

Чёрные дыры, инфляция и антивещество, или о космологии с любовью!

В ближайшее время на мегагрант Правительства РФ в НГУ будет создана новая лаборатория — космологии и физики элементарных частиц. После лекции в НГУ наш корреспондент Елизавета Садыкова пообщалась с астрофизиком, доктором физико-математических наук, профессором Александром Дмитриевичем Долговым, представляющим Московский институт теоретической и экспериментальной физики и Университет города Феррара (где Коперник защищал свою докторскую диссертацию), а также итальянский Общенациональный институт ядерной физики, который в ближайшее время и поможет родиться новому направлению в стенах НГУ.

По словам декана ФФ А.Е. Бондаря, это будет обычная лаборатория, и делается она по аналогии с уже существующими в НГУ. Правда, аналогов учебным курсам, которые должны появиться на базе этой лаборатории, до сих пор на физфаке НГУ не существовало. Астрофизика и космология не фигурировали в программе общей и специальной подготовки студентов, этот недостаток необходимо было восполнить. Астрофизика — активно развивающаяся наука, студенты ФФ НГУ должны иметь хотя бы общие представления о ней, даже если у них другая специализация. Хотелось бы, чтобы это стало не эпизодом во время существования гранта, а постоянной базой подготовки специалистов. До тех пор, пока не вырастут свои специалисты, основная нагрузка ляжет на плечи коллег Александра Дмитриевича из Москвы.

— В школе я увлекся математикой, и в 8-м классе на Московской математической олимпиаде при университете занял первое место, получив 3-ю премию (первую и вторую никому не давали). В выпускных классах я с треском провалился на олимпиаде при МФТИ, после чего заинтересовался физикой и понял, что наука интересная, и, в итоге, посвятил ей жизнь.

Поступил в Физико-технический институт, оказался в группе акустики, и моя первая студенческая научная работа была посвящена слуху тараканов. От пчеловодов поступила просьба выяснить, слышат ли пчёлы и можно ли посредством музыки повысить их медоносность. Поскольку дело было зимой, пчёл не нашлось, пришлось экспериментировать с тараканами. Они лежали в ящиках под названием «Подопытные животные лаборатории академика Н.Н. Андреева», это был классик акустики. Беднягам вонзали в грудь микроэлектроды, но, на самом деле, у них очень трудно отыскать нервные узлы, поэтому получалось, что слышали среди них только два из пятидесяти. Потом в лаборатории случилась авария, тараканы разбежались (это были не прусаки, а большие чёрные тараканы!), после чего я понял, что лучше мне всё-таки стать теоретиком. В итоге я перешёл в группу в ИТЭФ (Институт теоретической экспериментальной физики), которая набиралась годом раньше.

Я занялся элементарными частицами, и Я.Б. Зельдович предложил мне написать совместный обзор «Элементарные частицы и космология». Надо сказать, что это был человек-легенда — трижды Герой Соцтруда, начальник теоретического отдела по изготовлению первой атомной бомбы, один из создателей «Катюши», разработчик теории горения. В его существование верили не все — многие наши зарубежные коллеги считали, что Зельдович — псевдоним, за которым скрывается группа физиков, как математики за именем Никола Бурбаки. Я ответил, что ничего не знаю о космологии, на что он парировал: «Лучший способ изучить науку — написать обзор». Тогда я сказал, что если он будет внимательно следить за тем, чтобы я не написал какую-нибудь ахинею, то я готов. Нужно отдать Якову Борисовичу должное — он принял в этом деле активное участие и в итоге у нас получился совершенно классический научный обзор, и я стал заниматься космологией.

Космология и астрофизика — интереснейшие области науки. Они включают в себя всю физику, и мне, например, до сих пор приходится учиться. Постоянно узнаю что-то новое и вспоминаю давно изученное.

— Александр Дмитриевич, а нельзя ли сказать, что вы работаете в большой степени с фантазиями? Ведь невозможно «пощупать» ваши объекты изучения. Тёмная материя — это же не тараканы?

— Моя жена, совершеннейший атеист, говорит, что ей легче поверить в Бога, чем в то, что мы говорим о Вселенной. Но это — не фантазия. Физика построена так: пишем уравнение, вычисляем эффекты, которые, возможно, удастся пронаблюдать, какие-то величины, а затем — практика. Сделали соленоид — просчитали, какое у него может быть магнитное поле. Принесли магнитометр, измерили — результаты не совпали. Значит,

либо неправильно посчитали, либо неправильная теория. А теория строится обычно с помощью очень плохо определённого принципа красоты. В свое время была предложена теория объединения электромагнитных слабых взаимодействий, которая тогда казалась уродливой. А сейчас начинаешь понимать принципы симметрии, которые в ней заложены, и она уже не кажется такой страшной. Так иногда бывает.

Есть определенные уравнения, например, уравнение общей теории относительности, которые описывают, как расширяется Вселенная. И никто бы в это не поверил, если бы не было чётких предсказаний теории, которые совпадают с картиной на небе. Это очень жёсткая конструкция, её нельзя испортить — немедленно возникнет противоречие с тем, что астрономы видят в телескоп.

Например, в лекции я упомянул об инфляции — это момент, когда наша Вселенная из микроскопического квантового состояния разрослась до своего сегодняшнего вида. Инфляция, в частности, предсказывает спектр возмущений плотности энергии. Если бы материя во Вселенной была распределена совершенно однородно, нас бы с вами попросту не было. Был бы однородный и неинтересный мир. А для того, чтобы образовывались галактики, нужна малая рябь на этом ровном распределении. И существенным является то, как зависит спектр возмущения от длины его волны. Фурье-преобразование, например, помогает анализировать возмущения плотности. И потом можно сравнивать полученные результаты с видимой реальностью. Звезду не пощупаешь, но я могу её увидеть.

Кстати, посредине нашей галактики находится чёрная дыра в несколько миллиардов масс солнца. По вращающимся вокруг этого объекта звездам, по тому, как распределены их скорости и расстояния, можно судить, что в этом месте сосредоточена колоссальная масса и ничем иным, как черной дырой, этот объект быть не может.

— Астрофизика — это же достаточно молодая наука?

— Из физики — самая старая. Люди всегда смотрели на небо, ориентировались по звёздам. Современная космология родилась уже после того, как Эйнштейн сформулировал общую теорию относительности (до этого была специальная). Это достаточно необычная теория, в своё время она была революционной — теория гравитации, учитывающая, что гравитационные взаимодействия мгновенно не передаются. Присутствие любой материи, массы, приводит к тому, что пространство становится кривым, и все тела движутся по самым коротким путям, так называемым геодезическим. В принципе, это геометрическая теория, с неё и началась современная космология. В теории Ньютона, где гравитационное взаимодействие приписывается только массе, жизнь была бы невозможной. В общей теории относительности источником гравитации является ещё и давление. В космологии оно играет важную роль, не учитывать которую нельзя. Оно изначально было отрицательным и привело к расширению мира. За счёт этого из маленького объектика разрослась наша огромная Вселенная.

— Теории часто оказываются неверными?

— Конечно, когда есть новое явление, его всячески пытаются осмыслить. Когда человек что-то предполагает, он, как правило, хочет, чтобы было согласие с экспериментом. Теория Эйнштейна в каком-то смысле доказала, что теория гравитации Ньютона неправильная, но, на самом деле, общая теория относительности — это расширение приближённого подхода, который был развит Ньютоном по мере того, как знания о гравитации увеличивались. Кстати, в отличие от многих других теорий, основным мотивом теории относительности стала общая идея красоты подхода, а не критические экспериментальные наблюдения.

Но есть некие теории-модели в физике элементарных частиц, их такое множество, что, можно сказать, верных, соответствующих природе из них одна или две. Причем каж-

дая из этих теорий внутренне замкнута, логически совершенна, описывает, как правило, все наблюдаемые явления, предсказывает новые, не наблюдавшиеся ранее. И задача экспериментатора — проверить, соответствует ли каждая теория природе или нет. И если окажется, что нет, трудно утверждать, что она неправильная. Ведь как некая игра мысли она может быть замкнутой, разумной и самосогласованной (в математическом смысле).

— Если говорить о современных тенденциях в астрофизике, теория Большого взрыва — она верная?

— Альтернативы нет. Сегодня это называется стандартная модель космологии. Она — ядро современных представлений, тщательно проверена с точки зрения наблюдений. Но, поскольку это всё-таки модель, мы не можем быть уверены, что все детали и подробности этого процесса мы правильно понимаем и представляем сегодня. И можно даже точно сказать, что она — неполная.

— Все галактики так образуются? А, может быть, и вселенные?

— Действительно, есть представления, что наша Вселенная — не одна, а их может быть много, причем все они с разными физическими законами. Совершенно разные массы электронов, взаимодействия и т.д. В суперструнных теориях существует целый ландшафт состояний с различными физическими законами. Кстати, в современной космологии есть так называемый антропный принцип, который я не люблю. Согласно ему, имеет место удивительная приспособленность Вселенной к существованию в ней человека. Она выражается в наличии очень тонкой подгонки фундаментальных физических констант, при которой даже малые отклонения от их стандартных значений привели бы к такому изменению свойств Вселенной, при котором возникновение в ней человека было бы принципиально невозможно.

Наша Вселенная — именно такая, потому что в ней есть условия для существования наблюдателя. В других вселенных, где жизни нет, может вообще всё быть устроено по-другому. Но раз уж здесь есть мы с вами, значит, условия для жизни подходящие. Поэтому Вселенная такая, а не иная. Лет 30 назад была предложена так называемая инфляционная теория, которая говорит о том, что наша Вселенная из минимального квантового состояния разрослась до нынешних размеров. Зная, что это экспоненциальное расширение было, мы можем что-то сказать о спектре возмущений. А до этого учёные говорили, что многое не понимают, но если есть антропный принцип, значит, должны быть возмущения. Этот антропный принцип в последнее время постоянно обсуждается. Но он всё же немного смахивает на религию и экспериментальной проверке не поддается.

— А вот вы на лекции сказали, что Вселенная расширяется с ускорением, как будто кто-то в определенный момент ей «дал пинка»...

— Многие неверно представляют себе термин «взрыв». Вселенная — не бомба, там не было такой разницы в давлении, которая нужна для взрыва. Это был совсем другой процесс. Давление было всюду постоянное, более того, чтобы случилось это самое расширение, оно должно было быть всюду отрицательным. Отрицательное давление приводит к антигравитации. Многие не понимали, откуда взялся этот самый «пинок», потому что не думали о существовании антигравитации. Если допустить, например, существование скалярного поля, где очень легко сделать отрицательное давление, возможно, это и было тем самым «пинком», который позволил Вселенной сильно расширяться.

Под скалярным полем в современной теоретической физике понимается фундаментальное поле скалярного пространства Минковского (лоренц-инвариантное поле) или поле, инвариантное относительно общекоординатных преобразований. Экспериментально не открыто ни одно фундаментальное скалярное поле. Однако такие поля играют немалую роль в теоретических построениях (существуют важные гипотетические скалярные поля, например, поле Хиггса). Также их наличие



(наряду с векторными и тензорными полями, понимаемыми в том же смысле и наблюдаемыми реально) необходимо для полноты классификации фундаментальных полей.

Потом долгое время мир был тёмным и, в результате, скалярное поле «взорвалось» (это и был момент Большого взрыва), причем «рвануло» везде и одновременно. Но это, ещё раз повторюсь, не было взрывом чего-то в пустоту, в этом случае Вселенная была бы сильно неоднородна, а она — одинакова.

— А что произойдет после того, как она совсем расширится?

— До открытия невидимой энергии предполагалось, что она обязательно схлопнется (если была инфляция). До открытия же инфляции считалось, что Вселенная может расширяться вечно. Инфляция приближает её очень близко к границе между вечно расширяющейся и схлопывающейся Вселенной, эти отклонения колеблются то в одну, то в другую сторону. Расширяясь без невидимой материи, мы наверняка пришли бы в состояние сжатия. А с ней мы будем расширяться вечно, если материя сама, конечно, не изменится со временем.

— Тёмная энергия, тёмная материя, антивещество... Как они соотносятся между собой?

— Тёмная энергия заполняет на 0,7 % нашу Вселенную, приводит к расширению, к антигравитационному режиму. Тёмная материя — это материя, состоящая из каких-то неизвестных элементарных частиц. Антивещество — частицы с отрицательным зарядом (например, протон-антипротонные пары), их получали на ускорителях, например, в ИЯФ, причём уже давно. А ещё раньше мы научились получать антиэлектроны — позитроны, которые используются для физических экспериментов. Антиматерия — вещь для нас вполне обыденная. Загадкой является вопрос, почему во Вселенной мы наблюдаем только материю и почти не наблюдаем антиматерию.

— Антиматерия уже как-то используется в промышленности и т.д.?

— Вообще, первым человеком, который произнес слово «антивещество», был английский физик сэръ Артур Шустер, живший в XIX веке. Он предположил, что вещество и антивещество, встречаясь, должны аннигилировать друг друга. Причем формула $E = MC^2$ была известна, и как он об этом догадался — загадка. А английский физик Поль Адриен Морис Дирак (1902—1984), один из создателей квантовой физики, предположил, что должен быть антиэлектрон — позитрон. И допустил, что во Вселенной может быть равное количество вещества и антивещества, есть даже звезды, состоящие из антивещества. Было бы интересно их обнаружить.

С космическим антивеществом всё не просто. Стандартная точка зрения такова: в космических лучах есть антипротоны, они образовались при столкновении обычной материи, но в космосе. Сейчас на спутниках установили несколько детекторов, которые ищут настоящую антиматерию (антиядра), которая была там изначально. А на ускорителях самой антиматерии получается настолько мало, что использование её в народном хозяйстве крайне затруднительно. Но методы её получения и удержания для физических экспериментов развили целое направление в технике — это высоковактуальная техника, сильные магнитные поля, что сколь угодно широко применяется в народном хозяйстве, медицине и так далее. Пучки ионов, протонов, которые необходимы, в том числе, для рождения антиматерии, сами по себе используются для лечения больных с онкологическими заболеваниями. Научный интерес к изучению антиматерии породил новые технологии, методы, которые находят применение в практической жизни. Тем наука и ценна — она ставит перед нами задачи, которые сами по себе в обыденной жизни не возникают, создают цель, движение к которой даёт новые возможности.

А вот бомба из антивещества из нашумевшего романа Д. Брауна «Ангелы и демоны» — бред. Такую бомбу сделать невозможно.