

Отзыв официального оппонента

Куценко Александра Сергеевича

на диссертационную работу Березина Ивана Александровича

“Прогноз скорости солнечного ветра по данным наземных наблюдений Солнца”,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.1. - физика космоса, астрономия.

В диссертационной работе описывается комплекс подходов и методов, направленный на создание рутинного прогноза солнечного ветра на орбите Земли. Именно поток частиц, испускаемых Солнцем, является основным агентом космической погоды, вызывающим геомагнитные бури. Своевременность и актуальность работы трудно переоценить, поскольку сейчас происходит активное освоение арктических зон, где геомагнитные бури приводят к наиболее серьезным негативным последствиям для инфраструктуры. С другой стороны, описанный в работе подход к прогнозированию опирается на наземные патрульные наблюдения Солнца, которые возможно проводить на относительно дешевых инструментах. Следовательно, прогноз не зависит от данных космических аппаратов, доступ к которым может быть потерян.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении формулируются основные моменты, касающиеся цели работы, актуальности, новизны и значимости. Здесь же представлены основные положения, выносимые на защиту, и список публикаций по теме диссертации. В списке 10 рецензируемых статей в довольно солидных изданиях, что, насколько мне известно, значительно превышает требования к количеству публикаций, предъявляемые к соискателям кандидатской диссертации. В большинстве статей Иван Александрович является первым автором.

Не могу не отметить комплексность, полноту и фундаментальность работы. Прогноз солнечного ветра обычно выполняется большими научными командами и подразумевает выполнение целого ряда действий. Первоначально проводятся наблюдения Солнца с регистрацией корональных дыр и возможных корональных выбросов массы (КВМ), измерение магнитного поля всего диска на уровне фотосферы или хромосферы. На следующем этапе выполняется моделирование коронального магнитного поля для нахождения открытых силовых линий и проводятся расчеты распространения солнечного ветра от (обычно) выбранной сферы в окрестности Солнца (т.н. поверхность источника) до орбиты Земли. В расчеты вносятся возмущения, связанные с КВМ. Методы и модели для выполнения каждого шага этого алгоритма представлены в диссертации.

В первой главе описывается инструмент и методика для измерения фотосферного магнитного поля всего диска Солнца, что далее используется для создания синоптических карт, необходимых для экстраполяции коронального магнитного поля. Во второй главе представлена модель для оценки магнитного поля в короне и для расчетов распространения солнечного ветра в гелиосфере. Третья глава посвящена методу регистрации КВМ с помощью наземных хромосферных телескопов. Заметна основательность в подготовке рукописи. Так, например, первая глава начинается с описания формирования спектральных линий в намагниченной плазме звезд и эффекта Зеемана. Во второй главе описываются различные модели для экстраполяции коронального поля и расчетов потоков солнечного ветра, сопоставляются их преимущества и недостатки. Как

результат, для каждого исследуемого вопроса в диссертации для читателя формируется довольно полная картина. Список использованных источников, включающий 156 наименований, показывает ответственный подход к подготовке рукописи.

Новые результаты присутствуют во всех частях работы. Наиболее интересные из них, на мой взгляд, представлены в третьей главе. Предложенный подход к оценке параметров эруптивных волокон имеет ряд преимуществ по сравнению с наблюдениями, скажем, фильтрографами в УФ диапазоне или с помощью коронографов. Хромосферные наблюдения, пожалуй, один из немногих способов, позволяющий измерить скорости волокон на самых ранних этапах подъема. Перспективным представляется использование предвестников эрупции, описанных в работе, для заблаговременного прогноза КВМ.

Хочу отметить многогранность исследования. Работа включает разработку методов анализа данных наблюдений с учетом инструментальных особенностей телескопов, интерпретацию наблюдений, усовершенствование теоретических моделей и проведение численных расчетов. Все представленные выводы являются обоснованными, а их достоверность не вызывает сомнений, что подтверждается, например, хорошим согласием конечного продукта всей работы - прогноза скорости солнечного ветра - с реальными наблюдениями в точке L1. Полученные в исследовании результаты должны стать научной основой для создания единой отечественной службы космической погоды, что также показывает практическую ценность работы.

По моему мнению, работа не лишена ряда недостатков:

1. В тексте присутствует некая путаница касательно определения различных состояний солнечного ветра (СВ). Во введении указывается, что "СВ непрерывно истекает из солнечной короны со скоростью 300-800 км/с и состоит из двух основных компонент: спокойный или стационарный ветер и корональные выбросы массы". По-видимому, имеет место несогласованность понятий в русско- и англоязычной литературе. СВ, не связанный с КВМ, обычно разделяется на медленный (slow, 300-500 км/с), источником которого предположительно являются стримеры, формирующиеся над замкнутыми магнитными петлями, и быстрый (fast, 500-800 км/с), истекающий из корональных дыр. Эти компоненты СВ показывают разную плотность, температуру и химический состав. Стримеры в рукописи лишь упоминаются в третьей главе в связи с цитированием публикации. Поскольку диссертация посвящена прогнозу солнечного ветра, кажется более корректным было бы подробнее описать картину СВ.
2. На с. 36 в разделе 1.3.6. "Приближение слабого поля" приводится описание метода центра тяжести для измерения величины продольного магнитного поля из наблюдаемых параметров Стокса $I \pm V$. Метод центра тяжести, в отличие от приближения слабого поля, не показывает насыщения в сильных магнитных полях и может применяться для любых величин магнитного поля, наблюдающихся на Солнце. Следовательно, описание метода должно быть вынесено из указанного раздела.
3. В разделе 1.7 "Восстановление крупномасштабного магнитного поля методов аппроксимации I-профилей Стокса" стоило уделить больше внимания недостаткам предлагаемого метода. Само название раздела некорректно -

фактически аппроксимируются профили Стокса I+V и I-V. Профили не являются симметричными и представляют собой комбинацию профилей Фойта. Асимметрия хорошо видна на аппроксимации на рис. 1.9. Величина асимметрии будет зависеть от величины магнитного поля и углом между вектором поля и лучом зрения. Совокупность этих факторов приведет к тому, что зависимость между продольным магнитным полем и измеряемым расщеплением будет нелинейной и, скорее всего, будет давать разные оценки продольного поля в зависимости от наклона вектора поля. Частично эти недостатки компенсируются не очень высоким спектральным разрешением, что приводит к "размытию" профиля Фойта инструментальной функцией, и небольшими значениями измеряемого крупномасштабного магнитного поля.

4. На с.50 описывается коррекция эффекта проекции на синоптических картах: измеряемое продольное магнитное поле делится на синус широты для получения оценки радиального поля. На самих картах экватор соответствует нулю градусов широты, следовательно, синус должен быть заменен на косинус или должна быть изменена система гелиографических координат.
5. В тексте встречаются опечатки и ряд мелких редакторских ошибок. Например, на с. 35 в разделе 1.6.2. говорится "...для линии Fe I ($g=3$) режим сильного поля..." Явно не указано и из контекста не следует, какая именно линия железа имеется ввиду (скорее всего 5250 Å).

Указанные недостатки никак не снижают высокую научную и практическую ценность работы. Полагаю, что диссертация заслуживает наивысших оценок и полностью соответствует требованиям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. Соискатель показал высокую научную квалификацию и полностью заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. - физика космоса, астрономия.

Старший научный сотрудник
лаборатории физики Солнца
Крымской астрофизической обсерватории РАН
(298409, Республика Крым,
Бахчисарайский р-н, пгт. Научный)
канд. физ.-мат. наук
alex.s.kutsenko@gmail.com +7-978-020-30-56

С.у.

А.С. Куценко

11.03.2024

Подпись с.н.с. ЛФС Куценко А.С. *заверяю*
начальник отдела кадров



А.С. Семенова

11.03.2024