



Нобелевская премия за открытие черных дыр

Нобелевская премия по физике за 2020 г. присуждена известному британскому ученому Роланду Пенроузу, математику и физику-теоретика, внесшему большой вклад в развитие теории черных дыр, а также двум астрофизикам, Рейнхарду Гецелю и Андреа Гез, возглавляющих группы наблюдателей, в течение двух десятилетий ведущие систематические наблюдения за движением отдельных звезд вблизи центра нашей Галактики, где предположительно находится сверхмассивная черная дыра.



Роланд Пенроуз, 2020.



Райнхард Гецель



Андреа Гез

Пенроуз принадлежит целый ряд научных его имя результатов в общей теории относительности (ОТО). Его работа о сингулярностях в ОТО, опубликованная в 1965 году, по праву считается одним из краеугольных камней этой теории. Она существенно изменила понимание таких решений ОТО, как метрика Шварцшильда, построенная еще в 1916 г. и в которой появился важнейший для теории черных дыр параметр — гравитационный радиус тела массы M : $r_g = 2GM/c^2$, где G — гравитационная постоянная,

c — скорость света. Метрика Шварцшильда имеет особенность при $r = r_g$, но в 1953 г. Леметр показал, что гравитационный радиус не является сингулярностью пространства-времени и возможно продолжение решения внутреннюю область $r < r_g$, названную И. Д. Новиковым в 1964 г. R-областью. Таким образом, полное решение Шварцшильда оказывается динамическим: при $r = r_g$ радиальная координата становится временной, а ее уменьшение означает необратимое движение вперед во времени. В момент «времени» $t = 0$ образуется сингулярное трехмерное пространство, избежать попадания в которое принципиально невозможно (еще раньше, в 1924 г., Эддингтон описал другое продолжение метрики через гравитационный радиус, которое, после работы Финкельштейна в 1958 года, стало называться продолжением Эддингтона-Финкельштейна и изложено сейчас во всех учебниках).

В 1939 г. Оппенгеймер и Снайдер рассчитали гравитационный коллапс материального тела, показав, что достижение гравитационного радиуса для внешнего наблюдателя длится бесконечно долго и сопровождается бесконечным красным смещением излучаемых с поверхности тела волн. В то же время, сопутствующий наблюдатель за колющее по своим часам время пересекает горизонт событий и попадает в сингулярность. Однако все эти чудеса ассоциировались с конкретной сферически симметричной метрикой, и большинству теоретиков (исключая самого Эйнштейна) представлялись следствием этой идеализации, не имеющими отношения к физике. Отношение к ним стало изменяться, когда усилился интерес к общим свойствам уравнений Эйнштейна и их предсказаниям. В 1955 г., год кончины А. Эйнштейна, Райчхарту опубликовал исследование общих свойств пучков геодезических линий в гравитационном поле, подчиняющихся уравнениям Эйнштейна, показав существование в них фокальных точек при выполнении довольно естественных предположений о материи, создающей гравитационное поле. Фокусировка геодезических линий, однако еще не означала сингулярности пространства-времени. Пенроуз, взяв за основу уравнение Райчхарту, анал ставшее сейчас нормой конструктивное определение сингулярности пространства как его *геодезической неополноты*, т.е. невозможности продолжить все геодезические кривые по афинному параметру (собственному времени для времениподобных траекторий) до бесконечности.

Другим важнейшим понятием, введенным Пенроузом, было понятие *замкнутой изолированной поверхности*, из-под которой световые лучи не могут выйти, будучи связанными сильным гравитационным полем. Доказанная им в 1965 г. теорема гласит, что если пространство-время обладает поверхностью Коши (такой, из которой можно попасть в любую точку в будущем, двигаясь вдоль геодезических), а также обладает замкнутой ловушкой поверхностью, то при выполнении изотропной энергетической условия это пространство неополно относительно продолжения изотропных геодезических (световых лучей). Эта теорема уже не опирается на сферическую симметрию решений, а имеет большую общность и проверяется, например, для метрики Керра, открытой в 1963 г. и интерпретируемой как внешняя метрика вращающегося тела.

Возникновение ловушечных поверхностей при гравитационном коллапсе сигнализирует об образовании *черной дыры*, а граница заполняющей ими области асимптотически стремится к ее *горизонту событий*, который представляет собой еще одно важнейшее понятие, введенное Пенроузом. В пространстве-времени Шварцшильда поверхность $r = r_g$ является горизонтом событий. Для покрытия пространства-времени за горизонтом требуется вторая карта, подобно тому, как поверхность Земли накрывается двумя плоскими картами полушарий.

Вскоре после работы Пенроуза, Стивен Хокинг осознал, что теорема Пенроуза может быть распространена и на космологическую сингулярность. Им был сформулирован ряд новых теорем о сингулярностях, применимых и к гравитационному коллапсу, и к космологии. При этом были привлечены ранее не использовавшиеся методы дифференциальной геометрии и топологии, а также введенное Пенроузом понятие о конформной бесконечности и диаграммы Пенроуза, наглядно изображающие причинную структуру пространства-времени. В 1970 г. Хокинг и Пенроуз опубликовали совместный обзор полученных результатов, которые в дальнейшем стали называться теоремами о сингулярности Пенроуза-Хокинга.



Р. Пенроуз в 60-е годы

В 1968 г. Пенроуз сформулировал теорему о горизонтах, послужившую отправной точкой для теоремы Хокинга о неубывании площади поверхности горизонта событий в процессах аккреции материи, слияния и распада черных дыр. В силу этого утверждения, черная дыра Керра не может распадаться на части, однако процесс слияния дыр возможен и может сопровождаться потерей массы на гравитационное излучение, что и было подтверждено в наблюдениях LIGO гравитационных волн в 2015 г. Аналогия теоремы Хокинга со вторым началом термодинамики была замечена Бекенштейном, а после открытия Хокингом квантового испарения черных дыр стало ясно, что горизонту событий действительно необходимо приписать энтропию, равную одной четверти его площади в планковских единицах. Таким образом, неубывание площади горизонта событий, по сути, означает выполнение второго начала термодинамики при гравитационном коллапсе, на самом деле сопровождаемом ростом энтропии, так как энтропия Бекенштейна-Хокинга оказывается больше исходной энтропии тела.

Пенроуз также ввел важнейшее понятие *космической цензуры*: сингулярности при гравитационном коллапсе должны быть скрыты от внешнего наблюдателя горизонтом событий. Это принцип не имеет строгого математического доказательства, но подтверждается рядом мысленных экспериментов, например невозможностью превратить заряженную или вращающуюся черную дыру в голую сингулярность, увеличивая ее заряд или момент вращения с помощью аккреции. С другой стороны, численные модели гравитационного коллапса сильно асимметричных сгустков материи показывают, что могут образоваться и голые сингулярности типа веретена, так что интерпретация сингулярных решений в ОТО по-прежнему является актуальной. В альтернативных теориях гравитации подобные решения могут оказаться несингулярными (D.V. Gal'tsov and M. Zhdikova, Phys.Lett. B790 (2019) 453–457).

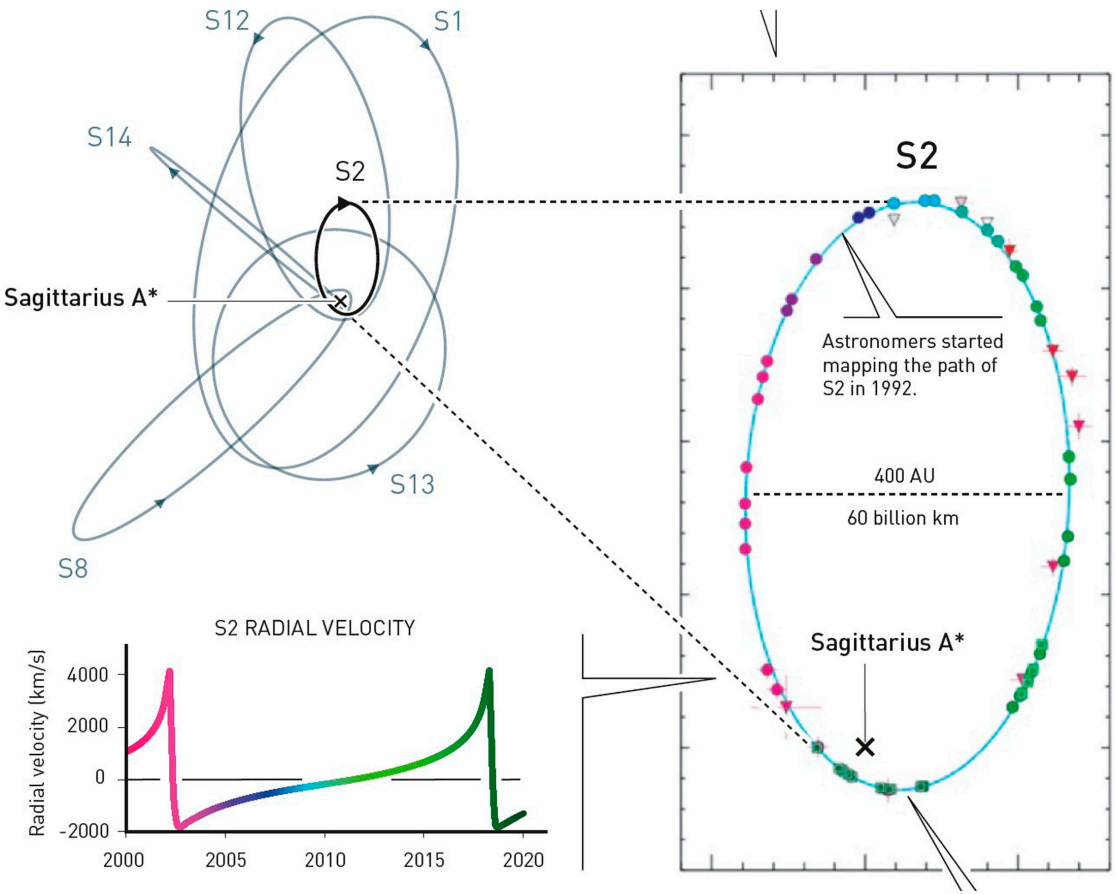
В дальнейшем Норман, Хокингом, Картером и другими авторами были доказаны теоремы единственности метрик Шварцшильда и Керра в классе статических и стационарных асимптотически плоских решений с регулярным горизонтом событий. Уидер, который и ввел в 1968 г. термин «черная дыра», принадлежал ставшему популярным высказыванию «черная дыра не имеет волос», означающее, что при коллапсе все высшие multipole-моменты коллапсирующего тела должны исчезать, оставая в качестве параметров черной дыры лишь масса, момент вращения и, возможно, электрический заряд. Чандрасекар, в своей обшей монографии «Математическая теория черных дыр», назвал черные дыры самыми универсальными объектами в физическом мире. Оказалось, однако, что запрет на волосы все же имеет ограниченный характер. В 1989 г. было показано, что теорема не выполняется, если источником гравитации является поле Янга-Миллса (М.С. Волков и Д.В. Галтов, Письма в ЖЭТФ 50 (1989) 312–315), в дальнейшем появились и другие контрпримеры (М.С. Волков and D.V. Gal'tsov, Phys.Rept. 319 (1999) 1–83).

Пенроуз принадлежит также важные результаты математического характера. В 1962 г. им совместно с Ньюменом был предложен спинорный формализм для описания безмассовых полей, включая гравитацию (формализм Ньюмена-Пенроуза), а затем теория твисторов, на которую возлагались большие надежды в плане квантования гравитации. Эта теория составила содержание двухтомного фундаментальной монографии (совместно с В. Риндлером) «Спиноры и пространство-время», вышедшей в свет в 1984 г. и переведенной на русский язык в 1986 г.: <https://arxiv.org/abs/0811048>, <https://www.nobelprize.org>

Формализм Ньюмена-Пенроуза лежит в основе классификации и отыскании новых точных решений уравнений Эйнштейна и Эйнштейна-Максвелла, а также в исследованиях полевых и квантовых процессов в черных дырах (Д.В. Галтов, «Частицы и поля в окрестности черных дыр», М., Изд-во МГУ, 1986, 289 с.).

Теоретические открытия (60-х годов были стимулированы новыми результатами астрономических наблюдений и попытками их интерпретации как черных дыр. В 1964 г. был открыт Лебедь X1 — галактический источник рентгеновского излучения в созвездии Лебедя, который, после запуска рентгеновского спутника UHURU в 1971 г., был идентифицирован как черная дыра. Появилась гипотеза, что открытые в конце 50-х годов квазары являются результатами присутствия сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик. В 90-е годы начались систематические наблюдения за центральной областью Млечного пути, где был обнаружен яркий радиосточный SgrA*, с 1995 г. астрономы отслеживали движение 90 звезд, вращающихся вокруг невидимого объекта, совпадающего с этим радиосточным, и в 1998 г. сделали вывод, что объект с массой 2,6 миллиона солнечных масс должен содержаться в объеме с радиусом 0,02 светового года.

Наблюдения стали существенно более точными, когда Европейской Южной Обсерваторией была развернута система из четырех 8-метровых телескопов (Very Large Telescope, VLT) в пустыне Атакама в Чили, где вела наблюдения группа, возглавляемая Райнхардом Гецелем (Reinhard Genzel). К 2012 г. удалось достичь коррелированную систему наблюдений в оптическом инфракрасном диапазонах с эффективной апертурой 130 м, что позволило достичь необходимого углового разрешения. Параллельно группа Андреа Гез (Andrea Ghez) вела наблюдения в обсерватории Кека на Гавайях. С тех пор одна из звезд — S2, с периодом обращения 16 лет — совершила полный оборот (см. рис.).



На основе орбитальных данных астрономы смогли уточнить массу до 4,3 миллиона солнечных масс и радиуса менее 0,002 световых лет для объекта, вызывающего орбитальное движение. Верхний предел размера объекта все еще слишком велик, чтобы проверить, меньше ли он радиуса Шварцшильда; тем не менее, эти наблюдения убедительно свидетельствуют о том, что центральным объектом является сверхмассивная черная дыра, поскольку нет других вероятных сценариев удержания такой большой невидимой массы в таком небольшом объеме. Кроме того, есть некоторые данные наблюдений, свидетельствующие о том, что этот объект может обладать горизонтом событий, полученные коллаборацией «Телескоп Горизонта Событий» (The Event Horizon Telescope, EHT) — это глобальная сеть радиотелескопов, расположенных в разных точках земного шара и выполняющих синхронизированные наблюдения с использованием метода интерферометрии со сверхдлинной базой (VLBI). Вместе они образуют виртуальную радиотарелку размером с Землю, обеспечивая исключительно высокое разрешение изображения. К сожалению, облака межзвездного газа затрудняют полноценное использование этого инструмента для изучения черной дыры в центре нашей Галактики, но наблюдения за черной дырой в галактике M87 увеличились успешным получением «изображения» этой черной дыры с массой в 6,5 миллиардов солнечных масс, которая находится от нас на расстоянии 55 миллионов световых лет. Математическим моделированием визуализации компактных объектов в последние время занимается кафедра теоретической физики МГУ, где Кириллу Кобялко удалось построить новую математическую теорию обобщенных фотонов эффект (Phys. Rev. D99, 084043; D100,104005 (2019); Eur.Phys.J. C80, 527 (2020)).

В подробном обосновании своего решения Нобелевский комитет (<https://www.nobelprize.org/uploads/2020/10/advanced-physicsprize2020.pdf>) дает обзор развития теории черных дыр и истории их наблюдений, в которомosome полно отражен вклад советских и российских ученых, а замечательная работа Беллинского, Лифинца и Халатникова цитируется лишь как повод для критики. Между тем выдающийся вклад Я.Б. Зельдовича, И.Д. Новикова, А.А. Старобинского, В.П. Фролова и других теоретиков в развитие представлений о черных дырах широко признан мировым сообществом, равно как и вклад астрономов и астрофизиков. Дополнительную информацию можно найти в обзоре А.М. Черепашука в УФН (2003) (<http://www.mathnet.ru/links/e915054958db97b7c368559492d41ac/ufn12126.pdf>)

Профессор кафедры теоретической физики Д.В. Галтов

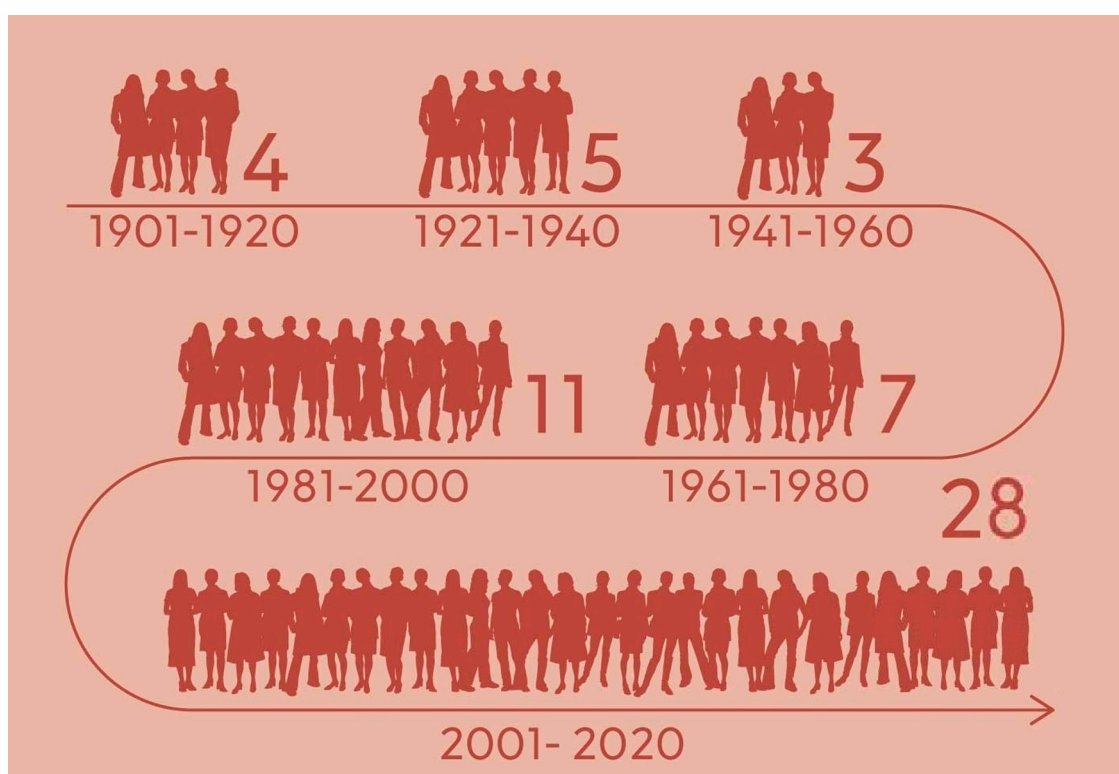
Женщины, изменяющие мир

(К 120-летию нобелевского движения)

Альфред Нобель (1833–1896), развивавший в Швеции и треть жизни проживший в России — один из ярких представителей творцов XIX в. Будучи ученым, изобретателем и промышленником он получил 355 наград, но самым выдающимся стало его незапятнанное изобретение — Нобелевская премия.

Свое огромное состояние Альфред Нобель завещал на создание премияльного фонда для ученых, чьи работы внесут решающий вклад в развитие человечества в области физики, химии, медицины и физиологии, литературы и за деятельность по укреплению мира. Одновременно в 50 лет вручается премия памяти Нобеля за достижения в экономических науках, учрежденная Шведским национальным банком. Устав независимого Но белевского Фонда был подписан шведским королем 120 лет назад 29 июня 1900 г. В период

1901–2020 гг. было награждено 934 лауреата и 28 организаций. В области физики в числе 216 лауреатов — 4 женщины, химии — 1867, медицине — 222/12, литературы — 117/16, премии мира — 107/17 и премии по экономике — 86/2 (<https://www.nobelprize.org>). Из 20 лауреатов, получивших Нобелевскую премию в период с 1904–2003 гг., родившихся и работавших в России и СССР, 8 были сотрудниками или выпускниками физического факультета МГУ. Женщин среди них не было.



В период 1903–2020 гг. 58 раз женщины награждались Нобелевской премией и премией памяти Нобеля по экономике <https://www.nobelprize.org>

Почему наблюдается существенный гендерный разрыв в нобелевском процессе? Некоторые причины очевидны: до середины XX века число женщин в физике было невелико во всем мире, а в XIX в.х доступ к науке и образованию в большинстве стран был полностью закрыт, что было причиной миграции одаренных девушек в ведущие центры европейской науки. Например, Софья Ковалевская, первая в мире женщина — профессор математики, фактически вышла замуж, чтобы уехать учиться из России в Германию. Мария Склодовская-Кюри, развивавшая в Варшаве, поступила в Сорбонну, хотя после окончания факультета естественных наук долго мечтала вернуться и работать в родной Польше. Она стала первой женщиной — лауреатом Нобелевской премии (премия по физике 1903 г.), которую разделила с мужем П. Кюри и А. Беккерелем. После вручения М. Склодовской-Кюри в 1911 г. второй, уже личной Нобелевской премии по химии, научная общественность признала равноправие ученых, женщин и мужчин. Ее старшая дочь Ирен Жолио-Кюри, французская ученая-физик, также получила в 1935 г. Нобелевскую премию по химии вместе с супругом Ф. Жолио. Талантливая сестрица Милены Марии приехала учиться в Цюрих, где в Политехникуме познакомилась с молодым Альбертом Эйнштейном. После их бракосочетания в 1903 г. и рождения троих детей карьера Милены прервалась, но она постоянно до их расставания оказывала помощь мужу в его научной деятельности. Можно привести много примеров самоотверженности жен наших соотечественников — нобелевских лауреатов. П.Л. Капица, с 1921 г. работавшая в Кембридже, по любви переехала в Париж познакомившись с русской эмигранткой Анной Крыловой, которая, для того чтобы стать возможным их бракосочетание, приняла советское гражданство. В 1934 г., во время краткого визита в СССР ученого не выпустили из страны, и Анна через два года навсегда приехала из Англии к мужу с двумя их маленькими сыновьями. Вместе они прожили счастливо более полувека.



Анна Алексеевна и Петр Леонидович Капица, Париж, 1927 г.

Австрийский физик и радиохимик Лиза Майтнер, которую Эйнштейн называл «машинкой Мари Кюри», была первой женщиной — профессором физики в Германии. В период 1924–1965 гг. ее неоднократно номинировали на Нобелевскую премию; 29 раз в области физики и 19 в области химии. Она так и не дождалась своей Нобелевской премии. Будучи убежденной пацифисткой, Майтнер отказалась работать над атомным проектом в Америке. Спустя годы простила всех, но не Германию, покинув ее в 1938 г., она никогда больше не возвращалась в эту страну.

После окончания Второй Мировой войны правительство скандинавских стран в знак благодарности СССР за победу выдвигали на премию мира Александру Коллонтай. В 1946 г. на премию по медицине и физиологии были номинированы советские ученые супруги М.Н. Любимова и В.А. Энгельгардт. Второй женщиной, получившей премию по физике, в 1963 г. стала Мария Гейпсрт-Маьер «за открытия, касающиеся обобщенной структуры ядра». Она родилась в г. Катowitz, в 1930 г. переехала из Германии на родину мужа в США, и долгое время беспрестанно преподавала в тех университетах, где он работал. Именю Маьер показала, что женщины могут достичь самых высоких вершин даже в теоретической физике. Американское физическое общество учредило в её честь награду, присуждаемую молодым женщинам-физикам в начале научной карьеры. В 1964 г. единолично получила премию по химии мать четырех детей, англичанка Дороти Кроуфут-Ходжкин «за определение с помощью рентгеновских лучей структуры биологически активных веществ». Королевское общество присуждает стипендию ее имени «за выдающихся ученых на ранней стадии их исследовательской карьеры, которая требует гибкости из-за личных обстоятельств, таких как воспитание детей или причин, связанных со здоровьем».

Торжественная церемония награждения премией всегда проходит 10 декабря в день памяти Нобеля, к сожалению, в 2020 г. она не состоялась. На открытие церемонии Шведский король ведет под руку женщину — лауреата Нобелевской премии, а если таковой нет, то жону лауреата по физике. Одна из страниц официального сайта о Нобелевских премиях называется «Женщины, которые изменили мир». О каждой дана информация о месте ее рождения, месте работы на момент получения премии, личном вкладе и основании для присуждения награды (для получивших премию по литературе дополнительно — место проживания и язык произведений). На персональной странице представлены ответы на вопросы: «Что для вас значило и интересно, а также Нобелевская лекция, которую лауреат обязан прочесть в течение 6 месяцев после награждения. В ответном слове американский биофизик Розалин Яблоу, получившая Нобелевскую премию по медицине в 1977 г. «за развитие радиоиммунологических методов определения пептидных гормонов» особое внимание уделила дискриминации женщин в научной

среде. Она отметила, что многие в обществе все еще полагают, что женщина не может претендовать на равное положение с мужчинами ни на работе, ни в семье. Если среди студентов, по крайней мере в западном мире, наблюдается гендерный паритет, то чем выше пост в науке, преподавании и управлении, тем доля женщин явно уменьшается, хотя для такой диспропорции нет никаких объективных причин. По ее убеждению, женщины должны пресупеть в соединении своего таланта, усердия и смелости, и осознать свою ответственность за тех, кто придет после них. Мир не вправе пренебречь половиной людского интеллектуального ресурса перед лицом многообразных проблем человечества».

Через сорок лет в своих интервью эти же темы уделяла внимание американка, ученый и инженер Фрэнсис Арнольд, получившая Нобелевскую премию по химии в 2018 г. за работы по направленной эволюции. Она отметила проведение значительной работы по созданию равных социальных условий для женщин и мужчин в современном обществе. При этом, по ее мнению, многие женщины не стремятся занимать ответственные и трудные позиции, и предпочитают оставаться на более скромных и спокойных должностях. И хотя среди всех выпускников университетов девушек и юношей поровну, доля женщин — профессор по-прежнему невелика и составляет лишь 20%. Обращаясь к молодежи, Ф. Арнольд говорила: «Надо стремиться к широкому образованию. Когда, если не в двадцать лет можно целиком отдать себя науке? Чтобы изменить мир, надо быть безграничной и готовыми к новым свершениям». Примером для молодых может служить карьера Элизабет Блэкберн, которая родилась на острове Тасмания, училась в университете Мельбурна, докторскую степень получила в Кембридже. Со своей коллегой и ученицей Кэри Грейдер они разгадали загадку старения человека и в 2009 г. получили совместно премию по медицине и физиологии «за открытие механизмов защиты хромосом теломеразами и фермента теломеразы». В настоящее время она возглавляет Институт биологических исследований Солка в США.

В XXI веке из 28 женщин — нобелевских лауреатов 12 получили премию в области естественных наук, что составляет лишь 8% от общего числа лауреатов, мужчин и женщин в этих номинациях. Отчасти это связано с тем, что для подтверждения и признания открытий порой нужны десятилетия, а в прошлом веке среди ученых было значительно меньше женщин. В наше время в разных странах существуют различные программы развития и поддержки женщин в STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) образовании и занятости в области естественных наук, технологии, инженерии и математике. С 2002 г. Международный союз теоретической и прикладной физики раз в три года проводит конференции женщин-физиков (IUPAP ICWP), где команды участвующих стран, включая РФ, выступают с презентациями о своих успехах и проблемах в науке и образовании. В 2017 г. на съезде с пленарным докладом «Unlatching for... and finding! gravitational waves» выступала аргентинский профессор физики и астрономии Габриэла Гонсалес — официальный представитель международного сообщества LIGO, объединяющего около тысячи человек, в том числе ученых физического факультета МГУ. Открытия все чаще делаются большими научными коллективами, но Нобелевская премия вручается только персонально. Трое мужчин — соавсателей коллаборации LIGO стали лауреатами нобелевской премии по физике в 2017 г. «за экспериментальную регистрацию гравитационных волн». Для мирового научного сообщества знаменательно, что в 2018 г. третья женщина, канадка Донна Стрикленд, получила Нобелевскую премию по физике за методы генерации высокоэнергетических ультракоротких оптических импульсов, а всего через два года в 2020 г. за открытия, связанные с одним из самых необычных явлений — черной дырой — в числе трех лауреатов была американка, астроном Андреа Гез.

Женщины составляют более трети из числа ученых в мировой науке, но при выборе образования их ценностные ориентиры из-за гендерных стереотипов по-прежнему отличаются от мужских, они отстают в выборе специальностей из STEM-областей, которые определяют уровень технического развития, рост экономики и благосостояния любой страны. Они несут значительную семейную нагрузку, и порой менее амбициозны, им приходится преодолевать множество препятствий в реализации карьеры.

На физическом факультете среди аспирантов, научных сотрудников и преподавателей, руководителей грантов женщины составляют 25–30%. За последние 20 лет доля женщин — физиков, защитивших докторские диссертации в МГУ, возросла до 15%, и защиты происходят в более молодом возрасте. Наши сотрудники были лауреатами премии им. И.И. Шувалова за докторские диссертации, выполненные в МГУ учеными не старше 40 лет и лауреатами национальной премии фонда L'Oréal-UNESCO «Для Женщин в Науке» среди кандидаток и докторов наук в возрасте до 35 лет.

В последние годы Генеральный секретарь Королевской шведской академии наук Горан Ханссон неоднократно отмечал, что Нобелевские комитеты заинтересованы, чтобы больше женщин-ученых номинировались на премию, но их число все еще остается неоправданно малым. Он выражает надежду, что в ближайшие годы мы увидим совсем другое распределение. Мы же надеемся, что среди них будут и наши соотечественницы, а может быть, выпускницы или сотрудницы физфака МГУ.

Е.О. Ермолаева, Кафедра акустики

Нейтрино высоких энергий от ядер активных галактик

Нейтрино — одна из наименее изученных и наиболее удивительных элементов частиц. В связи с уникальностью их свойств научный интерес к астрофизическим нейтрино, без преувеличения, огромен. Жизнь физиков, занимающихся элементарными частицами, была бы скучна после открытия бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере, если бы не результаты нейтринной астрономии. Новая область науки, астрофизика элементарных частиц, родилась с регистрацией нейтрино от первого астрофизического объекта, Солнца. Это явилось прямым подтверждением термодермических реакций в недрах наших звезды и были открыты осцилляции нейтрино, то есть изменения типа нейтрино в процессе их распространения, запрещенного в Стандартной модели физики элементарных частиц. Второй после Солнца нейтринно оказался, по результатам астрономических наблюдений, сверхновой 1987А. Исследования нейтрино привели уже к двум Нобелевским премиям (2002 и 2015 гг.). По оценке Нобелевского комитета в 2015 году, открытие нейтринных осцилляций «изменило наше понимание самой основополагающей структуры материи, ее истории и будущего Вселенной». Один из нас много лет назад участвовал в историческом семинаре в ИАНИ МГУ, когда академик Я.Б. Зельдович, обладая Звездой Звезда Герда Гурда, в своем докладе восторженно рисовал захватывающие перспективы «новой космологии» в связи с обсуждением захватывающего сообщения советских физиков об открытии нейтринной массы покоя нейтрино (которое, однако, не подтвердилось в дальнейшем — на самом деле масса нейтрино оказалась гораздо меньше, чем тогда думали).

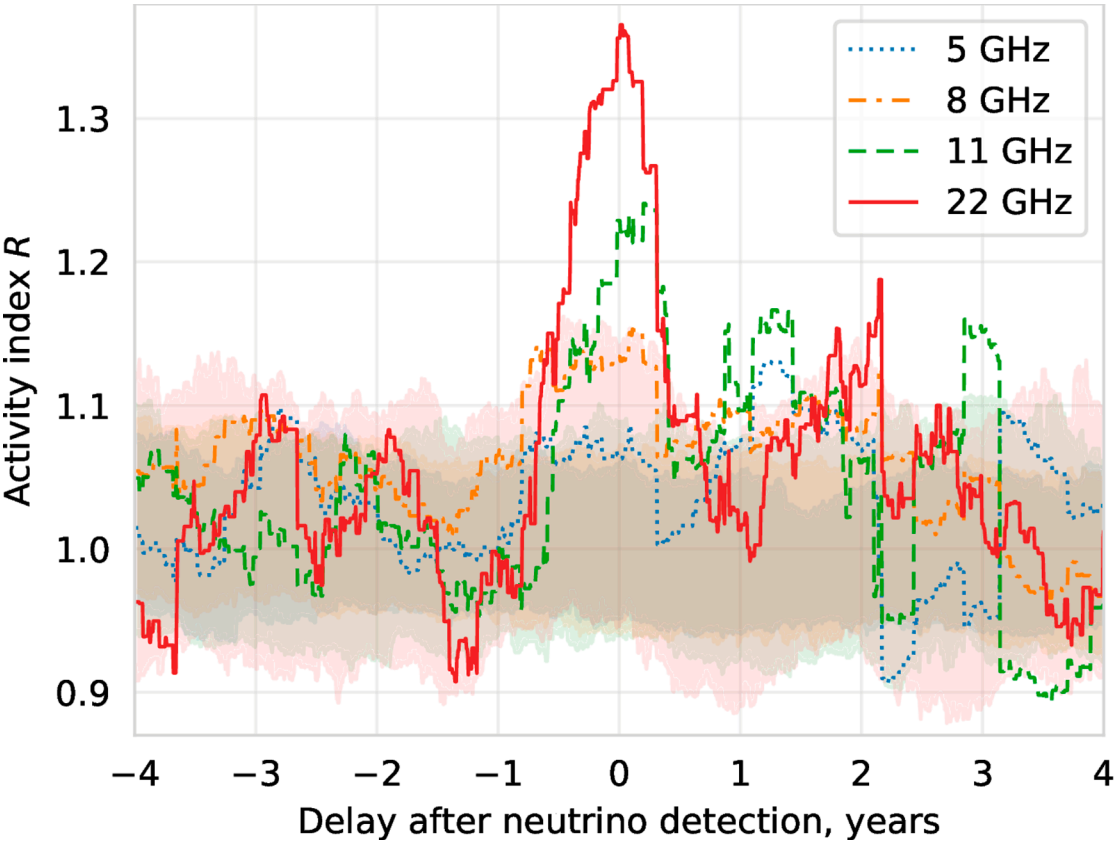
Уже семь лет назад расположенная глубоко под льдом на Южном полюсе нейтринная обсерватория IceCube объявила об открытии нескольких нейтрино с энергиями выше десятков тераэлектронвольт (ТВэ). Зарегистрированы сотни таких событий, но происхождение их было загадкой — хотя нейтрино распространяются практически на все, с точностью до ошибок реконструкции, указывать на их астрофизические источники. Нейтрино столь высоких энергий могут рождаться в реакциях рассеяния ультрарелятивистских протонов на среде (протон-протон) или излучении (протон-фотон). Потому настолько интересно разобраться в их источниках. Источники должны указывать на «космические супер-ускорители», которые могли бы разогнать протоны до энергий, на порядки превышающих достигнутые на Большом адронном коллайдере.

В непосредственной близости центральных сверхмассивных черных дыр в квазарах условия для такого ускорения могут выполняться. Тем не менее, предыдущие попытки поиска популяции источников нейтрино, основанные на каталогах ярких в гамма-диапазоне квазаров, не привели к успеху. Лишь для одного нейтрино (с энергией 290 ТВэ), зарегистрированного 22 сентября 2017 года, был найден, по сопутствующему гамма-излучению, вероятный источник — далекий квазар TXS 0506+056, — в то время как для десятков других подобных событий аналогичный анализ никак не выявил. А вдруг это случайное, одно на 10 лет, совпадение?

В нашей работе мы предложили новый подход и воспользовались многолетними данными наблюдений сетей радиотелескопов. Именно радионтерферометры со сверхдлинными базами (РСДБ) позволяют достичь самого лучшего углового разрешения в астрономии и «разглядеть» наиболее близкие к центральным черным дырам области квазаров. Сравнение направлений прихода нейтрино и положений РСДБ-ярких квазаров позволило сделать статистически значимый вывод о происхождении нейтрино с энергиями выше 200 ТВэ в центрах ярких квазаров. Ключевым моментом в этом открытии стало использование радионастрономических данных. Найденный ранее TXS 0506+056 оказался одним, хотя далеко не самым выдающимся, представителем обнаруженного класса источников нейтрино.

Центральные области активных галактик нестационарны. Падение вещества на черную дыру и непрерывный отток струи релятивистской плазмы от ее окрестности происходит непрерывно. В частности, время от времени выбрасываются сгустки плазмы повышенной плотности. Это видно на полученных методом РСДБ изображениях, а полный радиолоток излучения квазара в такие периоды возрастает. Связано ли рождение нейтрино с такими вспышками? Трудоемкость и высокая стоимость РСДБ наблюдений не позволяет ответить на этот вопрос на основе имеющихся данных — каждый «удачный» квазар наблюдается редко. Для проверки возможной связи нейтрино с такими вспышками мы использовали данные мониторинга квазаров, ведущегося уже несколькими десятками лет на радиотелескопе РАТАН-600 Специальной астрофизической обсерватории РАН на Северном Кавказе. В его рамках по 3–4 раза в год наблюдается около тысячи активных галактик. Для данной задачи РАТАН-600 был и остается уникальным инструментом в мире благодаря массовым практически мгновенным измерениям многочастотных спектров широкодиапазонного радиоизлучения.

Мы отобрали около 1100 компактных активных галактик, наблюдавшихся на РАТАН-600 одновременно на 6 разных волн от 1,4 до 30 см в 2009–2019 годах (период работы IceCube) по нескольким раз в год и проанализировали корреляцию радиоиспускания в них с моментами регистрации нейтрино высоких энергий с этих направлений. И действительно, оказалось, что нейтрино «предпочитают» приходить в те моменты, когда в квазарах наблюдается вспышка радиоизлучения (см. рисунок). Такое поведение нейтрино независимо подтверждает происхождение нейтрино в центрах квазаров.



Премещение нормированного потока радиоизлучения квазаров, совпадающих с нейтрино, над средним в зависимости от времени до/после прихода нейтрино (усреднено по выборке).

Работа по тематике «нейтрино-квазары» продолжается. Надо проверить и уточнить результаты, а также разобраться в механизме ускорения массивных протонов и рождения нейтрино. Это будет делаться как с помощью новых событий IceCube, так и с нейтрино, зарегистрированными из Северного полушария новым нейтринным телескопом на озере Байкал. Этот телескоп Baikal-GVD уже набирал данные в неполной конфигурации, а в 2021 году должен был завершить эффективную работу IceCube. Для изучения ассоциаций нейтрино с радиоизлучением программными методами выделено наблюдательное время как на РСДБ-сетях, так и на РАТАН-600.

У студентов физического факультета МГУ есть замечательная возможность разделить с нами удовольствие от занятий этой уникальной наукой, нейтринной астрономией. Причем, на выбор как теория, так и эксперимент. Рецепт прост: обращайтесь на кафедру физики частиц и космологии.

А.В. Плавин, Ю.Ю. Ковалев, Ю.А. Ковалев, С.В. Трунцой

5 июня 2020 года было опубликовано решение о присуждении заведующему кафедрой физики частиц и космологии, академику РАН Валерию Анастольевичу Рубакову Гамбургской премии по теоретической физике.

В преамбуле к награде отмечается, что важнейшие продвижения в раскрытии загадки происхождения Вселенной, совершенные исследователями коллаборациями мира в течение последних нескольких лет, зачастую опирались на работы Валерия Анастольевича.

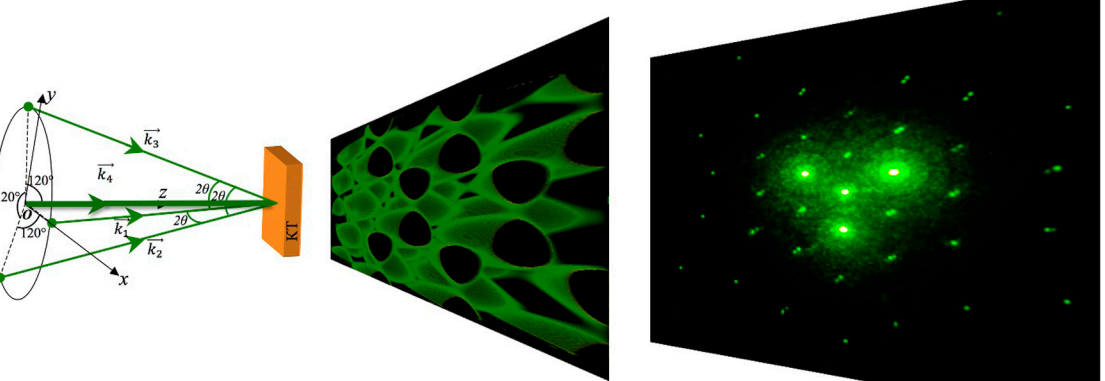


Сердечно поздравляем Валерия Анастольевича!

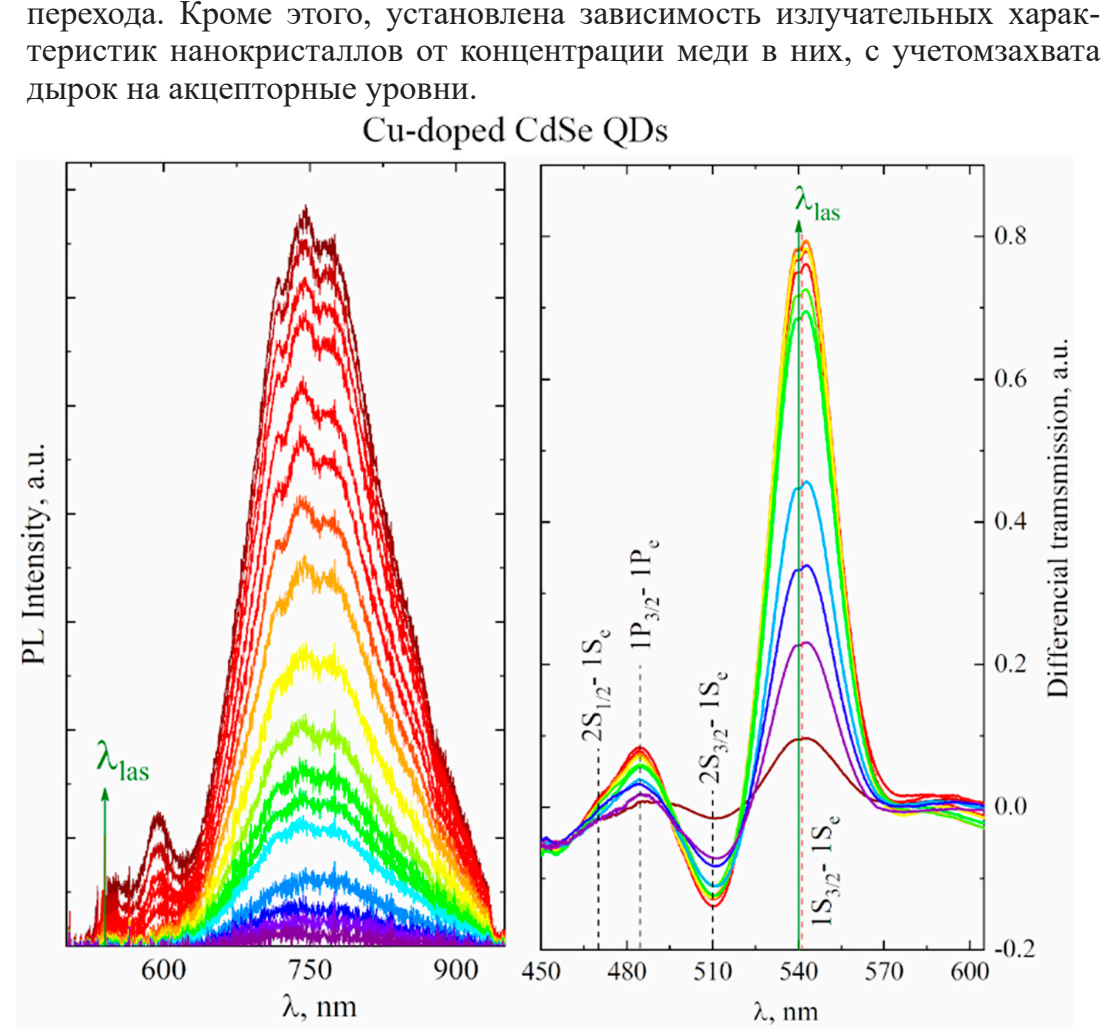
Коллоидные квантовые точки — исследования и возможные применения

В настоящее время на кафедре физики полупроводников и криоэлектроники ведется активная работа по ряду современных актуальных научных направлений в области экспериментального и теоретического исследования оптических и электронных свойств полупроводниковых наноструктур различной размерности. Одной из ведущих лабораторий кафедры является лаборатория «Полупроводниковой оптоэлектроники», созданная при кафедре физики полупроводников в 1990 году в соответствии с приказом рекана физического факультета А.П. Сухорукова № 12 от 24 января 1990 года. С момента основания лаборатория ее бесценным руководителем является профессор доктор физико-математических наук В.С. Днипровский, известный своими передовыми научными работами в области нелинейной оптики полупроводников и полупроводниковых структур пониженной размерности. С 1990 года в лаборатории был защищен целый ряд докторских и кандидатских диссертаций. В настоящее время в лаборатории ведутся как экспериментальные, так и теоретические научные исследования. Сотрудниками лаборатории были разработаны высокоэффективные теоретические и экспериментальные подходы к исследованию оптических, нелинейно-оптических и электронных свойств систем полупроводниковых квантовых точек, а также структур, формируемых на их основе в результате взаимодействия с ультракороткими лазерными импульсами. Разработаны новые методики лазерной спектроскопии, позволяющие детально изучать физические механизмы, ответственные за нелинейно-оптические свойства низкоразмерных полупроводниковых структур. Проводятся исследования оптических и нелинейно-оптических свойств экситонов в нуклеарных, ономерных и квази двумерных коллоидных нанокристаллах. Исследуются свойства стационарного и нестационарного электронного транспорта в полупроводниковых наноструктурах. Методом лазерной спектроскопии были выявлены физические основы нестационарно-оптических процессов, ответственных за явления самодифракции и самовоздействия в коллоидных растворах квантовых точек, являющиеся основой для создания динамических элементов современной оптоэлектроники. Также были разработаны методы теоретического описания особенностей оптического отклика ансамблей квантовых точек на внешнее воздействие со стороны лазерного излучения и особенностей динамики квантовых точек под действием сил, обусловленных взаимодействием квантовой точки с полем электромагнитной волны, что позволило выявить целый ряд новых эффектов и явлений, таких как селективная природя сил, действующих на резонансную квантовую точку, формирование потоков коллоидных квантовых точек и появление динамических фотонных кристаллов, обусловленных изменением концентрации коллоидных квантовых точек по пространству юкветы в следствии различного отклика точек разного размера на внешнее воздействие. Обнаруженные эффекты могут быть применены для получения полупроводниковых наноструктур с заданными оптическими и электронными свойствами и создания на их основе новых типов приборов нано- и оптоэлектроник: сверхбыстрых зарядовых переключателей, устройств динамической памяти, микросерверов и излучателей, а также эффективных мембран и биомаркеров.Среди наиболее интересных результатов, полученных в лаборатории за последние годы, можно выделить следующие:

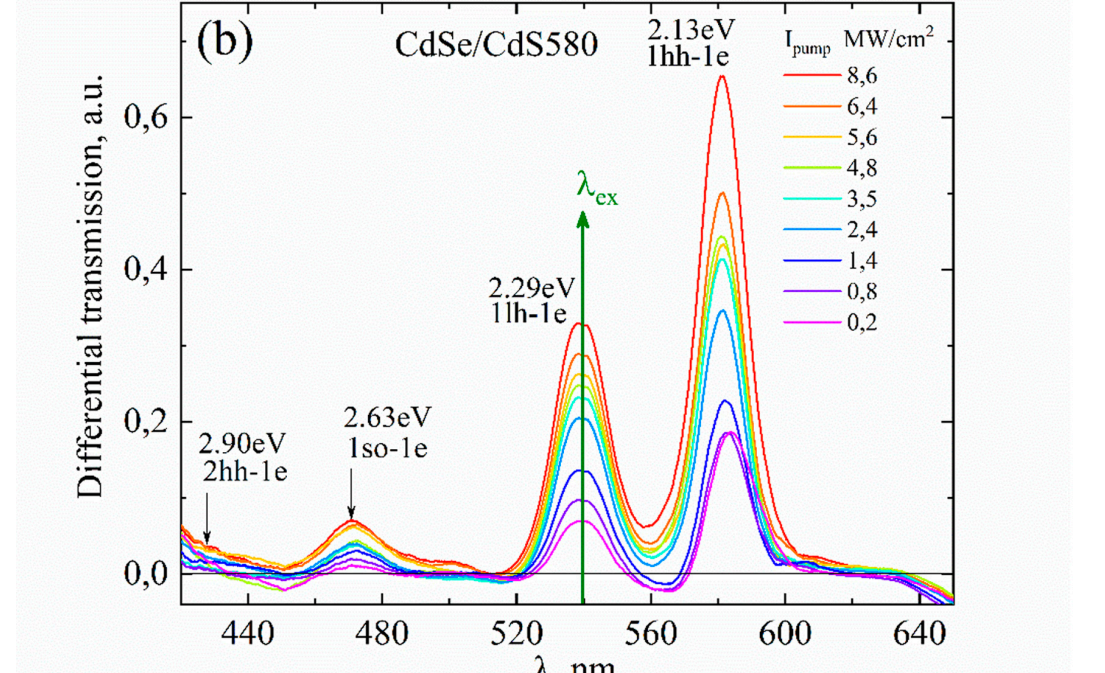
- Экспериментально продемонстрирована возможность формирования динамических фотонных кристаллов различной размерности в коллоидном растворе квантовых точек.



- Исследованы оптические свойства нанокристаллов, легированных примесями атомами меди. Промоделировано насыщение поглощения основного экзитонного перехода, наведенное поглощение вышележащего перехода. Кроме этого, установлена зависимость излучательных характеристик нанокристаллов от концентрации меди в них, с учетом захвата дырок на акцепторные уровни.



- Исследован нелинейно-оптический отклик коллоидных нанополостей, сделанных кадмия и окрестности резонансов экзитонных переходов, связанными с тяжелыми, легкими и спин-орбитально отщепленными дырочными подзонами.



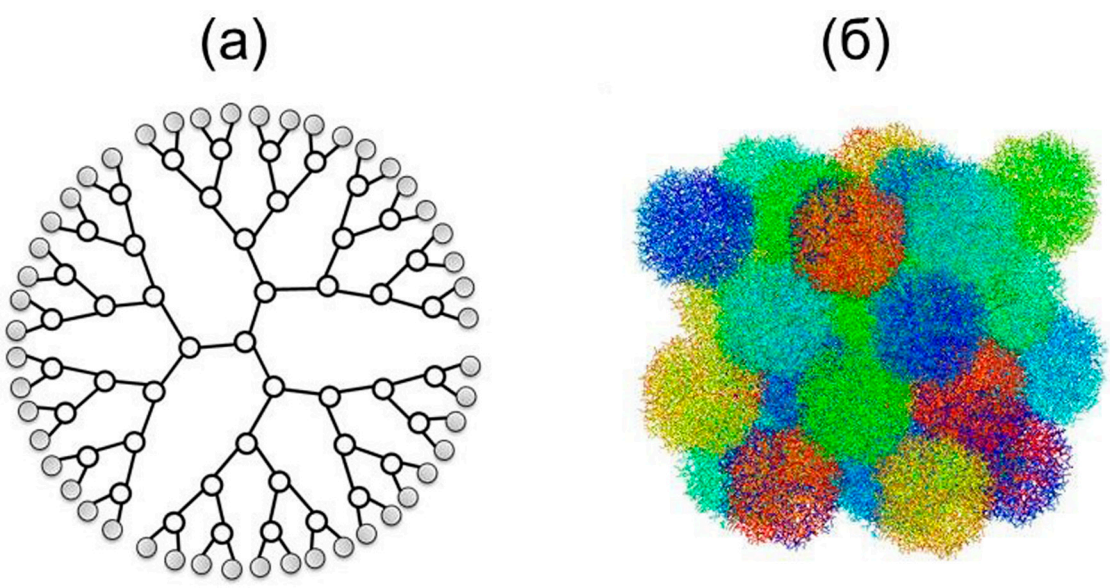
- Разработан теоретический подход для анализа стационарного и нестационарного электронного транспорта в системах коррелированных квантовых точек.

Полученные результаты опубликованы в ведущих международных научных журналах представлены на ведущих российских и международных конференциях по физике полупроводников и наноструктур. В том числе был сделан ряд приглашенных докладов, а также прочитаны лекции для молодых ученых в рамках участия сотрудников лаборатории в научных школах.

Выпускники лабораторий работают в ведущих международных (США, Германия, Китай, Индия, Вьетнам) и российских (ИРЭ РАН, ФГУП ВНИИОФИ, Сколтех) университетах и научных центрах.

В.Н. Манцевич, А.М. Смирнов

Внутримолекулярная динамика расплавов силоксановых полимеров



(а) схематическое изображение молекулы дендримера, (б) микроскопический снимок модельного расплава дендримеров

Сотрудники лаборатории физики новых интеллектуальных полимерных материалов кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ совместно с коллегами из Института прикладной математики им. М.В. Келдыша и Института химической физики им. Н.Н. Семёнова изучили свойства расплавов двух гомологических рядов силоксановых дендримеров в широком диапазоне генераций и температур. Это исследование — важный шаг на пути к пониманию связи между молекулярной структурой и свойствами этих макромолекул и созданию функциональных материалов на их основе для использования, например, в электронных устройствах. Результаты работы опубликованы в журнале Soft Matter.

Строение макромолекулы определяет физические свойства растворов и расплавов полимеров. Например, разветвлённые полимеры ведут себя иначе, чем их линейные аналоги того же химического состава и молекулярной массы. Выявление взаимосвязи между молекулярной структурой и свойствами является непростой задачей: чем сложнее архитектура макромолекулы, тем труднее её решение. Описание системы заметно упрощает регулярность строения. Большое значение при этом имеют регулярные сверххвостовые макромолекулы с древовидным строением, называемые дендримерами. Их синтез и поведение в разбавленных растворах подробно исследовались с помощью компьютерного моделирования. Однако влияние специфической древовидной структуры на межмолекулярные взаимодействия в концентрированных растворах и расплавах до сих пор полностью не понято. Чтобы отделить чистый эффект от регулярно разветвлённой морфологии дендримера, нужно исследовать молекулы без каких-либо специфических взаимодействий.

Силоксановые дендримеры, в составе которых нет каких-либо групп со специфическим взаимодействием, — пример идеальных модельных систем, перспективных для определения влияния структуры дендримеров на их поведение в расплавах.



«Изучение силоксановых дендримеров даёт возможность различать явления, характерные для дендримерных систем в силу их древовидной структуры и некоторых особенностей, определяемых химическим составом», — рассказала один из авторов работы, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ Елена Крамаренко.

Физики МГУ совместно с коллегами выполнили полномостное молекулярно-динамическое моделирование расплавов двух типов полисилоксановых дендримеров, различающихся длиной спейсеров, в широком интервале температур и генераций, а после сравнили основные равновесные характеристики этих расплавов.

«Было показано, что плотность расплава возрастает с увеличением генерации и уменьшается с ростом температуры. Коэффициент теплового расширения расплавов низких генераций повышается с ростом температуры,

что в конечном счёте указывает на своего рода «испарение» расплавов. Напротив, термическое расширение расплавов замедляется с ростом температуры в случае дендримеров высоких генераций из-за их более плотной молекулярной структуры и большей молекулярной массы», — пояснила Елена Крамаренко.

Кроме того, сравнив молекулярную структуру и внутримолекулярную динамику дендримеров в расплаве и в изолированном состоянии, учёные выяснили, как взаимодействие и взаимопроникновение молекул влияет на их конформацию. Оказалось, что межмолекулярные взаимодействия в расплавах практически не изменяют внутреннюю структуру молекул дендримеров. В частности, полностью сохранилась чётко выраженная слоистая структура их внутренней части. Форма дендримеров, которая с увеличением генерации становится ближе к сферической, также практически не зависит от присутствия соседних молекул.

Особое внимание исследователи уделили явлению взаимопроникновения. Анализ показал, что профили радиальной плотности практически не подвержены влиянию соседних молекул и довольно хорошо совпадают с таковыми для изолированных дендримеров в вакууме, хотя те могут эффективно проникать друг в друга. Судя по всему, соседние молекулы в расплавах располагают свои ветви так, чтобы не нарушать распределение плотности внутри дендримера.

Ещё один любопытный факт: в то время как дендримеры более низких генераций глубоко проникают друг в друга, дендримеры более высоких генераций вытесняют друг друга, так что с увеличением генерации область взаимопроникновения локализуется на периферии макромолекулы. Сравнение относительных радиальных размеров двух отдельных частей дендримеров, одна из которых была доступна для атомов чужеродных молекул, а другая плотно заполнена собственными атомами и недоступна для соседей, позволило выдвинуть предположение о различных механизмах течения расплава дендримеров для низких и высоких генераций», — добавила Елена Крамаренко.

Пресс-служба физического факультета МГУ

Гран-при на международной выставке силиконовой долины (США) — у ученых физфака!

В июне 2020 г. в Санта-Клара (США) прошла Международная выставка изобретений, организованная Международной Федерацией Изобретательских Ассоциаций (IFIA) совместно с Женским выставочным и конгресс-центром (PALEXPO) под патронажем Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности (WIPO).Спонсорами выступили Объединённая Ассоциация Собственности Америки (UAA) и Университет Санта-Клары. На выставке было представлено более 330 изобретений и now-х из более чем 20 стран мира (США, Германия, Великобритания, Россия, Франция, Италия и др.) из различных областей науки и техники.

Из-за ситуации с COVID международная часть проходила в заочном формате. Российская объединённая экспозиция продемонстрировала 17 изобретений и технологий, запатентованных в России, и получила высокую оценку международного жюри из 30 экспертов.



Поклеев К.В.

В секторе «Безопасность» главным призом — Гран-при за лучшее изобретение — был награжден физический факультет МГУ за разработку старшего преподавателя кафедры общей физики и волновых процессов к.ф.-м.н. Базилёно Валерия Андреевича «Новый способ защиты от подделки ценных бумаг методом совместно-дефектной акустическомесенсации защитной наноструктурированной спиектики»,с чем мы и поздравляем автора!

Конкурс имени академика Р.В. Хохлова на лучшую студенческую научную работу 2020 года



Традиции физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, восходящие, в том числе, и к 60–80 гг. прошлого века — периоду расцвета отечественной науки и активному развитию новых идей в лазерной физике и нелинейной оптике, нелинейной акустике, теоретической физике, гравитационно-волновой астрономии и релятивистской астрофизике, биофизике др., связаны с поиском новых талантов и поддержкой молодых ученых. В русле сохранения и преемственности традиций одной из ключевых задач в работе Ученого совета и руководства факультета является проведение ежегодного конкурса имени академика Рема Викторовича Хохлова на лучшую студенческую научную работу.

Р.В. Хохлов являл собой личность, сочетающую черты выдающего ученого, организатора науки и воспитателя с высокими моральными критериями. Эти его качества, естественно, вызвали интерес и привлекли талантливых студентов и аспирантов на кафедру волновых процессов и в его научную группу. Будучи ректором МГУ имени М.В. Ломоносова, известным ученым мирового уровня, труды которого отмечены высокими государственными наградами, он один из первых оценил роль междисциплинарных исследований в развитии современной науки и учебного процесса. Многие его студенты и аспиранты впоследствии сами стали известными профессорами и лидерами в ряде новых направлений современной науки не только в нашей стране, но и далеко за ее пределами.



Профессор Р.В. Хохлов и будущий нобелевский лауреат профессор Н. Бломберг (1966 г.) с коллегами и учениками. Первый ряд: профессор Л.С. Корниенко, профессор Р.В. Хохлов, профессор Н. Бломберг, профессор С.А. Ахманов

Конкурс имени академика Р.В. Хохлова на лучшую студенческую научную работу насчитывает почти 40-летнюю историю и проводится в рамках Положения, в котором заложены принципы определения лучших теоретических и экспериментальных исследований, оформленных в виде дипломов выпускников бакалавриата и диссертаций выпускников магистратуры и специалитета. В рамках Конкурса рассмотрение магистерских и бакалаврских работ проводится раздельно. На Конкурсе 2020 года было выдвинуто 70 научных работ. Бакалавры представили 34 дипломные работы на Конкурс, магистры и специалисты — 36 диссертаций и дипломов. В состав жюри, насчитывающий 36 ученых высшей квалификации, включены представители всех отделений физического факультета.

Особенностью проведения нынешнего Конкурса явился дистанционный двухступенный формат отбора лучших студенческих работ. Обсуждение и принятие квалификационных решений осуществлялось в дистанционном онлайн-режиме. Выявлялась определенная концентрация внимания при ограниченном личном контакте членов жюри в условиях функционирования в виртуальном пространстве. В значительной степени эффективности процесса обсуждения зависела и от «мобилизационного ресурса» эксперта. В целом приобретен положительный опыт работы жюри в новых реалиях нашей факультетской жизни.

Состоялось два заседания жюри. На первом заседании в результате тайного голосования были определены 15 студентов магистратуры — финалистов конкурса и 10 студентов бакалавров, работы которых заняли 1, 2 и 3 места. На втором заседании Конкурса, которое проходило 26 июня, финалисты магистры и специалисты — соискатели высших наград представляли доклады на онлайн-конференции. По итогам выступлений финалистов Конкурса в результате тайного голосования и подсчета баллов были определены победители и лауреаты конкурса среди студентов магистратуры и специалистов.

Почетными дипломами были награждены следующие студенты бакалавры:

Премия 1 степени	
1.	Распутный Андрей Владиславович
2.	Котельникова Любовь Михайловна
3.	Масляницына Анастасия Игоревна

Премия 2 степен	
4.	Ганцева Анна Рифатовна
5.	Дюков Владислав Алексеевич
6.	Неделько Никита Сергеевич

Премия 3 степени	
7.	Петров Игнат Андреевич
8.	Нейло Алексей Александрович
9.	Федонин Федор Дмитриевич
10.	Качалова Дарья Ильинична

Почетными грамотами были награждены следующие студенты магистры и специалисты:

1.	Пеносиеров Иван Андреевич
2.	Хлопунов Михаил Юрьевич
3.	Ельянов Артём Евгеньевич
4.	Слепцова Юлия Васильевна
5.	Власенко Даниил Михайлович
6.	Богданов Станислав Дмитриевич

Почетными дипломами были награждены следующие студенты-магистры:

Премия 1 степени	
1.	Петров Павел Константинович

Премия 2 степени	
2.	Астащенко Михаил Олегович
3.	Горлова Диана Алексеевна
4.	Цветков Дмитрий Максимович

Премия 3 степени	
5.	Пономарчук Екатерина Максимовна
6.	Захаров Роман Викторович
7.	Леньшина Наталья Дмитриевна
8.	Егорова Виктория Михайловна
9.	Поспелов Никита Андреевич

Председатель жюри Конкурса профессор В.М. Горюхино

Выпуск 4 курса бакалавриата в цифрах

1 сентября 2016 (високосного) года свой путь к знаниям начал первый курс бакалавриата физического факультета. Проходной балл в 2016 году был высоким: 337 в первую волну и 326 во вторую волну (из 400). На 375 бюджетных мест в бакалавриате претендовало 1 635 абитуриентов. 307 юношей и 118 девушек стали нашими студентами, среди них жители многих регионов нашей страны от Хабаровского края до Калининградской области, граждане Беларуси, Китая, Молдовы, Казахстана, Таджикистана. Чтобы понять, насколько мотивированными и подготовленными были ребята-первокурсники, вспомним, как они сдали свой первый экзамен по механике: 46% получили свои первые пятерки, 32,5% сдали на оценку «хорошо», 8,6% — оценку «удовлетворительно» и только 2,2% получили двойки. 10,6% не сдавали этот экзамен по разным причинам.

Последним перед выпуском курса был Государственный экзамен, который подводит итоги обучения. 78,7% студентов получили отличные оценки, 19,5% заслужили «хорошо» и лишь 1,7% получили «удовлетворительно». Особенностью этого года стала сдача экзамена в дистанционном режиме. Конечно, на их пути были экзамены и послыжее, учеба на физическом факультете не похожа ни на спринт, ни на марафон.

Четыре года пролетели незаметно, наступил новый високосный, 2020 год. Квалификацию бакалавра по направлению «Физика» получили 340 человек, из них 78 — дипломы с отличием (23%).



Заведующая учебным отделом Мухомтова П.А.

Выпуск магистратуры на Физическом факультете в 2020 году

Слово «магистр» — латинского происхождения, оно означает «наставник», «учитель», «руководитель». В средние века «магистр» — учитель «семи свободных искусств». В русском переводе слово «магистр» означает «мастер своего дела». В более позднее время «магистр» — это низшая по сравнению с докторской ученыя степень западноевропейских университетов. Степень магистра в России (введена в 1803 году) имела весьма высокий научный статус, а магистерские диссертации представляли собой серьезные научные труды, многие из которых стали основой новых научных направлений.

В нашей стране степень магистра была восстановлена в 1996 году как квалификация выпускников высших образовательных учреждений. Эта степень отражает, прежде всего, образовательный уровень выпускника высшей школы и свидетельствует о наличии компетенций, умений и навыков, необходимых начинающему научному работнику. Магистранты на физическом факультете МГУ появились в начале 2000-х годов в рамках программы подготовки по направлению «Менеджмент научных исследований и наукоемких технологий». В 2011 году физический факультет перешел на подготовку по ступеням бакалавров и магистров. В 2017 году состоялся первый «большой» выпуск студентов магистратуры. До этого выпускались около 20 человек в год, прежде всего «внешние» и иностранные магистры. Выпуск магистров в этом году 4-й по счету и знаменителен тем, что именно сегодня физический факультет переходит на новый стандарт подготовки специалистов.

Прием в магистратуру выпускного курса проходил летом 2018 года. Основу будущего 1 курса магистратуры составили победители универсиады «Ломоносов-2018». Число победителей универсиады, претендовавших на получение 100 баллов за вступительный экзамен в магистратуру — 221 человек. Число поданных заявлений в магистратуру физического факультета — 331, зачислено на конкурс 285 человек, из них 200 человек — победители универсиады, проходной бал составил 83 балла из 100. Число принятых иностранных магистров — 6 человек.

В этом году из магистратуры физического факультета выпускается 247 человек, из них 140 человек будут иметь дипломы с отличием. Среди выпускников магистратуры представители многих регионов нашей страны, от Калинин до Ленинградской области с востока на запад и от Якутии до Севастополя с севера на юг, граждане Белорусии, Казахстана, Китая, Кореи. Большинство студентов — жители Москвы и Московской области — 122 человека. Все же ребята среди выпускников оказались больше (179), чем девушек (68). Многие наши выпускники перед поступлением в магистратуру закончили бакалавриат СПбГУ, МИФИ, МАИ, МГТУ имени Баумана, Высшей школы экономики, Иркутского, Саратовского, Тамбовского, Тюменского государственных университетов и других вузов. Наши выпускники-магистры активно участвуют в научных исследованиях, имеют патенты, гранты, публикации в научных журналах, из 28 факультетских повышенных академических стипендий за выдающиеся результаты в научной деятельности 22 по праву принадлежат выпускникам магистратуры.

Иногда, общаясь со студентами, приходится слышать критику в адрес магистратуры, мол все уже было в бакалавриате. Не могу с этим полностью согласиться. На мой взгляд, основу подготовки в магистратуре составляет научно-исследовательская работа (более 750 часов в год). Рабочий план магистранта очень гибок — он позволяет выбрать в вариативной части именно те спецкурсы, которые нужны персонально будущему исследователю. Педагогическая практика позволяет магистранту познакомиться с собой в роли преподавателя физического факультета. Разве все это было в бакалавриате? На мой взгляд, образовательный потенциал магистратуры очень высок и требует высокой отдачи от обучающихся.

Хочется пожелать выпускникам физического факультета дальнейших успехов в образовании, в творческой и научной работе. Физический факультет — не только учебное и научное заведение, это понимающая и поддерживающая каждого участника образовательного процесса уникальная «среда». Желаю всем выпускникам на всю жизнь сохранить духовную связь с альма-матер, быть достойными продолжателями традиций физического факультета.



Заведующий магистратурой А.С. Никунов

