

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Малютина Виктора Александровича
на тему «Оптическое излучение солнечной хромосферы во время
вспышек»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Диссертация В.А. Малютина посвящена анализу оптического излучения хромосферы Солнца в процессе солнечных вспышек. Изучение физики явлений, сопровождающих солнечные вспышки, имеет не только фундаментальное значение, но и сугубо прикладной аспект в контексте солнечно-земных связей, поэтому **тема диссертации, безусловно, актуальна.** Рассматривая область хромосферы, которая подверглась воздействию электромагнитного и корпускулярного излучения вспышки, в виде совокупности нескольких плоско-параллельных слоев, диссертант определяет физические параметры этих слоев: толщину, температуру, плотность и скорость микротурбулентности.

Параметры определяются из сравнения расчетных и наблюдаемых потоков в некоторых линиях водорода, He I и Ca II для пяти, ранее не изученных солнечных вспышек, **что определяет новизну диссертации.**

Для вычисления теоретических потоков в спектральных линиях диссертант в рамках не-ЛТР подхода решает систему уравнений баланса с учетом основных элементарных процессов заселения и опустошения дискретных уровней. Выбор атомных данных и методика решения уравнений баланса в целом представляется мне вполне разумной, поэтому *в рамках использованного подхода* **полученные В.А. Малютиным выводы и вынесенные на защиту положения представляются мне обоснованными и достоверными.**

Я не являюсь специалистом в области физики солнечных вспышек, поэтому не берусь судить, насколько полученные диссертантом результаты,

существенны для понимания феномена в целом. Однако у меня имеются критические замечания относительно модели, применяемой автором для определения параметров анализируемых явлений. Вначале два общих замечания:

- 1) Для сравнения с расчетами используются данные о потоках в спектральных линиях $H\alpha$, $H\beta$, $Ca II H$ и 8542, а также в триплетной линии $He I 5876$ (переход $^3P - ^3D$). Однако в диссертации ничего не сказано о наличии или отсутствии других линий в исследуемых спектрах, особенно, синглетной линии $He I 6678$ (переход $^1P - ^1D$). Если она не видна, то почему для анализа не используется верхний предел ее потока?
- 2) Один из параметров используемой модели - вероятность выхода кванта, которая зависит от величины, называемой диссертантом "турбулентной скоростью v " (стр.39). Во многих случаях (см. ниже) величина v оказывается существенно больше скорости звука. По этому поводу автор пишет (стр.67): "В рамках нашего подхода турбулентная скорость в данной вспышке является формальным параметром. В частности, большое значение этой скорости может свидетельствовать о расширении оболочки, либо об ее испарении." Иными словами, говорится, что в этих случаях вероятность выхода кванта определяется градиентом крупномасштабной скорости, т.е. фактором, который в модели не учитывается. С другой стороны, рассчитываемая вероятность, согласно формуле (2.11), зависит от плотности и температуры, которые определяют форму локального профиля спектральной линии. Следовательно, пренебрежение градиентом скорости должно влиять на другие параметры модели слоев. Возникает вопрос: насколько велико это влияние?

Конкретные замечания по разделам:

Раздел 3.1

1) На левой панели Рис. 3.2 необходимо показать положение линии $H\alpha$ невозмущенной области, поскольку без этого нельзя понять кинематику протуберанца.

2) Для определения параметров протуберанца используются 5 спектральных линий: $H\alpha$, $H\beta$, $CaII H$, $Ca II 8542$, $HeI 5876$. Но в Табл. 1 приведены потоки только для первых трех линий, а про две других сказано, что они не видны. Следовало бы указать ошибки потоков наблюдаемых линий и верхние пределы ненаблюдаемых линий, тем более, что протуберанец не виден на изображении в линии $H\alpha$, т.е. на правой половине Рис. 3.2. Без этого не понятно, почему параметры модели "подбирались таким образом, чтобы теоретические потоки отличались от наблюдаемых не более, чем на 0.3%" — стр. 56.

3) Настораживает, что турбулентная скорость движения газа в протуберанце в несколько раз превышает скорость звука. Диссертант пишет, что это возможно, если в рассматриваемой области имеется магнитное поле с индукцией " $H \approx 30$ Гс" — стр. 57. Во-первых, не меньше, а больше. А, во-вторых, магнитное поле не позволяет возникнуть ударной волне только в том случае, если соответствующую величину имеет компонента поля, перпендикулярная вектору скорости. Поскольку в данном случае речь идет о якобы турбулентной скорости, то и поле должно быть хаотичным. Возникает вопрос: а наличие такого поля, действительно, наблюдается в протуберанцах? Или все-таки имеет место градиент макроскопической скорости? Таким образом вопрос о кинематике в исследуемой области имеет принципиальное значение.

4) На стр. 60 утверждается, что авторы [118], используя те же наблюдательные данные, что и диссертант, получили результаты, сравнимые "с нашими данными из табл. 2." Но турбулентная скорость в [118] почти

вдвое отличается от указанной в табл.2, при декларированной (на странице 60) ошибке 0.4 км/с.

Раздел 3.2

1) На рис. 3.9 необходимо указать ошибки определения потоков, тем более, что оценка параметров существенным образом основана на отношении этих потоков.

2) Диссертант отмечает, что "турбулентная скорость" для одного из двух слоев аномально высока: согласно Табл.4 она достигает 90 км/с, что на порядок больше скорости звука. На стр.67 сказано: "Большая величина микротурбулентной скорости может свидетельствовать о существовании направленного движения газа, скорость которого можно было бы проанализировать для направления вдоль щели, однако это требует отдельного рассмотрения." Не понимаю, о каком "отдельном рассмотрении" идет речь, но показать на рисунке, как меняются профили линий вдоль щели, по-моему, было необходимо. Или хотя бы усредненный по щели профиль в исследуемой области, как это сделано на рис. 3.21 для другой вспышки.

Раздел 3.3

1) На рис. 3.13 и 3.15 необходимо указать ошибки определения потоков.

2) На стр.75 отмечено, что теоретическое значение потока в линии He I 5876 очень чувствительно к величине температуры. Это так, если считать, что первые возбужденные триплетные уровни гелия накачиваются электронным ударом. Однако в случае вспышки 01.10.2015 анализируемые оптические спектры были получены вблизи максимума рентгеновского излучения вспышки, поэтому не очевидно, что населенность уровня $1s2s\ ^3S$ атома гелия определяется электронным ударом, а не в результате рекомбинаций He II, который возник при ионизации гелия потоком УФ излучения. По-моему, следовало бы оценить эффективность этого конкурирующего процесса. Кстати сказать, судя по рис. 3.12, нельзя

исключить, что поток ионизирующего He I излучения в области 25-200 Å заметно больше, чем в диапазоне 0.5-8 Å, показанном на рисунке.

3) Явно не хватает рисунка, с изображением профилей линий, учитывая, что величина "турбулентной скорости" в отдельные моменты на порядок больше скорости звука — см. Табл. 7.

Раздел 3.4

1) На рис. 3.20 необходимо указать ошибки определения потоков.

2) На рис. 3.21 ось абсцисс следовало бы указать не в длинах волн, а в скоростях.

3) В событиях 27.04.2012 и 11.05.2012 оптический спектр получен в период максимума вспышки, поэтому и тут возникает вопрос о рекомбинационном характере возбуждения линии He I 5876 Å.

К оформлению диссертации у меня нет претензий: таблицы и рисунки соответствуют тексту и дополняют его, текст написан достаточно ясно. Сделаю только одно замечание: непонятно, что означает выражение "редукция потоков" — см., например, стр. 61, 87 и подписи к рис. 3.3 и 3.18.

Подводя итог вышеизложенному считаю, что в целом достоинства диссертации перевешивают ее недостатки. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Малютин Виктор Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник (ученое звание), ведущий научный сотрудник лаборатории новых фотометрических методов Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Ламзин Сергей Анатольевич

27 апреля 2026 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 9391663, e-mail: lamzin@sai.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия

Адрес места работы:

119234, г. Москва, Университетский пр., д. 13,
ГАИШ МГУ, лаборатория новых фотометрических методов
Тел.: +7 (495) 9392046; e-mail: director@sai.msu.ru

Подпись сотрудника МГУ С. А. Ламзина удостоверяю:
Начальник отдела канцелярии ГАИШ МГУ

Л. Н. Новикова
27 апреля 2026 г.