

## АСТРОНОМИЯ — КАТАЛИЗАТОР ЛЮБОЗНАТЕЛЬНОСТИ МОЛОДОГО УЧЕНОГО

В.Г. Сурдин

<sup>1</sup>Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,  
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (МГУ), Москва, Россия  
<sup>2</sup>Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия  
vsurdin@gmail.com

## ASTRONOMY IS A CATALYST FOR THE CURIOSITY OF A YOUNG SCIENTIST

V.G. Surdin

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
Sternberg Astronomical Institute, Moscow University, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>Institute for Information Transmission Problems RAS (Kharkevich Institute), Moscow, Russia  
vsurdin@gmail.com

**Аннотация.** Для молодых исследователей в области естественных наук современная астрономия служит важным источником любознательности и стимулятором научного поиска. Космическое пространство предоставляет гораздо более широкий диапазон условий, чем можно создать в лаборатории. Это важная перспектива для теоретической и прикладной науки.

**Ключевые слова:** астрофизика, любознательность, астрономия для студентов.

**Abstract.** For young researchers in the natural sciences, modern astronomy is an important source of curiosity and a stimulator of scientific research. Outer space provides a much wider range of conditions than can be created in a laboratory. This is an important perspective for theoretical and applied science.

**Keywords:** astrophysics, curiosity, astronomy for students.

От прочих животных, имеющих развитый мозг и зачатки интеллекта, человек отличается любознательностью. Под словом «любознательность» мы имеем в виду не мелочное сиюминутное любопытство, а бесполезное в данный момент желание приобрести знания и навыки, не мотивированное материальной выгодой желание узнать и понять что-то новое, т. е. любовь к знанию как таковому. Вероятно, именно это свойство сделало человека царем природы. Не выделяясь среди крупных животных ни физической силой, ни высоким развитием органов чувств, ни механизмами адаптации, ни эффективными органами защиты и нападения, человек стал безусловным лидером и полновластным хозяином нашей планеты именно благодаря гипертрофированной любознательности.

Отдельных людей немотивированная (на первый взгляд) любознательность толкает на опасные поступки: кругосветные путешествия, покорение горных вершин и морских глубин, биологические и медицинские эксперименты на себе, работа с ядовитыми и радиоактивными веществами, космические полеты и разведка глубоких пещер. Несмотря на то, что это смертельно опасно для самих любознательных индивидуумов, их тяга к неизведанному служит двигателем цивилизации для человечества в целом.

В детские годы любознательность присуща всем, но по мере взросления ее вытесняет привычка. В зрелом возрасте далеко не у всех сохраняется потребность узнавать новое об окружающем мире. В авангарде любознательной части человечества идут ученые. Однако современная наука стала высокоспециализированной, что, как ни странно, подавляет любознательность исследователя и нередко превращает научную работу в рутину. Как же быть?

Как и что в нашу эпоху может поддержать интерес к творческому исследованию природы? Я считаю, что большую роль в этом может сыграть астрономия.

В детстве любой человек приобретает некоторые астрономические знания, но с систематическим изучением астрономии в подростковом возрасте в нашей стране происходят странные перемены. В СССР астрономия как самостоятельный предмет школьной программы существовала с 1932 г. Она завершала курс естественных наук и призвана была сформировать цельный материалистический взгляд на природу, противоположный религиозным учениям. С 1993 г. астрономия стала исчезать из школьной программы, сохранившись лишь в качестве предмета по выбору и факультатива. Причины этого достаточно очевидны: школа искала «часы» для более «полезных» предметов экономического, юридического и патриотического толка. Не в последнюю очередь сыграла роль и конкуренция атеистического и религиозного взглядов на природу, поскольку идеология страны переориентировалась с коммунистической на церковную.

В течение четверти века астрономия была выведена из числа обязательных школьных предметов, но в 2017 г. ее реабилитировали и восстановили в правах. О причинах этого прямо не говорилось, но можно догадываться, что на это решение повлиял возникший в нашей стране дефицит инженеров и перепроизводство юристов и банкиров. А про наши проблемы в космонавтике мне даже неудобно напоминать.

Теперь астрономия — обязательная школьная дисциплина сравнительно небольшого объема (35 уч. часов), равноправная с другими естественнонаучными предметами: физикой, химией, биологией,

географией и математикой. Это отрадно, поскольку во всех развитых странах знание астрономии считается неременной частью культуры современного человека. Тем более это важно для престижа нашей страны — родины космонавтики. Но пока у школьной астрономии много проблем (устаревшие учебники, слабая подготовка учителей и проч.), хотя они постепенно решаются.

А вот астрономия в большинстве ВУЗов топчется на месте. Первым и пока единственным университетом, предложившим астрономию для студентов всех специальностей, стал МГУ им. М.В. Ломоносова. С 2013 г. в МГУ организованы 150 межкаультетских курсов со свободной записью, и с самого начала курс «Основы астрономии» стал у студентов наиболее популярным. Разумеется, курс «Общая астрофизика» уже много лет читается на физическом факультете МГУ. С 2015 г. курс «Астрономия для физиков» читается на физическом факультете Новосибирского государственного университета. С 2019 г. курс «Астрономия и астрофизика» читается для студентов Московского физико-технического института (МФТИ). Отдельные курсы читаются в Иркутске, Санкт-Петербурге, Ростове, т. е. там, где есть профессиональные астрономы. Но их не много, а знания астрономии, безусловно, полезны для будущих географов, геологов, физиков. Именно большое значение астрономии для будущих физиков я и хочу обсудить. Тут важны оба элемента — и возраст (будущих, т. е. начинающих обучение) и специальность (физика).

Студенты-физики — это вчерашние школьники, юные организмы с яркой фантазией, которая и привела их на физфак. Для многих из них программа первых курсов, перегруженная фундаментальными дисциплинами (особенно в области математики) становится неожиданным и тяжелым бременем. В этом смысле курс общей астрономии, наполненный описательной информацией и даже содержащий романтические элементы, становится «отдушиной», расширяющей кругозор и показывающей перспективу будущей научной работы.

Что касается самой научной работы, то место астрономии в ней становится в последнее время все более важным. В целом в фундаментальном естествознании сложилась сейчас любопытная ситуация. Построив стандартную модель элементарных частиц, физики научились весьма точно рассчитывать взаимодействие между атомами, ядрами атомов и отдельными частицами, но наблюдать эти частицы на самом базовом уровне (кварки, глюоны) не могут. Астрономы же, напротив, наблюдают многие явления, которым не могут дать адекватного объяснения. Таким образом, современная физика, изучая глубинное строение материи, многое понимает, но не видит, а современная астрономия многое видит, но не понимает. Это своеобразный вариант принципа дополнительности, стимулирующий обе науки.

Разумеется, «земные», лабораторные науки, в числе которых физика, — это эксперимент в контролируемых условиях, что невозможно осуществить с небесными телами. Но эксперимент можно ставить не только в лаборатории: природа постоян-

но ставит эксперименты без нашего участия. Нужно лишь научиться за ними наблюдать. И если лабораторный эксперимент — это точность, то астрономические наблюдения — это диапазон. Рассмотрим некоторые направления.

Свойства вещества очень сильно зависят от его плотности: сравните воду в состоянии пара, жидкости и льда. Многие свойства атомов можно изучать только при крайне низких плотностях, когда каждый атом «сам по себе» и не взаимодействует с соседями. В лаборатории предельно низкие плотности называют сверхвысоким вакуумом; сегодня для нормальной лаборатории это  $10^9$  частиц в кубическом сантиметре. Предельно высокий вакуум сейчас достигнут в ускорительных каналах Большого адронного коллайдера — около  $10^{-14}$  бар, что соответствует плотности частиц  $10^5 \text{ см}^{-3}$ . Это замечательное достижение, но и оно не позволяет исследовать запрещенные переходы в атомах, поскольку диаметр каналов столь мал, что атомы часто сталкиваются со стенками каналов и теряют возбуждение без высвечивания. А ведь время жизни некоторых возбужденных состояний атомов достигает многих часов и даже многих суток. Такие запрещенные переходы невозможно наблюдать в земной лаборатории. А насколько низкие плотности достижимы в «космической лаборатории»?

Во время солнечного затмения мы видим сияющую корону Солнца; ее плотность  $10^8\text{--}10^9 \text{ см}^{-3}$ . На Земле это сверхвысокий вакуум, а в космосе — весьма ощутимая среда. Удаляясь от Солнца, мы видим, как солнечная корона, превращаясь в поток солнечного ветра, становится все менее и менее плотной. У орбиты Земли его плотность снижается до  $10 \text{ см}^{-3}$ . Примерно такую же плотность имеют облака межзвездного газа, а между этими облаками межзвездное пространство еще сильнее разрежено — всего лишь  $1 \text{ см}^{-3}$ , а то и меньше. Это в миллиард раз меньше плотности высокого лабораторного вакуума. Атомы в таких условиях могут долго оставаться в одиночестве, не взаимодействуя с другими атомами. При этом проявляются их свойства, недоступные изучению в лаборатории, например, возбужденные состояния с большим временем жизни. Переходы из таких состояний в состояния с меньшей энергией «запрещены», т. е. происходят крайне редко, поэтому соответствующие линии в спектре излучения тоже называют запрещенными. В лаборатории такой возбужденный атом обязательно столкнется с соседом и передаст ему энергию без излучения. А в разреженном космосе атом долго может летать без столкновения, пока не излучит запрещенную линию. Ведь стенок в «космической лаборатории» тоже нет. Поэтому именно в спектрах межзвездных облаков были обнаружены и изучены запрещенные переходы в атомах, что заметно продвинуло атомную физику.

Но межзвездная среда — это еще не предел разреженности. Межгалактический газ в скоплениях галактик имеет плотность  $10^{-4}\text{--}10^{-2} \text{ см}^{-3}$ . В пространстве между скоплениями вещества еще меньше. А средняя концентрация атомов во Вселенной около  $3 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-3}$ . Иными словами, один атом (водорода) в

трех кубометрах пространства. Вот это астрономы и называют сверхвысоким вакуумом: в миллион миллиардов раз лучше, чем в лаборатории!

Теперь обратимся к высоким плотностям. Изучать вещество при сильном сжатии очень важно, хотя бы для того, чтобы понять, как оно ведет себя в недрах Земли. Из природных материалов высокой плотности мы знакомы со свинцом ( $11 \text{ г/см}^3$ ), золотом ( $19 \text{ г/см}^3$ ), осмием ( $23 \text{ г/см}^3$ ). Максимальные плотности и давления, достигнутые в лабораториях на прессах с алмазными наковальнями, близки к тем, которые мы имеем в ядре Земли. До условий, царящих в недрах планет-гигантов, лабораторные установки еще не дотягиваются. Что уж говорить о ядре Солнца, где плазма сжата до плотности  $150 \text{ г/см}^3$ , и мы имеем возможность изучать ее поведение, регистрируя приходящие отсюда нейтрино. А звезды постарше нашего Солнца, уже завершившие свою эволюцию, оставляют после себя остывающие ядра — белые карлики. Плотность их вещества с трудом укладывается в нашей фантазии:  $10^5$ – $10^8 \text{ г/см}^3$ . Это же 100 тонн в наперстке! И таких объектов вокруг нас много; астрономы обнаружили их около полумиллиона и изучают уже второе столетие.

Но остатки эволюции массивных звезд еще удивительнее — это нейтронные звезды, имеющие плотность  $10^{13}$ – $10^{14} \text{ г/см}^3$ . Тут уже наша фантазия окончательно сдается, ведь это 100 млн. тонн в наперстке! Никогда на Земле мы не получим вещество при такой плотности в макроскопических количествах. А изучать его в космосе вполне возможно. Обнаружены же тысячи нейтронных звезд, и мы можем следить за их поведением и наблюдать их поверхность. К примеру, вблизи их поверхности существуют фантастические магнитные поля с индукцией до  $10^{11} \text{ Тс}$ , тогда как в лаборатории мы можем создавать лишь до  $10^4 \text{ Тс}$ . Разрыв в 10 миллионов раз! Не думаю, что в обозримое время его удастся преодолеть. А изучать поведение вещества в магнитных полях нейтронных звезд мы можем уже сегодня. И это поведение поистине удивляет. Например, атом водорода, помещенный в такое поле, из шарика превращается в ниточку (вспоминаем силу Лоренца). А если вычислить плотность массы магнитного поля с индукцией  $B = 10^{11} \text{ Тс}$ , то получим не менее удивительный результат:

$$\rho_B = B^2 / 2\mu_0 c^2 = 40 \text{ т/см}^3.$$

Вы только подумайте: 40 тонн массы в каждом кубическом сантиметре пустоты, пронизанной магнитным полем! И эти условия доступны для изучения, космос дарит их нам. Нейтронные звезды с рекордными магнитными полями, так называемые магнитары, сейчас активно исследуются астрофизиками.

Еще один «космический бонус» для физики — это частицы высокой энергии, которые физики используют для зондирования внутренней структуры элементарных частиц и рождения новых их типов, ранее неизвестных ученым. Чем выше энергия частицы-ударника, тем интереснее результаты. Большой адронный коллайдер способен разгонять протоны до энергии  $10^{13} \text{ эВ}$ . Проект Очень большого

адронного коллайдера (VLHC) предусматривает энергию  $10^{14} \text{ эВ}$ . Вряд ли в обозримое время будет создано что-либо более мощное. А из космоса в составе галактических космических лучей к нам прилетают протоны с энергией до  $10^{20} \text{ эВ}$ , в миллионы раз энергичнее тех, что разгоняет коллайдер. Ускоритель с такой энергией вообще нельзя построить на Земле, поскольку его размер был бы больше, чем у самой планеты. Не говоря уже о его стоимости. А из космоса быстрые частицы прилетают к нам бесплатно. Академик Яков Борисович Зельдович говорил, что Вселенная — это ускоритель для бедных. Но, как видим, и самые богатые не способны создать такой ускоритель, который бы конкурировал со Вселенной.

И наконец, именно астрономия указала физикам на существование в природе двух таинственных сущностей — темной материи и темной энергии. Поисками темной материи (а точнее — темного вещества) активно заняты сейчас физики-экспериментаторы. Понять антигравитационную сущность темной энергии пытаются физики-теоретики. Без астрономических наблюдений мы бы никогда не узнали о существовании этих двух загадочных объектов природы, заполняющих Вселенную своей массой-энергией на 95 %. Можно лишь восхищаться тем, что, наблюдая чуть менее 5 % массы Вселенной (планеты, звезды, межзвездный и межгалактический газ), астрономы смогли узнать о существовании и некоторых свойствах невидимых 95 % массы Вселенной. Это открывает перед физикой захватывающую перспективу: изучение нашего мира, по сути, только начинается! А для молодых физиков это открывает прекрасную перспективу карьеры (вплоть до Нобелевской премии) и, главное, стимулирует их интерес к научной работе.

Обратимся к области, где фундаментальная физика граничит с техникой. Астрономия, как и другие ветви естествознания, использует самые современные технологии, и сама стимулирует их развитие. Можно вспомнить, что запущенный в 1990 г. на орбиту Космический телескоп «Хаббл» сначала давал некачественные изображения, поскольку его объектив страдал сильной аберрацией. Для исправления этого недостатка и восстановления качества изображения были развиты мощные математические методы решения обратной задачи, в дальнейшем нашедшие применение в компьютерной томографии.

Для улучшения качества изображений, полученных наземными оптическими телескопами, сейчас развиваются методы активной и адаптивной оптики. Результаты поразительны: испорченное неоднородной атмосферой Земли изображение космического объекта удается в реальном времени восстановить почти до идеального состояния, как будто бы телескоп работает за пределом атмосферы, а не на дне воздушного океана.

Изучение Солнечной системы сегодня в значительной степени опирается на космонавтику и автоматические межпланетные зонды. Это стало неотъемлемой частью астрономии. При этом космические условия ставят перед техникой небывалые задачи.

Созданы зонды, работавшие на поверхности Титана при температуре  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$  и на поверхности Венеры ( $+460\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Марсоход Opportunity (NASA) 14 лет путешествовал без ремонта по Красной планете, а некоторые межпланетные аппараты в условиях высокой космической радиации исправно несут службу уже более 40 лет! Надежность и миниатюрность современной бытовой электроники в значительной степени обязана технологиям, развитым при создании этих космических зондов.

Но астрономы не останавливаются на прямом исследовании планет Солнечной системы. За последние годы открыты тысячи планет у соседних звезд, и к некоторым из них тоже хотелось бы послать автоматические разведчики. Еще недавно это казалось чистой фантазией, поскольку межзвездные перелеты требуют околосветовых скоростей. Но в этом направлении уже ведется практическая работа. Проект Breakthrough Starshot предполагает создание сверхмалого исследовательского аппарата, который отправится со скоростью  $1/5$  от скорости света к планетам ближайших звезд ( $\alpha$  Кентавра и др.) с помощью светового паруса, «надуваемого» излучением когерентной системы лазеров, использующих адаптивную оптику. Это уже не фантазия, а практическая работа, объединившая в себе астрономию, космонавтику и нанотехнологии.

Итак, возвращаясь в школу и привлекая интерес ВУЗов, астрономия заметно изменила свое лицо. Сегодня «небесная наука» тесно связана с другими ветвями естествознания. Космос теперь воспринимается как научная лаборатория с невероятными возможностями. Удовлетворяя свою любознательность, человек побеждал в борьбе за существование. Сегодня предметом любознательности человека стала вся Вселенная. И в этом гарантия нашего будущего.