Ноябрь 2026 г. *Том 196, № 11*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

PERSONALIA

Андрей Михайлович Быков

(к 70-летию со дня рождения)

PACS number: **01.60.+q** DOI: https://doi.org/10.3367/UFNr.2026.10.040222

22 октября 2026 года исполнилось 70 лет известному физику и астрофизику академику Российской академии наук (РАН) Андрею Михайловичу Быкову.

А.М. Быков родился в Ташкенте, в семье астронома Михаила Фёдоровича Быкова. С отличием окончил Физико-механический факультет Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина по специальности физика (ЛПИ; ныне — Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого). В 1978 – 1990 гг. — научный сотрудник и преподаватель кафедры теоретической и математической физики ЛПИ. С 1990 г. по приглашению Д.А. Варшаловича работает в Физико-техническом институте (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе РАН в Санкт-Петербурге и руководит Лабораторией астрофизики высоких энергий и Отделением физики плазмы, атомной физики и астрофизики ФТИ. В 1992 г. защитил докторскую диссертацию "Теория формирования спектров МГД-флуктуаций и нетепловых заряженных частиц в межзвёздной среде".

В конце 1970-х годов в работах Г.Ф. Крымского и А.Белла было показано, что ускорение Ферми первого порядка на фронтах плоских ударных волн (УВ) сопровождается формированием степенного спектра заряженных частиц. Показатель наклона спектра для сильных ударных волн определяется степенью сжатия плазмы, то есть является универсальным. Этот результат во многом определил развитие в мире теории ускорения космических лучей на последующие полвека.

По предложению научного руководителя профессора И.Н. Топтыгина, А.М. Быков (далее АМ) в своей дипломной работе занялся рассмотрением проблемы формирования спектров частиц в системах с множественными УВ. Ансамбли ударных волн, в частности, реализуются в звёздных скоплениях, где есть молодые звёзды с мощными ветрами и где происходят вспышки сверхновых звёзд. Кинетическая теория диффузионного ускорения частиц ансамблями ударных волн была развита АМ в дипломной работе и в последующих совместных с И.Н. Топтыгиным публикациях. Диффузионный механизм ускорения частиц основан на наличии турбулентных магнитных полей в окрестности бесстолкновительной УВ. АМ решил задачу о деформации фронта бесстолкновительной УВ при её распространении в турбулентной среде, определил статистические характеристики размытия фронта и применил решение к описанию рассеяния излучения на фронтах УВ в межзвёздной среде.

Исследования сильной турбулентности в астрофизических объектах с мощным выделением энергии в форме УВ и крупномасштабных течений потребовали развития аппарата кинетической теории переноса и ускорения частиц с конечным изменением импульса на длине корреляции турбулентности (т.е. выхода за пределы приближения Фоккера – Планка). АМ и И.Н. Топтыгин представили решение этой задачи в виде кинетических уравнений, полученных путём перенормировки кинетических коэффициентов. Ренормированные коэффициенты находят как решения системы трансцендентных уравнений. Этот результат вошёл в докторскую диссертацию АМ (1992 г.) и в обзор в соавторстве с И.Н. Топтыгиным в журнале *Успехи физических наук* (*УФН* **163** (11) 19 (1993)), который



Андрей Михайлович Быков

востребован и сегодня. Уравнения переноса частиц в фазовом пространстве позволяют строить аналитические модели спектров частиц, которые, как правило, ограничены простой геометрией задачи.

АМ с коллегами исследовал ускорение частиц в компактных скоплениях молодых массивных звёзд, где в ядре скопления сталкиваются мощные ветры звёзд типа Вольфа – Райе, О и В. Такие системы формируют множественные УВ и сильно перемежаемые течения плазмы. Показано, что УВ могут усиливать слабые магнитные поля ветров (в образуемых ими волокнистых структурах) до напряжённостей порядка миллигаусса. Суперкомпьютерные модели компактных скоплений, основанные на наблюдаемой популяции молодых массивных звёзд и прямом расчёте траекторий релятивистских частиц, подтвердили процесс ускорения ядер до энергий выше 100 ТэВ. Сверхновые звёзды, вспыхивающие в таких скоплениях, могут ускорять протоны до энергий свыше ПэВ (10^{15} электронвольт). Эти предсказания согласуются с наблюдениями компактных скоплений типа Вестерлунд I и II и указывают на возможность детектирования высокоэнергичных нейтрино от источников.

С коллективом создателей Комптоновской обсерватории (Compton Gamma Ray Observatory, CGRO) АМ участвовал в интерпретации данных МэВ-ного излучения телескопа COMPTEL GRO. Им было впервые показано, что широкие гамма-линии, излучаемые ускоренными до энергий в десятки

МэВ ядрами кислорода и углерода, должны быть расщеплены на несколько более узких компонент и часто не имеют пика на номинальном значении энергии гамма-перехода ядра.

Столкновение МГД-потоков имеет место не только в скоплениях молодых звёзд, но и в целом ряде других астрофизических объектов. Примеры включают сверхзвуковые нейтронные звёзды – пульсары с головной УВ, а также двойные звёздные системы, в которых пульсар с мощным релятивистским ветром имеет в компаньонах массивную звезду раннего спектрального класса (например, двойной гамма-источник LSI+61°303). Такие объекты уникальны тем, что в них частицы высоких энергий могут доускоряться в сталкивающихся МГД-потоках. АМ показал, что в указанных объектах может быть реализован особый сценарий диффузионного ускорения Ферми с формированием очень жёсткой компоненты спектра в области максимальных энергий ускоренных частиц. В таком сценарии может быть достигнута максимальная эффективность передачи мощности МГД-течения в область спектра с предельными энергиями ускоренных частиц. Этот вывод был подкреплён нелинейными кинетическими расчётами и моделями Монте-Карло систем. Детальные наблюдения двойной системы LS 5039 действительно показывают "ужестечение" спектра её синхротронного излучения на энергиях от десяти кэВ до мягкого гамма-излучения.

На основе сценария ускорения частиц в сталкивающихся МГД-течениях АМ с коллегами построена теория формирования спектров позитронов и антипротонов, ускоряемых головной УВ релятивистского ветра пульсаров, которые движутся со сверхзвуковой скоростью относительно межзвёздной среды. Основанная на этой теории модель позволяет интерпретировать наблюдаемые детектором AMS-02 "аномальные" потоки позитронов с энергиями ниже ТэВ, а также одинаковый наклон спектров антипротонов и позитронов. Поиск антиматерии в космосе, включая антиядра гелия и др. в потоках космических лучей детектируемых AMS-02, в сфере текущих интересов АМ.

После запуска рентгеновских обсерваторий Beppo-SAX, Chandra, XMM-Newton, INTEGRAL и "Спектр-РГ" АМ занялся детальным моделированием процессов ускорения частиц и механизмов усиления магнитных полей в остатках сверхновых и межгалактической среде скоплений галактик с множественными ударными волнами. Синхротронное рентгеновское и гамма-излучение электронов, ускоренных до энергий выше 10 ТэВ, формируется в оболочках молодых сверхновых и в пульсарных туманностях, созданных посредством торможения релятивистского пульсарного ветра за световым цилиндром пульсара. Особенность моделирования таких систем заключается в необходимости учёта сильно турбулентного характера магнитного поля. АМ показал, что даже в изотропной турбулентности обязательно учитывать не только хаотичность направления локального магнитного поля, но и дисперсию амплитуд флуктуаций, что приводит к существенной модификации спектра излучения, особенно в области завала спектра. Учёт сильных флуктуаций поля позволил построить модель аномально сильных вариаций синхротронного гамма-излучения Крабовидной туманности, открытого обсерваторией им. Э. Ферми в 2012 г.

Турбулентный характер магнитного поля приводит к существенным особенностям поляризации синхротронного излучения космических источников. В частности, степень поляризации высокоэнергичного излучения (для которого эффект Фарадея практически отсутствует) в турбулентных оболочках сверхновых может заметно превышать 10 %. Сильные флуктуации магнитного поля в потоке плазмы, натекающей на фронт УВ, могут быть связаны с развитием неустойчивостей тока релятивистских частиц, покидающих ускоритель. В 2024 г. АМ с коллегами построил нелинейную кинетическую модель, которая демонстрирует формирование анизотропной турбулентности за фронтом УВ и предсказывает, что направление магнитного поля, восстановленное из наблюдений позиционного угла электрического вектора излучения ускоренных на УВ частиц, должно быть ориентировано преимущественно вдоль скорости УВ. Это противоположно априорным ожиданиям наличия за фронтом УВ тангенциального к её скорости магнитного поля, которое в отсутствие анизотропной турбулентности связано с адиабатическим усилением (за счёт сжатия на УВ) поперечной к скорости УВ компоненты поля. Сверхадиабатическое усиление поля приводит к качественному изменению наблюдаемой поляризации излучения. Запущенный в 2023 г. рентгеновский поляриметр IXPE детектировал радиальную поляризацию синхротронного излучения оболочек сверхновых Тихо Браге, Кассиопея-А и SN 1006, в соответствии с моделями АМ. Коллектив IXPE использует эти модели для интерпретации данных наблюдений. Физически сходный механизм формирования анизотропной магнитной турбулентности за фронтом УВ позволил объяснить наблюдаемую поляризацию объекта совсем иной природы — микроквазара SS 433/W50 (чёрной дыры, аккрецирующей в сверхкритическом режиме). IXPE измерил поляризацию рентгеновского излучения ярких рентгеновских сгустков (так называемых "узелков"), наблюдаемых в рентгеновских джетах на расстоянии более десяти парсек от центрального источника — чёрной дыры.

Наблюдения орбитальной обсерватории "Спектр-РГ" позволили обнаружить и изучить интереснейшие крупномасштабные рентгеновские структуры в нашей Галактике, обусловленные мощными процессами выделения энергии от аккрецирующих чёрных дыр и активных областей звездообразования. АМ с коллегами из Института космических исследований (ИКИ) РАН работает над интерпретацией данных обоих телескопов (eROSITA и ART XC) на борту обсерватории "Спектр-РГ". Построенные АМ модели позволяют исследовать процессы ускорения космических лучей ПэВ-ного диапазона энергий в мощных протяжённых истечениях в центре Галактики и галактических микроквазарах SS 433/W50, V4641 Sgr, Cyg X-3 и др.

В 2019 г. А.М. Быков избран членом-корреспондентом, а в 2025 г. — академиком РАН. Член бюро Отделения физических наук РАН, Президиума Санкт-Петербургского отделения РАН и Совета РАН по космосу.

А.М. Быков разработал и читает курсы лекций в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. Сформировал в ФТИ РАН лабораторию астрофизики высоких энергий, ядром которой стали 12 воспитанных им кандидатов наук и аспирантов. Вместе с коллегами из ИКИ РАН работает над созданием комптоновского МэВ-ного телескопа нового поколения "Спектр-РГМ" и новых наземных черенковских гамма-телескопов обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma-ray Astronomy). Работает в редколлегиях журналов *Письма в Астрономический журнал*, *Прикладная нелинейная динамика* и *Space Science Reviews*.

Награждён медалью ордена "За заслуги перед Отечеством" II степени, медалями "За трудовое отличие", медалью Оптического общества имени Д.С. Рождественского, юбилейными медалями "300 лет Российской академии наук" и "300 лет Санкт-Петербурга".

Старшие и младшие товарищи Андрея Михайловича, его коллеги и ученики высоко ценят его человеческие качества: надёжность, доброжелательность, готовность всегда прийти на помощь. Про таких людей раньше говорили: "Я бы с ним пошёл в разведку".

Желаем Андрею Михайловичу доброго здоровья, благополучия и новых творческих успехов ещё на многие счастливые и плодотворные годы!

Е.Б. Александров, М.Р. Гильфанов, Л.М. Зелёный, В.В. Кведер, А.Г. Литвак, А.А. Лутовинов, В.Я. Панченко, А.А. Петрукович, К.А. Постнов, Р.А. Сюняев, С.В. Трощкий, Е.М. Чуразов