

STARTALK PROJECT: Choose to Study Russian for Professional Needs



Russian and Physics

Физика конденсированного состояния. Интервью с профессором факультета физики Университета Вирджинии Дмитрием Песиным.

Биография: Дмитрий Александрович Песин – физик-теоретик, профессор физики исследовательского университета штата Вирджиния. Родился в г. Харьков, Украина. В старших классах стал победителем всеукраинской олимпиады по теоретической физике. Получил образование в Харьковском национальном университете имени В. Н. Каразина. Учился в аспирантуре университета Вашингтона, где получил степень доктора философии по физике, затем был постдокторантом в Университете Остина в Техасе и в Калифорнийском технологическом институте. С 2012 года работал в университете Юты, а с 2018 года в университете штата Вирджиния.



1. Пожалуйста, расскажите о себе. Как вы начали заниматься научными исследованиями?

Дмитрий Песин (Д.П.): Меня зовут Дмитрий Песин. Я работаю в университете штата Вирджиния в городе Шарлотсвилл. В этом университете я – профессор физики, специализация моя – теория конденсированного состояния.

Если говорить о том, как я пришёл в науку, то путь в неё начался в городе Харьков в Украине, где я родился. Физикой я заинтересовался серьёзно, видимо, в старшей школе, в классе, видимо, девятом. Всё началось с физических олимпиад. Я помню, что в девятом классе мне почему-то очень хотелось попасть на олимпиаду, и вот, в девятом классе я попал на областную олимпиаду в Харькове. Там у меня получилось победить на ней, и после этого я уже до достаточно зрелого возраста всё время участвовал в олимпиадах, в общем, достаточно успешно, и как-то вопросов о моей дальнейшей карьере у меня не возникало.

Может быть, её предопределил тот факт, что мои родители являются физиками – и мама, и отец. Мой отец был, а мама является физиком, но они как-то меня никогда не склоняли к такой карьере. То есть, я знал, что это возможно, я проводил достаточно количество времени в университете, поэтому, видимо, общение с университетскими людьми накладывало свой отпечаток на мои интересы. Но родители мне не говорили: "Ты должен пойти по нашим стопам и обязан быть физиком!"

После окончания школы я пошёл учиться на физический факультет Харьковского национального университета, где я проучился пять лет и, в общем, получил мою специальность "Теоретическая физика конденсированного состояния". Хотя я не всегда был уверен, что я хочу этим заниматься. Если я правильно помню, где-то в районе третьего курса я, не знаю, – заскучал, что ли, я решил, что нужно как-то оживить мою жизнь. Я написал кучу писем разным учёным зарубежным, где я, грубо говоря, написал, что есть в Харькове такой парень – я – и мне интересно, как занимаются физикой не только в Украине, какие есть возможности за рубежом, и я хотел бы сотрудничать с этими людьми, и, если они проявят интерес, я готов продемонстрировать мои способности на каких-то тестовых задачах. И несколько человек ответили на эти письма. В частности, я познакомился с двумя людьми таким образом. Один из них был Геннадий Зиновьев.

Он вообще работал в Киеве в институте Боголюбова, но был представителем Украины в ЦЕРНе — европейском центре ядерных исследований. С ним я много общался в течение моего обучения в Харьковском национальном университете. Благодаря ему я попал на двухмесячную стажировку в ЦЕРН, в летнюю школу. В ЦЕРНе я провёл пару месяцев после пятого курса. Но я всё же решил, что физика высоких энергий, которой я бы занимался с ним, была не совсем тем, в чём я был заинтересован, поэтому я ушёл в аспирантуру ко второму человеку, знакомству с которым я был обязан этому письму — к Антону Андрееву. В то время он работал в университете Колорадо, в Боулдере, а потом перешёл в университет штата Вашингтон в Сиэтле. И вот я приехал к нему в аспирантуру, у него защитился, получил степень доктора философии.

После этого я был постдоком в Техасе в университете Остина у Алана Макдональда. Я три года там провёл, а после этого получил уже позицию профессора в университете штата Юта в Солт-Лейк Сити, где я и проработал шесть лет, после чего, получив tenure, я перешёл в своё нынешнее место работы — в университет штата Вирджиния. И с тех пор я работаю там профессором, занимаюсь исследованиями в области физики топологических сред.

2. Расскажите для неспециалистов, чем вы занимаетесь.

Д.П.: Сейчас я занимаюсь рассмотрением физических свойств, в частности, транспортных и оптических свойств систем с так называемой нетривиальной топологией. Тяжело, конечно, объяснить, что такое нетривиальная топология, за время интервью для публики, которая не является специалистами, но я могу попробовать.

Для того чтобы объяснить, что такое топология, я совершу фривольное действие. Мне понадобится вот этот ремень. Все знают — даже публика неподготовленная — что обычно ремень носят вот таким образом. Застёгивается пряжка, и ремень превращается вот в такую ленту. Этот ремень выглядит несколько потёртым, потому что он у меня с времён моего обучения в Харьковском национальном университете. Это очень хороший ремень. Возникает вот такое колечко. Если же я застегну ремень неправильно, то есть, я его опять расстегну, перекручу этот конец и вставлю его обратно в пряжку, у меня получится так называемая лента Мёбиуса. Чем же отличается эта лента Мёбиуса от ремня, который застёгнут правильно? Обратите внимание, что здесь есть участок этой ленты, который перекручен, говоря простым языком. Если я буду смотреть на этот ремень на каком-то ограниченном, локальном участке, я не смогу отличить ленту Мёбиуса от ремня, застёгнутого правильно — просто у меня здесь полоса. Но если я посмотрю на этот ремень глобально, я увижу, что мой ремень, застёгнутый правильно, и ремень Мёбиуса отличаются друг от друга наличием этой перекрученности. И никаким способом я не смогу ремень Мёбиуса превратить в правильно застёгнутый ремень, не расстегнув его или не разрезав его. Таким образом, эти объекты отличаются топологически. Что можно сказать о свойствах этого ремня с точки зрения этой топологии? Совершенно отдалённый пример от того, что я делаю, может, тем не менее, быть сформулирован так. Представьте, что вы муравей. Муравей, который живёт на правильном ремне. И обе поверхности этого ремня покрыты едой для муравьёв. Но муравей не может переходить с поверхности на поверхность. Поэтому этот муравей сможет съесть еду, скажем, вот на этой поверхности и никогда не доберётся до еды снаружи ремня, если он, конечно, не может перелезать через борт ремня. Представим, что он не может перелезать через борт ремня. Если я застегну ремень как ремень Мёбиуса, мой муравей теперь может собирать еду с обеих поверхностей этого ремня. Вот если я начну на этой поверхности, и вы проследите за моим пальцем, обратите внимание, что, обойдя ремень, я попадаю на другую поверхность. Соответственно, у такого муравья, который живёт на таком ремне, будет в два раза больше еды. Это безумный, но, тем не менее, пример, который показывает, что топология объекта может влиять на его физические свойства.

Чем занимаюсь я? Я занимаюсь тем, что исследую, как влияет топология волновых функций в кристалле на наблюдаемые свойства электронов в этом кристалле. Оказывается, что волновая функция — это квантово-механическая характеристика электрона или любой частицы — может выглядеть чем-то вроде этого ремня, который я сейчас показывал. Например, если представить волновую функцию до какой-то степени как направленную стрелку — это, конечно, очень абстрактное описание, но, тем не менее, можно представить. Например, стрелки, которые образуют ёжик, будут отличаться топологически от стрелок, которые расположены все в одном направлении, во всех точках пространства. Оказывается, что волновые функции — то, как они организованы в кристалле — влияет на то, как происходят явления транспорта — переноса электронов из одной части образца в другую — или на то, как образец взаимодействует с электромагнитным излучением. Это предмет изучения оптики. Вот, грубо говоря, это является предметом моих нынешних интересов.

3. Какое практическое применение у ваших исследований?

Д.П.: Я занимаюсь фундаментальной наукой — фундаментальной физикой. Поэтому о немедленных практических применениях, честно говоря, речь не идёт. Но это нормально. Это нормально. Развитие науки происходит следующим образом. То, что является фундаментальной наукой сейчас, оказывается прикладной наукой через достаточно большое количество времени — обычно через несколько поколений. То есть, грубо говоря, новополученное знание сейчас расходится по прикладным областям физики, по инженерным дисциплинам и рано или поздно находит какое-то практическое применение. Поэтому то, что сейчас является прикладными дисциплинами — любой вид инжиниринга, который может быть связан с конструкцией микроволновых печей или холодильников, телевизоров — было передовой наукой полвека или 70 лет назад. То есть, передовая наука сейчас будет основой для чего-то другого ещё через полвека. С одной стороны, это очень долго. Ждать отдачи полвека хотят не все агентства, занимающиеся спонсированием исследований. С другой стороны, достаточно много агентств, которые, в общем, готовы давать гранты на фундаментальную науку. Но надо понимать, что если отменить фундаментальную науку сейчас, то через 50 лет СВЧ-печи будущего перестанут работать или не будут существовать.

4. На ваш взгляд, какие открытия в физике в XX и XXI веке определили ее развитие как науки?

Д.П.: Развитие физики в XX веке, безусловно, было определено событиями в физике в начале века. Речь идёт, конечно же, о создании специальной теории относительности и общей теории относительности Эйнштейном, Планкем, Лоренцем и другими людьми, которые внесли свой вклад, а также создание квантовой механики Нильсом Бором, Гейзенбергом. Бессмысленно перечислять отцов-основателей квантовой механики — они все титаны. То есть, эти два факта определили, конечно, развитие физики в XX веке. Если говорить о XXI веке, об относительно недавних событиях, то, конечно, нужно говорить о конкретных дисциплинах, конкретных подразделах физики. Если говорить об астрономии, то детектирование гравитационного излучения от чёрных дыр в процессе слияния было очень важным событием, которое приведёт к новому витку развития астрономии, которая будет основана не на наблюдении за небом в электромагнитном излучении, не на наблюдении за частицами, нейтрино, заряженными частицами, протонами, а на наблюдении за гравитационными волнами. Это ещё одно окно во вселенную и в её историю. Это что касается астрономии.

В физике высоких энергий, конечно, было открытие бозона Хиггса, которое подтвердило правдивость стандартной модели взаимодействий, существующей на данный момент.

Если говорить о моей области, о физике конденсированного состояния, то последние 10-15 лет прошли под знаком эффектов топологии в кристаллах и не в кристаллических веществах. То есть, наверное, на данный момент вот эти области плюс всё, что связано с квантовыми вычислениями, квантовыми компьютерами, которые, естественно, основаны на квантовой механике и её следствиях, наверное, предопределит следующие 10 лет исследований во всех этих областях.

5. Какие задачи стоят сейчас перед физикой?

Д.П.: Если говорить о тех задачах, которые сейчас стоят перед физиками, как я уже сказал, физика разнообразна. Как в своё время натуральная философия распалась на физику, математику, биологию и химию, так, вполне возможно, физика скоро распадётся на астрономию, физику высоких энергий, физику частиц или физику конденсированного состояния, которой я занимаюсь. Поэтому каждая из этих частей физики имеет свои цели, имеет свои достижения. Из тех достижений, которые я перечислил, например, детектирование гравитационных волн является успехом. Он уже достигнут, и на его основании будут проводиться последующие исследования, и он предопределит развитие этой области. Но, например, пример, который я привёл, связанный с квантовыми вычислениями, квантовыми компьютерами, является примером нерешённой проблемы, которую, тем не менее, человечество, физики, учёные пытаются всеми силами решить. Даже уже есть квантовые компьютеры с небольшим количеством так называемых кубитов вместо транзисторов. Несколько компьютеров с небольшим количеством кубитов уже были построены, но, конечно, до практических применений дело пока не дошло. Вот эту проблему пытаются люди решить. Если говорить ещё о моей специальности, моей области, и говорить о том, какие практические последствия могут быть у деятельности, которую мы ведём, наверное, самым главным из них будет вопрос о получении энергии и хранении энергии какого-то рода в батареях. Это сейчас является первостепенной задачей ввиду кризиса с углеводородами и источниками энергии, которые основаны на добыче углеводородов. Если говорить о нерешённых задачах в физике высоких энергий, то можно упомянуть отклонения от стандартной модели. В частности, знаменитый большой адронный коллайдер, на котором, собственно, и был найден бозон Хиггса, был построен не для того, чтобы найти бозон Хиггса, а для того, чтобы найти отклонения от стандартной модели взаимодействий, которую мы сейчас имеем, от того, как мы понимаем как устроена природа. Пока что никаких отклонений от этой стандартной модели найдено не было, что, безусловно, вводит многих учёных в депрессию.

Если говорить о космологии, астрофизике и связи с физикой высоких энергий, с физикой частиц, то самой главной тайной на данный момент по сути является существование тёмной материи, объяснение, что это такое, откуда она берётся и имеется ли связь этой тёмной материи со стандартной моделью взаимодействий, как мы её знаем. Ну вот в этих каких-то направлениях, видимо, и будет двигаться наука в ближайшее время.

6. Какие направления в физике на данный момент являются самыми перспективными?

Д.П.: Если говорить о самых перспективных направлениях в физике, то, в дополнение к тем, которые я уже перечислил, наверное, можно упомянуть биофизику и использование идей и методов, которые были развиты для других задач совершенно в биологии. Наверное, это одно из самых интересных направлений. Просто потому, что оно связано с тем, что волнует любого человека — с жизнью, с её происхождением, с биологией человека, со старением, в конце концов, с продлением жизни. То есть, то, о чём все мы думаем, когда мы не занимаемся физикой, в общем, может рассматриваться биофизикой. Поэтому применение физики в биологии, нейробиологии, наверное, является очень интересным направлением.

7. Какими методами решения задач пользуются в физике?

Д.П.: Я хотел бы продемонстрировать один из способов решения физических задач, который может применяться фактически к любому разделу физики одинаково успешно, для того чтобы не выбирать какой-то конкретный раздел. И метод решения физических задач, который я хотел бы описать, называется методом анализа размерности. Для того чтобы понять, в чём состоит метод, нужно упомянуть, что такая размерность физической величины. По сути, размерность физической величины показывает её связь с базовыми величинами некоторой системы единиц. Например, в системе единиц Интернационал, так называемой СИ, базовыми единицами, которые описывают все механические явления, являются масса, длина и время. С помощью единиц массы, длины и времени можно построить любую величину, которая связана с механическим движением объекта. Например, скорость объекта имеет размерность длины, разделённой на время. Я буду длину обозначать латинским символом L , а время — латинским символом T . Например, размерность силы, как мы знаем, согласно второму закону Ньютона, сила равна массе на ускорение, соответственно, размерность силы является произведением размерности массы и ускорения. Размерность массы есть просто масса. А размерность ускорения можно понять, заметив, что ускорение — это скорость изменения скорости. Таким образом, ускорение имеет размерность длины, разделённой на квадрат времени. И так далее, так можно построить любую величину. Например, если мы хотим применить этот метод анализа размерности в его самом примитивном виде, мы можем задать себе следующий вопрос. Допустим, у нас есть шар, сделанный из какого-то материала, имеющий радиус R и имеющий плотность ρ . Здесь греческая буква ρ описывает плотность этого материала. Как мы можем, используя метод анализа размерностей, найти массу этого шара? Мы можем рассуждать следующим образом. С помощью имеющихся величин — плотности и размера шара — мы должны построить такую комбинацию этих величин, которая бы имела размерность массы. Для того чтобы понять, как построить эту величину, давайте посмотрим на размерности величин. И плотность, естественно, имеет размерность массы, делённой на куб длины, на объём. Плотность есть масса единицы объёма вещества. А радиус шара, естественно, имеет размерность длины, то есть, он измеряется в метрах. Чтобы получить величину с размерностью массы, очевидно, мы должны взять плотность шара и умножить на куб его размера. Это совершенно тривиальное утверждение, которое говорит о том, что, чтобы найти массу шара, мы должны умножить его плотность на его объём. Но, тем не менее, с точки зрения метода анализа размерностей можно рассуждать вот так.

Полное выражение со всеми коэффициентами восстановленными выглядит так: масса равна четыре π на три R в кубе умножить на плотность, на ρ . И, несмотря на всю простоту и тривиальность этого результата, он очень важен. Например, он говорит о том, что, если у человека имеются два клубня картофеля, один из которых в два раза больше другого, то больший из них содержит в себе в восемь раз больше еды. Это важный факт для любого человека. Естественно, метод анализа размерностей не позволяет нам восстановить численный коэффициент в формуле для массы, которую мы получили — четыре π на три — его, к сожалению, получить нельзя, а можно получить только прямым вычислением. Этот метод анализа размерностей является очень важным в физике, и он позволяет получать результаты, получать ответы там, где более точное, более детальное решение совершенно неочевидно.

В моей собственной судьбе был эпизод, который привёл меня к пониманию важности этого метода, и связан он с моей мамой. Когда я был очень маленьким, я не знал, вернее не помнил, правильную формулу для объёма шара, которую я вот здесь написал — четыре π на три R в кубе. Вернее, я помнил, что есть формула, которая содержит четыре π на три R в кубе, а есть формула, которая содержит четыре πR в квадрате. Эта формула для поверхности, площади поверхности шара. Когда я был очень маленький, я не знал разницы между этими двумя формулами. Я пришёл к маме и спросил маму, какая из этих формул

описывает объём шара. И мама сказала: "Ну подумай. Ты говоришь об объёме и пытаешься этому объёму приписать величину с размерностью квадрата длины". То есть, четыре πR в квадрате имеет размерность квадрата длины. Объём шара может быть квадратом длины? Тогда я был ошеломлён простотой и мощью этого рассуждения, потому что я долго мучился, я не мог понять, какая из этих формул правильная. И с тех пор — я не помню, сколько мне лет было, наверное, 12 — наверное, стыдно признаваться, что в 12 лет я не знал формулу объёма шара, но тем не менее — с тех пор я проверяю размерности всех величин, которые я когда-либо вычисляю, потому что это невероятно мощный способ.

8. Какие возможности предоставляет знание русского языка ученым?

Д.П.: Один какой-либо язык общения межчеловеческого, наверное, не имеет такого уж сильного влияния на то, как человек занимается наукой. Безусловно, знание русского языка помогает просто в личном общении. В каком-то смысле он определяет принадлежность некоему кругу людей. И это важно для человека, а человек является социальным животным, если можно так сказать. Владение русским языком или каким-либо ещё языком позволяет иметь доступ к источникам информации на этом языке. Русский язык в этом смысле специальный язык, потому что это язык физики, советской физики. Есть много журналов, в которых статьи написаны на русском языке, и которые нельзя больше найти нигде. Эти статьи часто являются важными. Поэтому способность их прочесть (некоторые из них не были переведены на английский язык) в общем, является приятным следствием владения языком. Но, конечно, язык более важен в социальном плане, чем в научном.

9. Какое слово Вы назвали бы "словом года" в физике?

Д.П.: Если говорить о слове года или, тем более, слове десятилетия, то нужно различать опять же разные области физики. Наверное, мне нужно говорить о той области физики, в которой я работаю. И для этой области — а я занимаюсь физикой конденсированного состояния, физикой многих частиц — главным словом последнего времени является словосочетание "квантовая запутанность". Это словосочетание описывает ситуацию, в которой так называемые волновые функции различных объектов являются несепарабельными — они неотделимы друг от друга. По сути, это ещё один способ говорить о квантовых корреляциях. О чём идёт речь? Дело в том, что наш мир очень сложен. Он состоит из множества частиц, множества объектов. И, в принципе, можно было бы предполагать, что все эти объекты, все эти частицы описываются одной какой-то большой волновой функцией Вселенной. На практике, конечно, такое описание бессмысленно, потому что просто невозможно было бы определить настолько сложную функцию. И возникает вопрос о волновой функции каких-то отдельных объектов, отдельных частиц. Оказывается, что если два объекта взаимодействуют, то они описываются вот такой единой волновой функцией, и волновая функция каждого из этих объектов, грубо говоря, не существует. То есть, нельзя полностью предоставить квантовое описание такого объекта, не зная состояния его партнёра, с которым они взаимодействуют.

То есть волновая функция таких взаимодействующих объектов является несепарабельной, она не разбивается на волновую функцию отдельных частей. Но можно сказать, например, что, благодаря квантовой запутанности существует новый способ классифицировать фазы веществ. Например, все со школьных дней знают, что существуют газообразная фаза, жидкая фаза и твёрдая фаза, кристаллическая фаза веществ, иногда плазма добавляется к этому списку. Оказывается, что понятие квантовой запутанности приводит к ещё одной классификации фаз, в частности, электронных фаз в веществе. В каких-то фазах волновые функции являются запутанными, а в каких-то они таковыми не являются. То есть, это

ещё один способ классифицировать состояние вещества, например. Соответственно, вот эта квантовая запутанность, чисто квантово-механическая характеристика частиц, с одной стороны, является основой для ещё одной классификации фаз вещества, с другой стороны, на ней основано действие квантовых компьютеров, с третьей стороны, это понятие лежит у основ квантовой механики, и размышления о нём, грубо говоря, приводят к тому пониманию квантовой механики, которое мы сейчас имеем. Поэтому, наверное, для людей из моей области это самые главные не слово, а два слова последнего времени.

Блицопрос

- **Книги или кино?**

Д.П.: На вопрос о моих предпочтениях в книгах или кино ответить невозможно. Потому что вопрос должен быть задан по-другому. Чтение или кино? Книга, наверное, уже не является более источником печатной информации. Я читаю более или менее всё время. Но чтение именно книг занимает, честно говоря, очень мало из этого полного времени. То есть, я читаю по работе, я читаю статьи, которые связаны с интересующими меня общечеловеческими темами, связаны с обществом, в котором мы живём. Поэтому чтение происходит непрерывно. Чтение книг более не является единственным видом этого самого чтения, которое доступно человеку. А кино я тоже очень люблю. Но я его использую не для того, чтобы познать тайны искусства и кинематографии, а для того, чтобы отдохнуть и расслабиться. Поэтому я очень люблю фильмы, но лёгкие.

- **Ваша любимая книга на русском языке.**

Д.П.: Моя память устроена таким образом, что я запоминаю общую канву повествования и мои ощущения от книги, но не сами детали какие-то сюжета. Поэтому я, например, помню, что я проглотил "Тихий Дон". Я не мог оторваться, я его полностью просто проглотил. От "Мастера и Маргариты" ("Тихий Дон" Шолохова, "Мастер и Маргарита" Булгакова) я не мог оторваться. Ну вот, наверное, такие произведения, знаковые — это и есть мои, можно сказать, любимые книги.

- **Русскоязычный учёный, который вас больше всего вдохновил.**

Д.П.: Я произносил фамилию Мигдал уже. И я, наверное, произнесу её ещё раз. Мигдал занимался многими вещами — он, в частности, знаменит своими работами в физике ядра — ядерной физике. И работами по физике систем многих частиц — многочастичных систем.

- **Три совета молодым учёным.**

Д.П.: Какие три совета я бы дал молодым учёным? Самый главный и первый совет — это начинать рано. По сути, как я уже говорил, физика требует знания очень большого количества фактов. И это знание накапливается в течение очень долгого времени. Второй совет, который я бы дал, касается выбора темы исследований. Особенно если речь идёт об исследованиях в аспирантуре, о таких исследованиях, которые потом будут темой научной диссертации. Нужно выбирать сложные вопросы. Вопросы, в которых ничего не понятно, и в которых происходят в результате потом самые интересные вещи именно потому, что никому ничего не понятно. То есть, наверное, в молодости лучше решать сложные задачи. Потом, с возрастом, можно решать простые задачи, а сложные задачи отдавать молодым людям. И последний совет, наверное, практический совет. Если вдруг молодой человек начинает заниматься какой-то научной задачей, нужно знать историю вопроса. Знание истории вопроса создаёт ощущение важности того, чем этот молодой человек занимается. Без ощущения важности того, чем ты занимаешься, очень тяжело чем-то заниматься

долгие годы, а именно, долгие годы занимают исследования, которые являются серьёзными исследованиями, которые потом ведут к научной степени. Поэтому нужно читать, нужно знать литературу, нужно знать, кто об этом уже думал, что об этом думал. И тогда будет ощущение важности происходящего. Тогда будет легче мучиться над задачей.

- **Стоит ли выбирать физику как профессию?**

Д.П.: Стоит, если для этого есть данные и есть ощущение, что никакая другая профессия не подойдёт.

© Choose to Study Russian for Professional Needs

Contact us: professional.russian@gmail.com



This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0 International License