



Этими статьями мы открываем цикл материалов, посвященных лауреатам премии Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых за 2016 г.

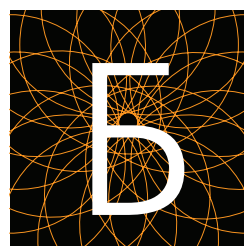
ФИЗИКА

## В начале были кварки

Физики из Курчатовского института пытаются понять, как устроен мир



Президент России В.В. Путин вручил премии в области науки и инноваций для молодых ученых за 2016 г. Лауреатами по физике стали исследователи НИЦ «Курчатовский институт» **Дмитрий Сергеевич Блау, Елена Викторовна Луцевская и Станислав Владимирович Пославский**. О фундаментальном смысле и практической пользе этой работы — наш разговор с молодыми учеными.

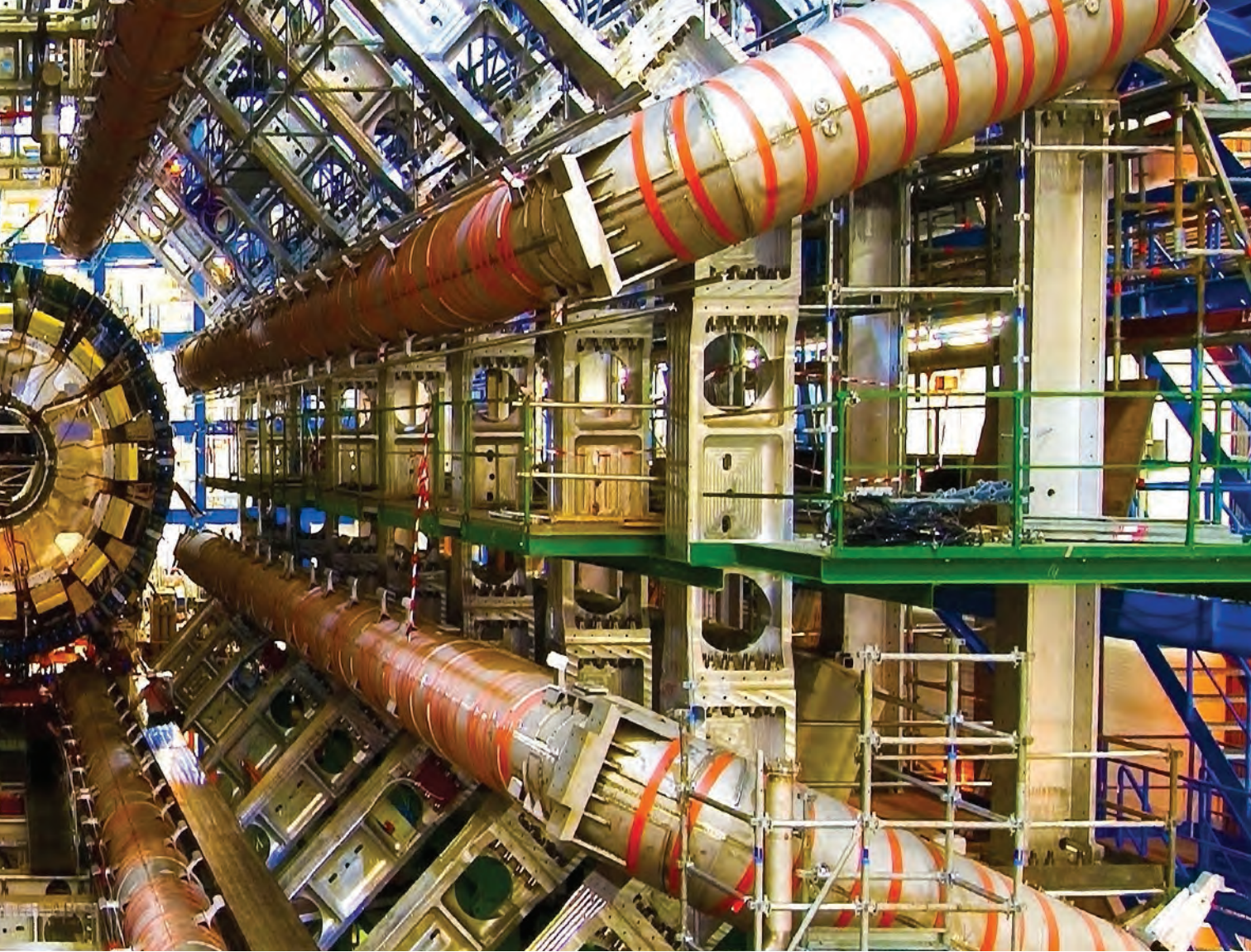


ольшой адронный коллайдер (БАК) — ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов, тяжелых ионов и изучения продуктов их соударений. Коллайдер

построен в научно-исследовательском центре Европейского совета ядерных исследований *CERN*, это самая крупная экспериментальная установка в мире.

Ученые НИЦ «Курчатовский институт» активно участвуют во всех четырех экспериментах коллайдера — *ALICE, ATLAS, LHCb, CMS*.

На мегадетекторе *ALICE*, один из основных создателей и участников которого — Россия, ведутся исследования нового состояния вещества — кварк-глюонной материи. В этом проекте участвуют целый ряд российских научных центров: НИЦ «Курчатовский институт», ОИЯИ (Дубна), РФЯЦ ВНИИЭФ (Саров), ИЯИ РАН (Троицк), БИЯФ СО РАН (Новосибирск), СПбГУ



(Санкт-Петербург), МИФИ (Москва) и др. Этот мегапроект дает толчок развитию самых передовых технологий в области фундаментальной физики и физики высоких энергий, в медицине, материаловедении, вычислительных технологиях и др., которые позволяют создавать в России новые высокотехнологичные производства.

Летом 2006 г. под руководством сотрудников Курчатовского института и при их определяющем участии была закончена полная сборка первого из пяти уникальных модулей прецизионного фотонного спектрометра детектора *PHOS*, воплощающего в себе научную идею по наблюдению кварк-глюонной материи на супердетекторе *ALICE*. В нем использованы кристаллы вольфрамата свинца, разработанные и произведенные в России в сотрудничестве НИЦ «Курчатовский институт» с предприятием «Северные кристаллы» (Апатиты).

Институт физики высоких энергий (ИФВЭ) НИЦ «Курчатовский институт» и Институт теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ) НИЦ «Курчатовский институт» участвовали в создании других детекторов *CMS*, *LHCb* и *ATLAS*.

На НИЦ «Курчатовский институт» возложена координация участия Российской Федерации в трех из четырех экспериментов на БАК — *ALICE*, *ATLAS* и *LHCb*.

В 2015 г. по инициативе НИЦ «Курчатовский институт», осуществляющего в соответствии с распоряжением Правительства РФ научное руководство кооперацией российских организаций в международном проекте «Большой адронный коллайдер» в *CERN*, была разработана Программа сотрудничества Российской Федерации с *CERN*, включающая основные стратегические направления взаимодействия на период 2015–2020 гг.

В настоящее время на базе НИЦ «Курчатовский институт» функционирует Курчатовский центр обработки данных (КЦОД), представляющий собой компьютерный центр первого уровня *Tier-1* сети распределенных вычислений (*GRID*), который обрабатывает данные от экспериментов, выполняющихся на БАК. Центров первого уровня в мире всего 13. Ресурсы КЦОД используются для проведения исследований по следующим направлениям: атомная и молекулярная физика, биоинформатика, геофизика, материаловедение, молекулярная биология, наноматериалы, физика высоких энергий, физика плазмы, физика твердого тела, ядерная физика и др.

**Дмитрий Сергеевич Блау**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт»:

— Мне очень приятно и почетно получить премию президента. Практически всю свою научную жизнь, а это порядка десяти лет, я занимаюсь этой темой — изучением свойств кварк-глюонной плазмы. Не будет преувеличением сказать, что она стала существенной частью моей жизни.

Очень важно, что мы получили премию втроем. Дело в том, что изучение этой темы происходит с трех сторон одновременно — Лена занимается компьютерными расчетами, Стас — теорией, я — экспериментальными исследованиями, обработкой данных Большого адронного коллайдера, в частности эксперимента *ALICE*.

**— Расскажите, пожалуйста, подробнее, что это за работа, что за эксперименты.**

— Эксперимент *ALICE* — один из четырех экспериментов на Большом адронном коллайдере, основная цель которого заключается в исследовании свойств кварк-глюонной плазмы. Это экстремальное состояние вещества, в которое переходит обычная, известная нам адронная материя при очень высоких температурах, на много порядков превышающих температуру в центре Солнца. Считается, что такие температуры и такое состояние были в первые доли секунды после Большого взрыва.

**Эксперимент *ALICE* — один из четырех экспериментов на Большом адронном коллайдере, основная цель которого — исследование свойств кварк-глюонной плазмы, экстремального состояния вещества, в которое переходит адронная материя при очень высоких температурах**



Кандидат физико-математических наук Д.С. Блау

Поэтому можно сказать, что мы изучаем нашу Вселенную на самых ранних этапах ее эволюции.

**— Почему у эксперимента такое фантастическое название?**

— Хорошее название. На самом деле *ALICE* — это аббревиатура от *A Large Ion Collider Experiment*. На логотипе изображена Алиса из Страны Чудес.

**— Расскажите о вашей части работы — самом эксперименте.**

— Наша лаборатория занимается созданием электромагнитных калориметров, в частности фотонного спектрометра ФОС в эксперименте *ALICE*, который предназначен для изучения фотонов и нейтральных мезонов, образующихся в результате высокоэнергетичных столкновений ядер. Мы изучаем спектры, корреляции, потоки и т.д.

**— И что нового удалось узнать?**

— Благодаря нашим исследованиям получены, например, важнейшие результаты по измерению спектров термальных фотонов, которые излучаются кварк-глюонной плазмой, и таким образом можно оценить температуру этого вещества. Она составляет величину порядка 170 млн эВ. Это триллионы кельвинов.

**— Такое сложно даже вообразить.**

— Нами были получены также результаты по измерению спектров нейтральных пи-мезонов и подавлению выхода этих мезонов. Его еще называют фактором ядерной модификации — это очень важная характеристика, которая показывает, что частицы, вылетающие из области соударения, взаимодействуют с веществом и теряют энергию. Если бы там не было кварк-глюонной плазмы, коэффициент фактора ядерной модификации был бы равен единице. Подавление в пять-десять раз в центральных столкновениях говорит нам о том, что это действительно взаимодействие с так называемым цветным веществом. Иначе говоря, теоретические расчеты подтверждаются.

**— А что за потоки вы изучаете?**

— Потоки — это коллективные свойства частиц. Они также очень важны. Количество частиц, вылетевших в разном направлении по азимутальному углу, различно. Его можно разложить в ряд Фурье, получить коэффициенты, и таким образом мы измеряем свойства кварк-глюонной плазмы. Выяснилось, что по своим свойствам она похожа на жидкость с очень низкой вязкостью.

— **Что нам дают все эти представления?**

— Это очень важные с фундаментальной точки зрения знания, которые говорят нам о том, как устроены сильные взаимодействия. Напомню, что известны четыре типа физических взаимодействий — гравитационные, электромагнитные,

сильные и слабые. И если электромагнитные взаимодействия хорошо изучены, вопрос о том, как устроено сильное взаимодействие, до сих пор открыт. Точной формулы нет. Но наш эксперимент может подтвердить предположения теоретических моделей.

**Елена Викторовна Луцевская**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт»:

— **Елена, наши читатели знают, что есть такое агрегатное состояние вещества, как плазма, с которой, как известно, «дойдешь до марса». Действительно ли это так?**

— И так, и не так. С одной стороны, вещи, которыми мы занимаемся, очень сложны, часто кажется — недоступны. Но это очень интересно. С другой стороны, кварк-глюонная плазма — это не совсем плазма или даже совсем не плазма.

— **Тогда давайте начнем с азов. Что это за кварки и глюоны, из которых состоит «ваша» плазма?**

— Как известно, молекулы, из которых мы с вами состоим, в свою очередь состоят из протонов и нейтронов. А из чего состоят протоны и нейтроны? Из кварков. Кварки находятся в связанном состоянии внутри протонов и нейтронов. Это частички, которые их образуют, и именно они — фундаментальная составляющая нашего мира. Между собой их связывают, или склеивают, глюоны. Само слово «глюон» — от английского *glue* («клей»). При температурах нашего мира благодаря особому взаимодействию кварки не вылетают из протонов и нейтронов. Они находятся внутри, как бы запертые на особый «ключ». А если, например, подвергнуть вещество экстремальным температурам и давлениям, как

в Большом адронном коллайдере, ситуация меняется. Вещество начинает нагреваться, и на короткое время образуется кварк-глюонная плазма, когда кварки и глюоны могут свободно перемещаться внутри этого маленького объема. А протоны и нейтроны как бы растворяются друг в друге.

— **Получается такой «суп».**

— Да, именно суп. Иногда это состояние даже называют кварк-глюонным супом, кашей из глюонов и кварков.

— **Получается, Вселенная вышла из жидкости! Но если это жидкость, то почему же плазма?**

— В последние годы здесь множество открытий и достижений. До 2005 г. считалось, что это действительно плазма, поскольку кварки несут электрический заряд. Это состояние вещества казалось аналогичным обычной плазме, каковую ученые пытаются удержать в токамаках. Но в 2005 г. была построена математическая модель, согласно которой утверждалось, что это на самом деле сверхтекучая жидкость. Далее последовали дискуссии, что же все-таки такое кварк-глюонная плазма,



Кандидат физико-математических наук Е.В. Луцевская

и в 2008 г. было установлено, что это особое состояние вещества, которое действительно можно определить сверхтекучую жидкость. Она имеет самую маленькую в природе вязкость из всех, что нам известны. Даже у жидкого гелия вязкость больше.

Все это было установлено именно по тем потокам, которые оттуда вылетают и регистрируются детектором, в создании которых участвует Дмитриев. Такого состояния вещества нигде во Вселенной сейчас не наблюдается. Однако ученые уверены, что в первые микросекунды после Большого взрыва наша Вселенная находилась именно в таком состоянии. Это важный философский вопрос — что представляла собой Вселенная после Большого взрыва. Ведь это дает нам возможности для построения картины мироздания, для понимания, что такое наша Вселенная, как она образовалась, что было до Большого взрыва и что будет потом.

**При температурах нашего мира благодаря особому взаимодействию кварки находятся внутри протонов и нейтронов, как бы запертые на особый «ключ»**

— **Расскажите о своей части работы.**

— Я занимаюсь расчетами на суперкомпьютере. Для этого использую точную теорию, которая на сегодняшний момент существует, — это квантовая хромодинамика, единственный сейчас хороший кандидат на описание физики сильных взаимодействий. Расчеты на суперкомпьютерах воспроизводят структуру взаимодействия между кварками в протонах и нейтронах, а также в мезонах. Это считается адекватным описанием реальности. Точной теории, которая бы позволила все рассчитать, пока нет.

— **Хотите создать такую теорию? Это уже на Нобелевскую премию потянет!**

**Станислав Владимирович Пославский**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт»:

— Формулировка, с которой мы получили премию, — «За исследование кварк-глюонной плазмы с использованием мегаустановок». Еще там фигурирует компьютерная алгебра. Я занимаюсь теоретическими исследованиями, и в первую очередь это исследование процессов с участием очарованных и прелестных кварков.

— **Так и называются — очарованные и прелестные?**

— Да, так и называются. В природе все многообразие частиц, которые мы знаем, — протоны, нейтроны, мезоны, барионы и т.д., — состоит из небольшого набора фундаментальных частиц — шесть кварков, шесть лептонов и несколько фундаментальных бозонов. И кваркам, когда их теоретически предсказывали, давали вот такие интересные названия — скажем, верхний, нижний кварк, странный кварк...

— **Странный, наверное, потому, что странно было его обнаружить. А почему очарованный и прелестный? Они действительно очаровывают?**

— Я бы не сказал. Хотя с точки зрения того, что заниматься этим очень интересно, наверное, да.

— **Непросто работать с такими сложными материями?**

— Для меня это обычная, рутинная работа. Просто надо делать это с утра до вечера, много часов, дней, лет. Тогда может появиться результат.

Вернемся к кваркам. Шесть базовых кварков, о которых я сказал, сильно отличаются по массе и группируются в три поколения. Интересно, что

— Конечно, хочу. Математический институт Клэя, по-моему, дает миллион долларов за решение этой проблемы. Это одна из задач тысячелетия. Но я понимаю, что это крайне трудная задача. Вообще, квантовая хромодинамика напоминает турбулентность. В турбулентности есть модели, которые все рассчитывают, но теории, которая четко бы все позволила рассчитать, нет. Так и у нас. Возможно, ее в принципе нельзя построить, вот в чем дело. Может получиться так, что ты потратишь кучу времени, а результата не будет. Но я надеюсь, что наши труды не будут напрасными. Точнее — уверена в этом.

очарованные и прелестные кварки не входят напрямую в состав известных нам частиц, таких как протоны и нейтроны, из которых состоит материя. Тем не менее они играют огромную роль в физике сильных взаимодействий: если какое-то из поколений кварков изъять, картина мира будет совершенно другой. Именно поэтому, чтобы понять физику сильных взаимодействий, нам нужно подробно изучить все многообразие частиц, понять, как они себя проявляют в той области, которая нам сейчас доступна на Большом адронном коллайдере.

— **Что все это дает человечеству? Зачем это нужно? Почему нужно выделять деньги на то, чтобы узнать, как устроена Вселенная?**

— Есть несколько аспектов. Самый первый аспект, который был двигателем научного прогресса со времен античности, — это простое человеческое любопытство: узнать, как устроена природа на самых разных уровнях. Сейчас наши знания и наше понимание природы достигли такого уровня, что для того чтобы продвинуться дальше в изучении природы, нам нужно строить такие суперустановки, как Большой адронный коллайдер.

Другая сторона медали — это «выхлоп», который такие исследования (и вообще знания об устройстве природы) дают в будущем в виде различных технических решений. Это нам наглядно показывает история развития науки. Когда люди только начинали опыты по исследованию, например, атомной физики на микроуровне, они даже представить себе не могли, во что это выльется сегодня. А это транзисторы, схемы, полупроводники — все то, что стало основой современных гаджетов. Наши мобильные телефоны напичканы



Кандидат физико-математических наук С.В. Пославский

техническими решениями, которые стали возможны именно благодаря исследованиям в квантовой механике, электродинамике и т.д. То же самое здесь: сейчас мы, может быть, не видим всех практических возможностей применения теоретических и экспериментальных исследований в физике высоких энергий, но через какое-то время это войдет в нашу жизнь. Иначе просто быть не может.

И, наконец, третье. Когда проводятся такие масштабные исследования и сложные эксперименты, всегда строятся сооружения, подобные Большому адронному коллайдеру. Для их создания применяют самые передовые технические решения. Сейчас планируется апгрейд БАК, всех его детекторов, и в планах такие технические решения, которые еще не реализованы человечеством. Иначе говоря, ставятся задачи, которые мы сможем осуществить только несколько лет спустя. Речь идет о принципиально новых технологиях. И такие задачи движут человечество вперед.

**— То есть подобные исследования обеспечивают мощный технологический рывок?**

— Да. Ведь для того чтобы все это создать, нужно стягивать воедино самые передовые технологии, какие только есть на Земле. А что может быть для человечества важнее, чем интеллектуальный прорыв?

## Двигателем научного прогресса со времен античности было простое человеческое любопытство: узнать, как устроена природа на самых разных уровнях

**— Да, тут сложно спорить. Какие у вашей группы дальнейшие планы?**

— У нас есть целый ряд конкретных математических и физических задач. А если обобщать, то сейчас в физике существует такая проблема: решить задачу — легко, если есть мозги и человек хорошо учился; намного сложнее сформулировать, поставить задачу, найти проблему, которую можно решить. Очень хорошо, что у нас сформулирована задача. И есть последовательность шагов, которые мы должны выполнить. А вот какие ответы на фундаментальные вопросы дадут расчеты и анализ данных экспериментов в нашей теме, мы узнаем, только когда все завершим. Возможно, мы всех еще удивим. И очень скоро. ■

*Беседовала Наталья Лескова*

### Из выступления С.В. Пославского на церемонии вручения премий президента в области науки и инноваций для молодых ученых в Кремле:

Уважаемый Владимир Владимирович!  
Уважаемые коллеги!

От лица нашего коллектива я хочу сказать, что это очень приятно — получать такую высокую награду здесь, в Кремле, из рук президента России. И мы хотим поблагодарить совет по науке при президенте и лично В.В. Путина за высокую оценку научных результатов, полученных нашим коллективом.

Мы также хотим поблагодарить наших научных руководителей и наших коллег — физиков Курчатовского центра. Мы хотим выразить благодарность руководству Курчатовского центра и лично М.В. Ковальчуку за его огромную работу по развитию Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», в котором работает наш коллектив.

Особенно приятно, что премия в этом году вручается за фундаментальные исследования — за исследования в области физики высоких энергий. Хорошо известно, что именно исследования в самых сложных областях науки всегда определяли и будут определять облик и путь развития всей человеческой цивилизации. И сегодняшние исследования в ускорительных центрах России и мира, в частности на Большом адронном коллайдере, при активном участии российских институтов — это острое, передовой край интеллектуального, технического и промышленного развития человечества.

И уже сегодня те технологии, которые были созданы для воплощения в жизнь этих мегапроектов, масштабно используются в самых разных технологических сферах, а потрясающие воображение научные знания об устройстве природы на фундаментальном уровне, которые мы получаем на мегаустановках, в будущем выльются в невероятные технические прорывы и до неузнаваемости изменят технологический облик мира.

Возможно, мы, конечно, не сразу увидим эти глобальные изменения, но и электричество пришло в нашу жизнь лишь через 100 лет после открытия закона об электромагнитной индукции в опытах Фарадея.