

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Каляшовой Марии Евгеньевны «Скопления молодых массивных звезд как источники космических лучей и нетеплового излучения», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия.

Диссертация Каляшовой М.Е. посвящена интересным галактическим источникам космических лучей (КЛ) высоких энергий и связанного с ними гамма-излучения – молодым массивным звездным скоплениям. Исследование компактных и разреженных скоплений молодых массивных звезд является важной и актуальной астрофизической задачей, т.к. многие из них – яркие гамма- и рентгеновские источники. Это прямо указывает на процессы ускорения частиц внутри таких объектов, в том числе до энергий выше петаэлектронвольт ( $1 \text{ ПэВ} = 10^{15} \text{ эВ}$ ). В автореферате Каляшовой М.Е. обоснована актуальность темы исследования, обозначены его цели, научная новизна работы, ее научная и практическая значимость, а также обоснована достоверность полученных результатов. Достаточно подробно изложено содержание всех трех глав диссертации. В диссертации рассмотрено несколько конкретных задач, объединенных общей тематикой. В первой главе рассматривается возможность того, что существенная часть КЛ с энергиями выше 100 ПэВ имеет галактическое происхождение, а именно, ускорена в массивных компактных скоплениях. Чтобы это проверить, найдены анизотропия и потоки КЛ от таких источников. Во второй главе построена модель ускорения и распространения протонов в звездных скоплениях, которая позволяет объяснить особенности спектров гамма-излучения некоторых скоплений. Третья глава посвящена моделированию обогащения галактических космических лучей изотопом  $^{22}\text{Ne}$  в предположении, что источник значительной части – это скопления молодых массивных звезд. Такие скопления содержат популяции звезд Вольфа-Райе, чьи ветры характеризуются высоким содержанием  $^{22}\text{Ne}$ . Это позволяет объяснить одну из астрофизических проблем – проблему избытка  $^{22}\text{Ne}$  в космических лучах.

В то же время хотел бы сделать некоторые замечания по тексту автореферата, а именно:

Глава 1. При рассмотрении анизотропии КЛ делается утверждение, что учёт регулярного магнитного поля Галактики “мало влияет на результат”. Но этот учёт, как написано, даёт вклад до 30%, тогда как сама анизотропия находится на уровне нескольких % ?

- Что понимается под эффективностью ускорения КЛ ?

Глава 2. Индекс функции Макдональда почему-то называется в работе “показателем” (см. стр. 11), что не является общепринятым термином.

В работе принимается эффективность конверсии механической энергии в КЛ – 3%. Однако по расчётам Птускина и Зиракашвили эта величина может достигать до 30% для одиночных УВ. Приемлема ли такая оценка с точки зрения рассматриваемых моделей ускорения множественными УВ в скоплениях?

Глава 3. На странице 14 автореферата говорится о “скорости начального вращения 0, 150 км с<sup>-1</sup>, 300 км с<sup>-1</sup>”, хотя правильнее говорить об угловой скорости вращения звезды, т.к. “скорости начального вращения” зависят от радиуса.

При объяснении отношения  $^{22}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}$  в ускоренных частицах неясно, учтена ли в работе какая-либо зависимость процесса ускорения от заряда и массы частиц. Дело в том, что в

СКЛ такая аномалия действительно наблюдалась (пока только для единственной солнечной вспышки) и объяснялась именно упомянутой зависимостью при ускорении на Альвеновской турбулентности. И чем выделен именно изотоп неона? По-видимому, схожая аномалия может иметь место и для изотопов других элементов.

Таким образом, автореферат Каляшовой М.Е. в полной мере отражает содержание диссертационной работы. Несмотря на высказанные замечания и вопросы по работе, считаю, что Каляшова М.Е. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия.

Остряков В.М.

д. ф.-м. н., профессор Физико-Механического института

ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29

телефон: 8(921)402-89-95

e-mail: Valery.Ostryakov@mail.ioffe.ru

Дата, подпись:

10.04.2023 г.

Подпись В.М. Острякова заверяю: