Академик Андрей Быков: «Думаю, что границы познания не существует»

09.04.2026

Чем занимается астрофизика высоких энергий? Какие объекты в космосе для нее наиболее интересны? Что чувствует ученый, разгадавший космическую загадку? Уместно ли ученому мечтать? Об этом рассуждает академик Андрей Михайлович Быков, руководитель отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, руководитель лаборатории астрофизики высоких энергий.



Андрей Михайлович Быков. Фото Ольги Мерзляковой / Научная Россия

Андрей Михайлович Быков — академик, руководитель отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, руководитель лаборатории астрофизики высоких энергий. Специалист в области исследования и моделирования астрофизических объектов с экстремальным выделением энергии, наблюдения областей активного звездообразования, сверхновых звезд, пульсарных туманностей и гамма-всплесков во всех диапазонах электромагнитного спектра, построения нелинейных кинетических моделей формирования и эволюции нетепловых источников рентгеновского и гамма-излучения, а также нейтрино высоких энергий в астрофизических объектах.

— У нас грустное начало разговора: сегодня вы узнали о смерти вашего учителя И.Н. Топтыгина. Что это был за человек и каким он был ученым?

— Для меня сегодня очень тяжелый день, это огромная личная потеря. Игорю Николаевичу в

пятницу исполнилось 95 лет. Он родился в 1931 г., на его ранние годы пришлось тяжелое испытание блокадой Ленинграда. И.Н. Топтыгин окончил физико-механический факультет Политехнического института, а затем, начиная с 1954 г., проработал на кафедре теоретической физики этого факультета более 60 лет. Он читал все курсы теоретической физики: классическую механику, электродинамику, квантовую механику, статистическую физику, спецкурсы по космической физике. Он один из двух авторов всемирно известного «Сборника задач по электродинамике», первое издание которого состоялось еще в 1962 г. Этим задачником пользуются в учебном процессе во всем мире, он переведен на несколько языков. Американская система образования использует его в своих лучших университетах. Многие поколения физиков в России и мире обучались по этой книге. Преподавание было основным делом Игоря Николаевича. Он преподавал мастерски, замечательно читал лекции, после которых уходишь одухотворенным, с полным пониманием предмета, о котором шла речь.

— Он вас вдохновлял?

— Игорь Николаевич умел понятно объяснить достаточно сложные вопросы. При этом он был замечательным ученым и высокообразованным человеком с широким кругом интересов. Его отличали цельность во всем и строгость в постановке и решении физических задач. Когда я начинал, мне это было очень важно. Игорь Николаевич формулировал свои предложения предельно четко и конкретно, не предавался фантазиям. С ним можно было обсудить любые физические задачи и получить весьма полезные соображения. Нам будет его очень не хватать. В 1966 г. он со своим учителем А.З. Долгиновым представил строгий вывод кинетического уравнения распространения космических лучей, которое используется сегодня во всем мире. Целый круг задач решают при помощи теории, которую они построили четко и последовательно. В этом году данной работе исполнится 60 лет, она стала классической. У Игоря Николаевича много книг, в частности, его труд «Космические лучи в межпланетных магнитных полях» очень важен для исследователей гелиосферы.

— Вы сказали, что Игорь Николаевич не предавался фантазиям. Мы сейчас находимся в Институте космических исследований РАН, и в этих стенах работал еще один замечательный ученый Николай Семенович Кардашев, которого называли «главным фантазером отечественной астрофизики». Он, например, всерьез мечтал о путешествиях в параллельные вселенные через «кротовые норы». Как вы относитесь к таким фантазиям?

— Я считаю, что это очень важно. Мы все разные и поэтому до сих пор живы. Если бы мы мыслили совершенно одинаково и следовали друг за другом, мы бы упали в первую же пропасть. Я уважал Николая Семеновича, и Игорь Николаевич был с ним знаком, это человек легендарный. Причем у Николая Семеновича есть и строгие работы, как у Игоря Николаевича. Это, например, работы по синхротронному излучению, которыми мы до сих пор пользуемся и которые цитируем. В них были получены чрезвычайно важные результаты. В этом они сходятся.

— А вы себя относите к каким ученым?

— Мне трудно себя куда-то отнести. Запредельными идеями не увлекаюсь, но часто оказывается: то, что казалось сначала невозможным, в итоге в той или иной форме реализуется.

— Можете привести пример того, что в вашей области казалось невозможным?

— Существование черных дыр еще не так давно отрицали. Мы как раз сейчас с коллегами из

ИКИ занимаемся конкретным случаем физики черных дыр. Какое-то время назад сама концепция черных дыр казалась удивительной, хотя еще Пьер-Симон Лаплас и другие понимали, что есть такой объект. Считалось, что мы не можем получить информацию о черных дырах, поскольку они «за горизонтом», а их наблюдение и исследование проблематичны. Уже в 1960-е гг. стало ясно, что хотя из-под горизонта черной дыры сигнал получить не представляется возможным, зато падение вещества на черную дыру вполне наблюдаемо. В ИКИ РАН работает Рашид Алиевич Сюняев, который вместе с Николаем Ивановичем Шакурой из ГАИШ построил теорию дисковой аккреции на черные дыры в двойных звездных системах, теперь используемую буквально ежедневно разными исследователями. Они показали, чего можно ожидать и что можно наблюдать. Сегодня аккреционные диски наблюдаются в различных диапазонах волн. Более того — и это ближе к моей прямой сфере деятельности, — имеет место ускорение частиц очень высоких энергий в истечениях из аккрецирующих черных дыр в Галактике.

— Поясните, пожалуйста, что это значит.

— Мы знаем, что в космосе наблюдаются частицы с энергиями много выше, чем те, которые можно ускорить в земных условиях даже на лучшем адронном коллайдере и каких-то еще установках. Это давно известно; в частности, это космические лучи. Они сыграли очень важную роль в развитии физики фундаментальных взаимодействий, ведь коллайдеры появились уже в послевоенное время. А до войны ядерная физика получала всю информацию, просто изучая взаимодействие космических лучей, которые приходят из глубин космоса, сталкиваясь здесь с атмосферой, и это давало возможность изучать, например, позитроны. Целый ряд элементарных и субатомных частиц: позитроны, мюоны и пионы, — были открыты в космических лучах до середины XX в. Конечно, когда появились коллайдеры, где есть управляемый и контролируемый эксперимент, стало возможно заглянуть глубже, но частицы самых высоких энергий на коллайдере пока еще недоступны. Поиск ускорителей этих частиц ведется разными методами. Мы знаем, что они существуют. И одним из важных результатов в космических лучах было открытие в конце 1950-х гг. академиком Г.Б. Христиансеном и доктором физико-математических наук Г.В. Куликовым из НИИЯФ МГУ нового явления, заключающегося в том, что существует некоторая особенность частиц с энергиями около нескольких петаэлектронвольт. Поток частиц космических лучей до нескольких петаэлектронвольт и поток частиц после этой энергии испытывают, как говорят, излом спектра. Это очень нетривиальная вещь. С тех пор теоретики и наблюдатели пытаются понять физику этого явления.

— Нет сомнений, что это так?

— То, что это так, уже было проверено несколько раз. Одна из возможностей — существование в Галактике неких источников частиц, которые производят частицы интересующего нас диапазона петэлектронвольт. Это 1015 эВ, очень большая энергия. Таких частиц приходит на Землю достаточно много, это не экзотика. На 1 км2 каждую минуту поступают несколько таких частиц. Но источники подобных частиц были неизвестны.

— А сейчас?

— В середине или конце прошлого года в ведущих изданиях появилось несколько статей, где излагались новые результаты, полученные на современных установках — наземных черенковских детекторах очень большой площади для наблюдения гамма-фотонов и частиц космических лучей. В Тункинской долине под Иркутском работает обсерватория TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma Astronomy, «Тункинский передовой комплекс для изучения космических лучей и гамма-астрономии»), наблюдения на которой ведут коллеги

из нескольких институтов. Такая установка есть в Намибии, в Мексике на большой высоте построена обсерватория — детектор сверхновых HAWC. Недавно в Тибете запустили установку LHAASO, и в ее работе участвуют некоторые коллеги из Института ядерных исследований. Установки расположены в Северном и Южном полушариях, они детектируют фотоны, которые приходят из разных областей. Черенковские гамма-телескопы впервые обнаружили источники фотонов с энергиями, достигающими петаэлектронвольтовых энергий в направлениях, совпадающих с положениями нескольких кандидатов в черные дыры. Мы всегда так говорим — «кандидаты», хотя есть все основания считать, что это черная дыра. И оказалось, что если вы посмотрите на небо в петаэлектровольтовом диапазоне квантов, то основные направления, по которым они приходят, связаны с микроквазарами. В Галактике их несколько, и это, по-видимому, черная дыра с массой шесть-восемь солнечных масс.

— Это считается небольшой черной дырой?

— Это называется «черная дыра звездных масс», ее масса маленькая по сравнению со сверхмассивными черными дырами в активных ядрах галактик, достигающих 1 млрд солнечных масс. Существуют более экзотические идеи, но считается понятным, как образуются черные дыры с массами в несколько солнечных масс. Коллапс ядра массивной звезды, часто сопровождающийся феноменом сверхновой, должен давать такую черную дыру. Это достаточно хорошо просчитано. Понятно, что вживую мы такого коллапса не видели, но это не кажется удивительным и вписывается во все сегодняшние рамки. Таких черных дыр должно быть много. Но чем выделяются эти черные дыры, которые называются микроквазарами? Тем, что они находятся в двойной системе: у этой черной дыры есть звездный компаньон, который с ней «живет», они двигаются по орбитам на небольшом расстоянии друг от друга, и черная дыра перетягивает в больших количествах вещество, которое можно взять у компаньона, что и лежит в основе моделей дисковой аккреции. Такие объекты более 60 лет назад были ярко видны в рентгеновских лучах. Но оказалось, что несколько из них светят и в гамма-лучах сверхвысоких энергий. И один из этих объектов близок российским ученым — это микроквазар SS433.



Андрей Михайлович Быков. Фото Ольги Мерзляковой / Научная Россия

— Почему близок?

— Очень много результатов по исследованию этого объекта получил академик А.М. Черепащук с коллегами из ГАИШ МГУ. Он долгие годы занимался именно звездной динамикой этого объекта, и он — один из тех, кто понял, каковы масса и свойства этой черной дыры. А дальше оказалось интересно: в начале 1980-х гг. в оптических наблюдениях обнаружили доплеровское смещение линий излучения водорода и гелия как в синюю, так и в красную области. И если вы восстановите по прецизионной спектроскопии скорости джетов, то эти скорости были около 0,26 скорости света. Это не ультрарелятивистские скорости, близкие к скорости света, но очень большие. Данная загадка интересовала всех долгие годы, и сейчас понятно, что эти джеты есть, но увидеть их оптические изображения мы не можем, поскольку их источник далеко.

Но лет пять назад обнаружили, что если вы посмотрите на достаточно широкое поле вокруг этого объекта в рентгеновских лучах, то на большом расстоянии (гораздо большем, чем ожидаемый размер оптических джетов) видны два рентгеновских пятна. Причем они видны ярко и с очень интересным спектром: происхождение излучения этого пятна, по-видимому, синхротронное.

— Синхротронное излучение частиц — это как раз то, чем занимался Н.С. Кардашев?

— В том числе. В радиодиапазоне синхротронное излучение — обычное явление. Почти все диффузное радиоизлучение Галактики — это синхротронное излучение электронов космических лучей. В рентгеновском диапазоне это сложнее, потому что там нужна гигантская энергия излучающих частиц. Это значит, что в окрестностях ярких пятен по какой-то причине заработал ускоритель, поскольку эти частицы не могли дойти из центральной

черной дыры. И мы этим увлеклись. Сотрудники ИКИ РАН Е.М. Чуразов, И.И. Хабибуллин и наша группа из ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН разработали модель, где в расчетах истечения аккреционного диска микроквазара можно объяснить наблюдаемую структуру протяженных струй (джетов) с конусами поляризованного рентгеновского синхротронного излучения внутри. На нас особое впечатление произвела возможность модели объяснить значительную поляризацию рентгеновского излучения от сильно турбулентного ускорителя частиц.

— Получилось?

— Нам кажется, что все получается хорошо. Для нас было очень приятной неожиданностью то, что мы увидели петаэлектронвольтное излучение. До этого мы ускоряли частицы в сверхновых до несколько меньших энергий. Статья, которую мы написали о микроквазарах, называется «Минималистическая модель». Мы старались работать в рамках довольно жестких правил, не фантазировать. А сейчас оказалось, что этот источник и еще несколько его «собратьев» действительно ускоряют частицы выше петаэлектронвольта, и их там большое количество. Сейчас мы, вероятно, в основном видим излучение электронов и позитронов, ускоренных в протяженных струях. Электроны оттуда до нас не доходят, источник находится далеко, а у легких частиц, электронов очень высоких энергий, чрезвычайно короткое время жизни, они не долетят до нас. Энергичные электроны и позитроны, наблюдаемые около Земли, происходят от достаточно близких объектов. А ультрарелятивистские протоны в Галактике теряют энергию очень медленно. Поэтому, наблюдая излучения электронов из источника, мы устанавливаем ожидаемые потоки ускоренных там протонов с петаэлектронвольтовыми энергиями. Оказалось, что, по-видимому, ускорители в протяженных струях микроквазаров могут объяснить происхождение значительной доли высокоэнергичных ядер, которые когда-то детектировали Г.Б. Христиансен с Г.Б. Куликовым. Это происходит буквально сейчас.

— Что вы чувствуете, когда удается отгадать такую космическую загадку?

— Очень приятное чувство, когда что-то получилось. Мы строим много моделей, что-то сразу идет в дело. Иногда бывает, что даже модель, которая сейчас вам показалась неудачной, чему-то вас учит. Вы тогда либо понимаете, что так делать не надо, либо потом вспоминаете, что была такая история, и вот она появилась в другой задаче и позволила ее решить. Полезно строить и исследовать различные модели физических систем. Иногда человеку кажется, что он занимается не тем, что все открывают Вселенную, а он пошел куда-то не туда… Но если он это делает хорошо, добросовестно, то с большой вероятностью это пригодится. Игорь Николаевич был таким человеком — он добротно, строго и серьезно решал различные физические задачи.

— Как и Николай Семенович, несмотря на все его фантазерство, был очень въедливым и доскональным ученым.

— Их многое объединяет. У них было фундаментальное образование, которое позволяет фантазировать серьезно. Фантазировать — это хорошо, но если у вас для этого есть научная база. Бывают, так сказать, высосанные из пальца идеи, которые совершенно неправильны; но когда человек имеет хороший фундамент, у него есть образование и опыт работы, это фантазии другого уровня.

— Мы находимся в ИКИ, куда вы часто приезжаете, потому что у вас плотное сотрудничество. Расскажите, чем вы сейчас здесь занимаетесь?

— Кроме уже упомянутой SS433, сейчас у нас идет цикл исследований, связанных с интересными объектами — компактными скоплениями молодых звезд. Процесс звездообразования в Галактике непрерывен. Все время образуются звезды, поэтому есть и

молодые массивные. Но в нашей Галактике процесс сейчас не очень быстрый, в отличие от бурного звездообразования в предыдущие космологические эпохи.

— Чем моложе Галактика, тем более бурный процесс?

— Да. В эволюции Вселенной был момент, примерно через 3–4 млрд лет после Большого взрыва, когда звездообразование в галактиках было крайне активным. Но сейчас благодаря данным, полученным с помощью космического телескопа «Джеймс Уэбб», выявляются интересные процессы в очень ранних галактиках, открывается много нового, что еще предстоит исследовать. Мы интересуемся конкретными реализациями процесса звездообразования. Оно происходит за счет сжатия и коллапса структур в молекулярных облаках. Известно, что в галактике есть молекулярные облака, у них своя иерархия — структуры разных размеров и плотностей газа, облака очень неоднородны. Есть очень плотные сгустки вещества, и при определенных условиях они начинают образовывать протозвезды, часто объединенные в скопления. Потом протозвезды становятся звездами, зажигаются ядерные реакции и т.д. Мы знаем, что звезды имеют разную массу. У Солнца она относительно маленькая, а есть звезды с массами в 10–20, даже в 100 раз больше. Известно, что чем больше масса звезды, тем короче ее жизнь. Звезды с большой массой довольно быстро вспыхивают как сверхновые.

— Выходит, нам повезло, что у нас такая небольшая звезда?

— Думаю, поэтому мы здесь и есть. Удачно пристроились. Чем больше масса звезды, тем она активнее. У массивных звезд огромная светимость, больше светимости Солнца в 10 тыс. раз и более. Массивные звезды имеют сильный ветер. Высокая светимость разгоняет вещество атмосферы звезды, и оно летит со скоростью несколько тысяч километров в секунду. Быстрые потоки ветров звезд сталкиваются, если массивные звезды близки друг к другу. Особенно интересно, когда молодые массивные звезды сконцентрированы в очень компактных скоплениях. Процесс звездообразования может разбросать звезды по относительно большой области, а может их сконцентрировать очень компактно. И бывает, что в компактной области размером около парсека находится 100 или больше очень мощных звезд. Они взаимодействуют друг с другом через ветры. Это очень интересный для меня источник. Результат столкновения множества ветров можно рассчитать на хороших компьютерах и предсказать, что там будет. Такие объекты разрушают исходное облако, они становятся ускорителями частиц и источниками гамма-излучения и нейтрино. Это весьма интересно. Одним из мотивов для меня было понять, могут ли процессы столкновения ветров звезд в компактных скоплениях решить проблему ускорения петавольтных частиц.

— Удалось это понять?

 — Это стало понятно как раз в нынешнем году. Но еще до этого момента мы пытались выяснить, могут ли задачу ускорения частиц решить микроквазары. Оказалось, что в принципе могут, хотя, как правило, они немного недотягивают до необходимой энергии, если в них нет вспышек сверхновых. При определенных условиях они тоже смогут вносить в это свой вклад, и это интересно изучать посредством как моделирования, так и выполнения наблюдений. Информацию о высокоэнергичных процессах удобно получать, в частности, методами рентгеновской астрономии, поскольку синхротронное излучение ультрарелятивистских электронов может попадать в рентгеновский диапазон. Коллеги, работающие в рентгеновской астрономии, видят такие источники. Например, в ИКИ РАН построен замечательный прибор — телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского на борту обсерватории «Спектр-РГ», который может видеть относительно высокоэнергичные рентгеновские кванты. Мы с коллегами из ИКИ наблюдаем эти объекты. На орбите немного приборов, которым под силу подобное. В одном

случае мы успешно детектировали жесткое нетепловое излучение, которое должно сопровождать ускорение частиц до очень высоких энергий от компактного скопления Вестерлунд-2. Сейчас мы видим еще несколько таких объектов с гигантским выделением кинетической магнитной энергии за счет столкновения потоков звезд. Я рад этому сотрудничеству.

Мы работаем над совместным будущим телескопом, который одновременно будет и рентгеновским, и гамма. Это проект «Спектр-РГМ», и вот вчера ночью и сегодня утром мы обсуждали с А.А. Лутовиновым и В.А. Арефьевым необходимые результаты моделирования и технологические работы с кремниевыми детекторами, разработанными в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.

— Как вы отвечаете себе на вопрос, для чего человечеству нужны ваши исследования?



Андрей Михайлович Быков. Фото Ольги Мерзляковой / Научная Россия

— Это довольно легко сказать. Астрономия — древнейшая наука, ее практическое применение началось с навигации. Лоцман должен знать некоторые основы астрономии, без этого он заблудится в плавании по морям. Дальше это породило интерес у людей, которые стали шире смотреть на вещи не только в прагматическом смысле. Среди прочего мы знаем о том, что Иоганн Кеплер наблюдал движение планет, установил законы их движения, которые мы изучаем в школе. Исаак Ньютон закладывал основы механики, а законы гравитации, которые он создал, так и были получены. У Ньютона были основы динамики, но для того чтобы объяснить законы Кеплера, которые тот установил просто наблюдательно, Ньютон открыл закон гравитационного притяжения. Значимость этого трудно переоценить. Дальше через электродинамику пришли к общей теории относительности. Кажется, это совсем абстрактная и

удаленная от всего практического теория. Но нет! Сегодня даже в быту люди широко пользуются GPS. Чтобы эти спутниковые системы позиционирования работали корректно, алгоритмы должны учитывать поправки от общей теории относительности к ньютоновским законам, которые составляют порядка 10-10, но без этих поправок система не работает. Это простые примеры, но их гораздо больше, включая проблемы прогнозирования космической опасности. В технологическом плане астрономия требует изображений высокого разрешения. Это привело к созданию многопиксельных камер и всего прочего. Приложений масса.

— А космические исследования требуют разработки новых технологий.

— Ведутся работы над детекторами космического излучения и частиц как для астрофизики, так и для исследования планет и ближнего космоса, в которых ИКИ РАН находится на самых передовых позициях. Это и плазма в гелиосфере, и космическая погода, и климат, и связь. Мы активно сотрудничаем по всем этим направлениям.

— Если бы Вселенная обратилась к вам, какие вопросы вы бы ей задали?

— На эту тему расскажу исторический анекдот. Известного физика Вернера Гейзенберга спросили: что ты спросишь, когда предстанешь перед Всевышним? Это примерно тот же самый вопрос. Он ответил: Why relativity and why turbulence? (англ. «Почему относительность и почему турбулентность?» — Прим. ред.). Хотя скорее всего он спрашивал по-немецки, но это неважно. И дальше он сказал: «Уверен, что получу ответ только на первый вопрос».

— Господь не знает ничего о турбулентности?

— История ответа на этот вопрос заключается вот в чем: до того как Гейзенберг прославился формулировкой соотношения неопределенности и фундаментальными результатами в квантовой теории, в 1923 г. он написал кандидатскую диссертацию по гидродинамике и турбулентности. Его учителем был Арнольд Зоммерфельд. Он ему сказал, что сейчас самое время заняться квантовой механикой, и Гейзенберг успешно занялся. А уже после войны, после всех связанных с этим проблем он вернулся к проблеме турбулентности, по которой основными до сих пор считаются результаты А.Н. Колмогорова начала 1940-х гг. У Гейзенберга есть несколько работ по моделям спектров турбулентности, и на основе своего опыта он сделал вывод, что с этой проблемой не получается разобраться полностью. Я бы тоже спросил про это.

— А с темной материей вы не хотели бы разобраться?

— Хотел бы. Но с ней и так со временем разберутся, без вопросов к Вселенной.

— А темная энергия?

— Не уверен, что сегодняшнее понятие квазистационарной темной энергии долго просуществует без изменений. Возникают различные альтернативные толкования данных наблюдений. Она же не наблюдается напрямую, это результат анализа определенной совокупности измерений сверхновых, который потребовал введения понятия темной энергии для совместимости с общей теорией относительности Эйнштейна. Это значимый и интересный результат. Но начинают выясняться дополнительные подробности — например, что, возможно, темная энергия не стационарна. Там еще многое неясно.

— Возможно даже, что необходимость в этой субстанции отпадет?

— Думаю, что она сохранится. Про темную энергию, может быть, я бы и спросил, а про темную материю ответ, думаю, будет получен и так. Это очень важно, но это не то, что запредельно.

— Два вопроса уже есть — турбулентность и темная энергия. А что еще вас волнует?

— Я думаю, что любого человека интересует самая ранняя Вселенная — с чего все пошло? Вот этот ответ я бы хотел услышать.

— Меня всегда интересовало, что такое «конец Вселенной»? И что там дальше, за концом? Вы себе это представляете?

— Это сводится к тому, с чего все началось, и тогда мы сможем попробовать понять, что в конце, со своими пока скудными представлениями о законах природы. С моей точки зрения, более фундаментально — понять, с чего все началось, как устроена квантовая гравитация и что это вообще такое. Есть многомировые теории и философские вопросы.

— Существуют ли в астрофизике такие вещи, которые мы в принципе не в состоянии понять?

— Трудно судить. Лучше, чтобы кто-то со стороны нам сказал, что мы в состоянии понять, а что нет. Но есть ли кто-то, кто нам это скажет, неизвестно.

— А существует ли граница познания?

— Я думаю, что нет. Это все важные и интересные вопросы, но мне некогда философствовать. Может быть, со временем начну все это осмысливать, а с общих позиций сейчас пока очень много текущих задач — фундаментальных и практических, может, не столь философских, но если доживу, то когда-нибудь подумаю и о вечном.

Источник: scientificrussia.ru