространственных особенностей всей регистрирующей схемы магнитографа и

получение возможности сопоставления “истинных”, “неиспорченных” схемой распределений интенсивностей. В силу специфики предварительной обработки данных спектромагнитографов, ее описанию будет посвящена следующая статья [6]. В качестве иллюстрации необходимости и эффективности предварительной обработки данных на рис. 3в представлены изображения анализируемого спектрального интервала после обработки.

5. Вместо заключения и выводов.

Предмет и содержание представленной статьи не дает оснований для формулировки обоснованных выводов. Первые, сугубо предварительные выводы могут быть сделаны только по результатам калибровки новой схемы спектромагнитографа. Все положительные результаты схемы пока только анонсировались. Однако их реализация во многом связана с решением не столько технических, сколько математических проблем.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ 07-02-00333)

Список литературы

1. Кожеватов И.Е., Руденчик Е.А., Черрагин Н.П., Иошпа Б.А. Куликова Е.Х., Безрукова Е.Г. , Новая система управления для башенного солнечного телескопа ИЗМИРАН. I. Гид., Приборы и техника эксперимента, 2000, № 1, 120-124
2. Кожеватов И.Е., Руденчик Е.А., Черрагин Н.П., Иошпа Б.А. Куликова Е.Х., Безрукова Е.Г. Новая система управления для башенного солнечного телескопа ИЗМИРАН II Компенсатор дрожаний изображения Солнца, Приборы и техника эксперимента, 2000, № 1, 125-130
3. Кожеватов И.Е., Обридко В.Н., Руденчик Е.А., Черрагин Н.П., Куликова Е.Х. Солнечный спектромагнитограф, Приборы и техника эксперимента, 2002, N 1, 107-112
4. Кожеватов И.Е., Руденчик Е.А., Черрагин Н.П., Иошпа Б.А., Куликова Е.Х., Калибровка спектромагнитографа ИЗМИРАН, Приборы и техника эксперимента, 2004, № 5, 1-10
5. Борн М., Вольф Э., Основы оптики. – М.: Изд. «Наука», 1970, с. 55
6. Unno W., Line formation of a normal Zeeman triplet. – Publications of Astronomy Society of Japan, 1956, v. 8, с.108-116.

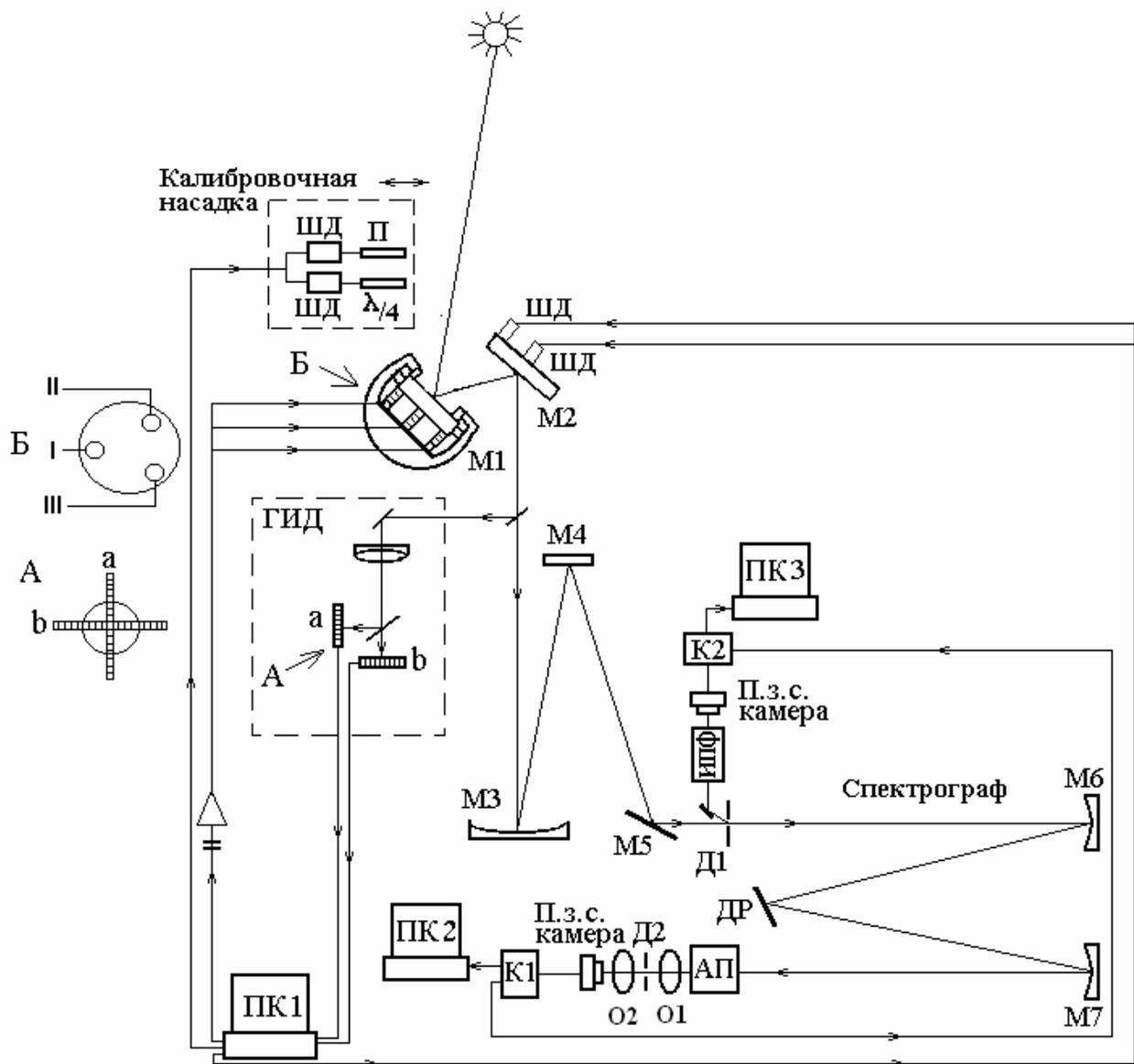


Рис. 1 Функциональная схема спектромагнитографа ИЗМИРАН.

Телескоп: М1 – целостатное зеркало, М2 – дополнительное зеркало, М3 – главное зеркало, М4 – Ньютоновское зеркало, М5 поворотное зеркало,
 Гид: а, b – П.З.С.-линейки, ШД – шаговые двигатели, I, II, III (рис. Б) – пьезострикционные элементы, ПК1 – компьютер управления телескопом.
 Спектрограф: Д1 – входная щель, М6 – коллиматорное зеркало, ДР – дифракционная решетка, М7 – камерное зеркало, Д2 – выходная щель.
 Основной канал регистрации: АП – анализатор поляризации, О1, О2 – блок согласования масштабов, П.З.С.-камера, К1 – контроллер, ПК2- компьютер.
 Канал оптической привязки данных: Д1 – зеркальная щель, ИПФ – интерференционно-поляризационный фильтр, настроенный на линию H_{α} , П.З.С.-камера, К2 – контроллер, ПК3 – компьютер для получения изображения в линии H_{α} .
 Калибровочная насадка: П- поряризатор, $\lambda/4$ - четверть волновая пластинка, ШД – шаговые двигатели.

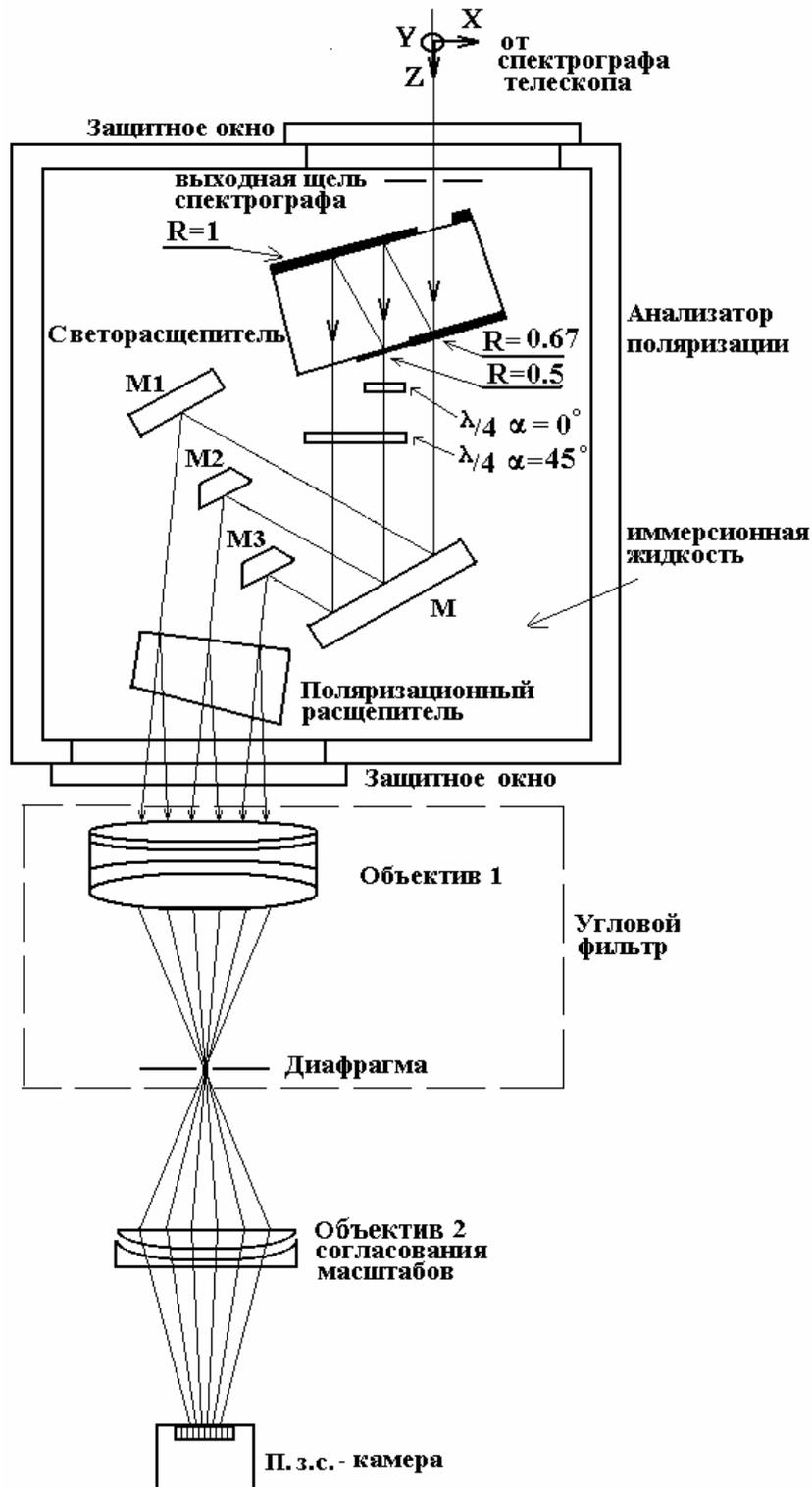


Рис. 2. Анализатор поляризации параллельного типа.

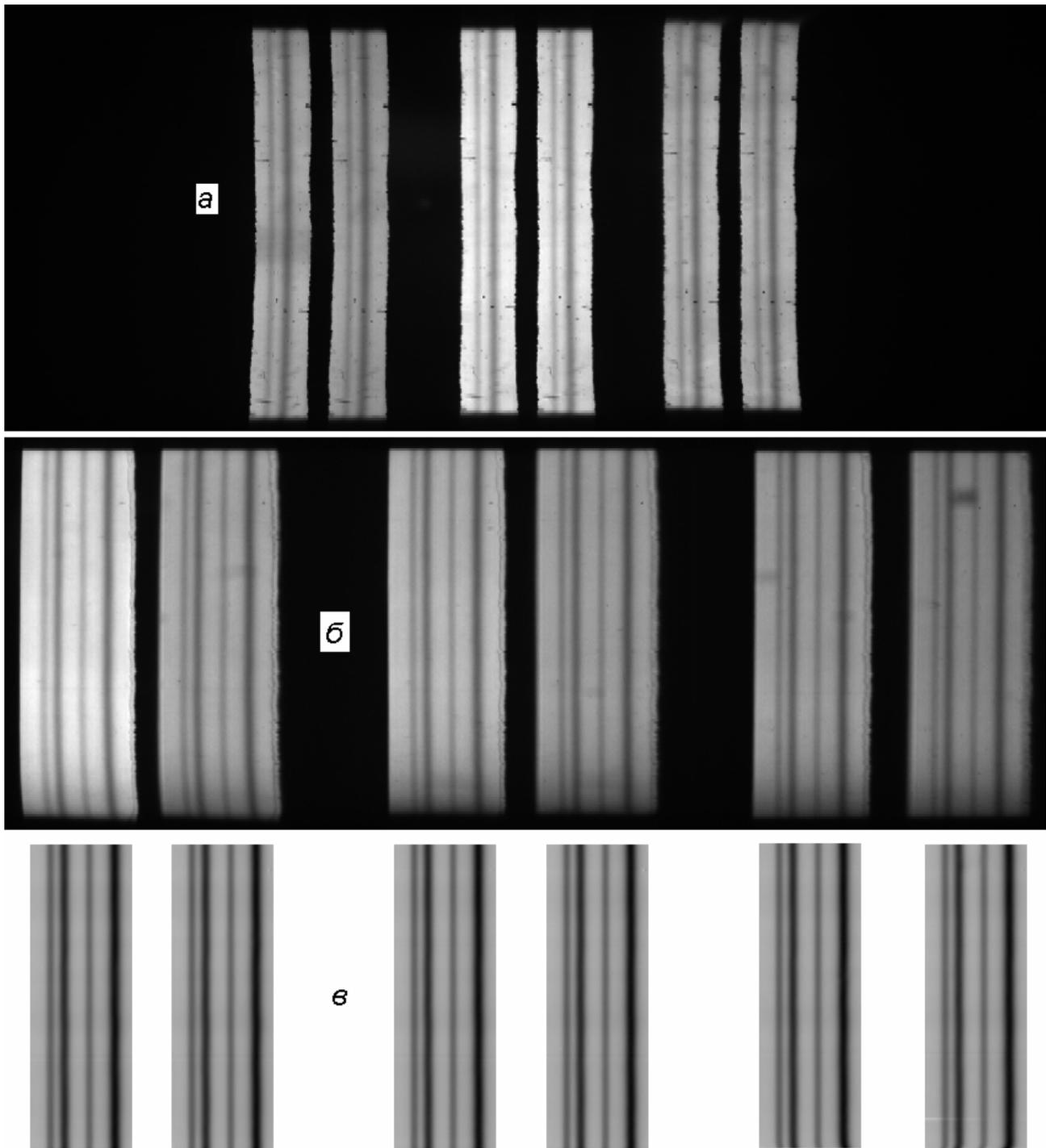


Рис.3

Примеры регистрируемых интенсивности в первой (а) и второй (б) версиях спектромагнитографа; в) интенсивность после предварительной обработки.