



6 октября Нобелевская ассамблея Королевский Академии наук Швеции назвала имена новых обладателей ежегодной премии по физике. Как и в прошлом году, ими стали ученые, получившие важные результаты в науках о Вселенной. Половину премиальной суммы в 10 миллионов крон получит 89-летний почетный профессор математики Оксфордского университета Роджер Пенроуз. Вторую половину поровну разделят двое астрономов, немец Райнхард Генцель и американка Андреа Гез (так что премия этого года стала поистине интернациональной). Как сказано в официальной формулировке, Пенроуз награжден *«за открытие, согласно которому общая теория относительности надежно предсказывает рождение черных дыр»*. Генцель и Гез отмечены самой престижной в научном мире наградой *«за открытие сверхмассивного компактного объекта в центре нашей Галактики»*.

Начну с [Роджера Пенроуза](#) (Roger Penrose) — точнее, с той части его биографии, которая привела к работам, удостоенным Нобелевской премии. Он родился в Колчестере в графстве Эссекс 8 августа 1931 года. С обеих сторон происходит из британской культурной элиты, а по материнской линии даже имеет российские корни (его бабушка Соня Натансон в 1880-х годах приехала в Англию из Петербурга). Его отец Лайонел достойно отметился в психиатрии, педиатрии и медицинской генетике, а также в теории шахмат. Старший брат Роджера Оливер ([Oliver Penrose](#)) стал крупным физиком-теоретиком, специалистом по статистической механике и физике конденсированных сред. Младший брат [Джонатан](#) добился в шахматах титула гроссмейстера, а сестра Ширли ([Shirley Hodgson](#)) работает профессором онкогенетики в медицинской школе Лондонского университета.

Роджер Пенроуз получил степень бакалавра в лондонском [Университетском колледже](#). Затем он перешел в Кембриджский университет, где стал сначала магистром наук, а потом, в 1958 году, доктором философии, PhD. Его диссертация посвящена применению тензорного анализа для решения задач алгебраической геометрии (R. Penrose, 1958. Tensor methods in algebraic geometry). В 1960-е годы он работал лектором в лондонском [Биркбек-колледже](#), где встретился с молодым космологом [Деннисом Сиамой](#). Это знакомство оказалось поистине судьбоносным. Сиама познакомил Пенроуза с одной из главных проблем тогдашней космологии — возможно, даже самой главной. Пенроуз нашел одно из ее решений, которое и опубликовал в самом начале 1965 года. Нобелевскую премию он получил в основном и прежде всего именно за эту работу. Через несколько лет он в соавторстве со [Стивеном Хокингом](#) обобщил свое решение в виде математической теоремы, опубликованной в 1970 году. Позднее он неоднократно пробовал силы в математике, логике, астрофизике и даже философии, однако некоторые из его результатов, особенно опубликованные в последние четыре десятилетия, не вызывали восторженных отзывов специалистов. Чтобы не портить праздник, позволю себе воздержаться от уточнений, поскольку к Нобелевской премии эта его деятельность отношения не имеет. Остается добавить, что он получил множество наград, в том числе и обретенное в 1994 году рыцарское звание.

Теперь перейдем к существу дела. Проблема, о которой идет речь, была осознана вскоре после появления первых космологических моделей на основе общей теории относительности (и прежде всего, самых известных, освященных именами [Александра Фридмана](#) и [Жоржа Анри-Жозефа Эдуара Леметра](#)). В некоторых из этих моделей появлялись так называемые [сингулярности](#), то есть, ситуации, когда коэффициенты в метрике пространства-времени теряли непрерывность и делались бесконечными. Так, у Фридмана и в самой знаменитой леметровской модели «первичного атома» Вселенная возникала из начального состояния, которому можно было приписать нулевое значение временной координаты. Пространство в этот момент стягивалось в точку, а плотность материи и энергии делалась бесконечной. Поскольку природа не терпит не только пустоты (по знаменитому изречению Аристотеля), но и бесконечности, такие ситуации явно следовало считать не имеющими физического смысла.

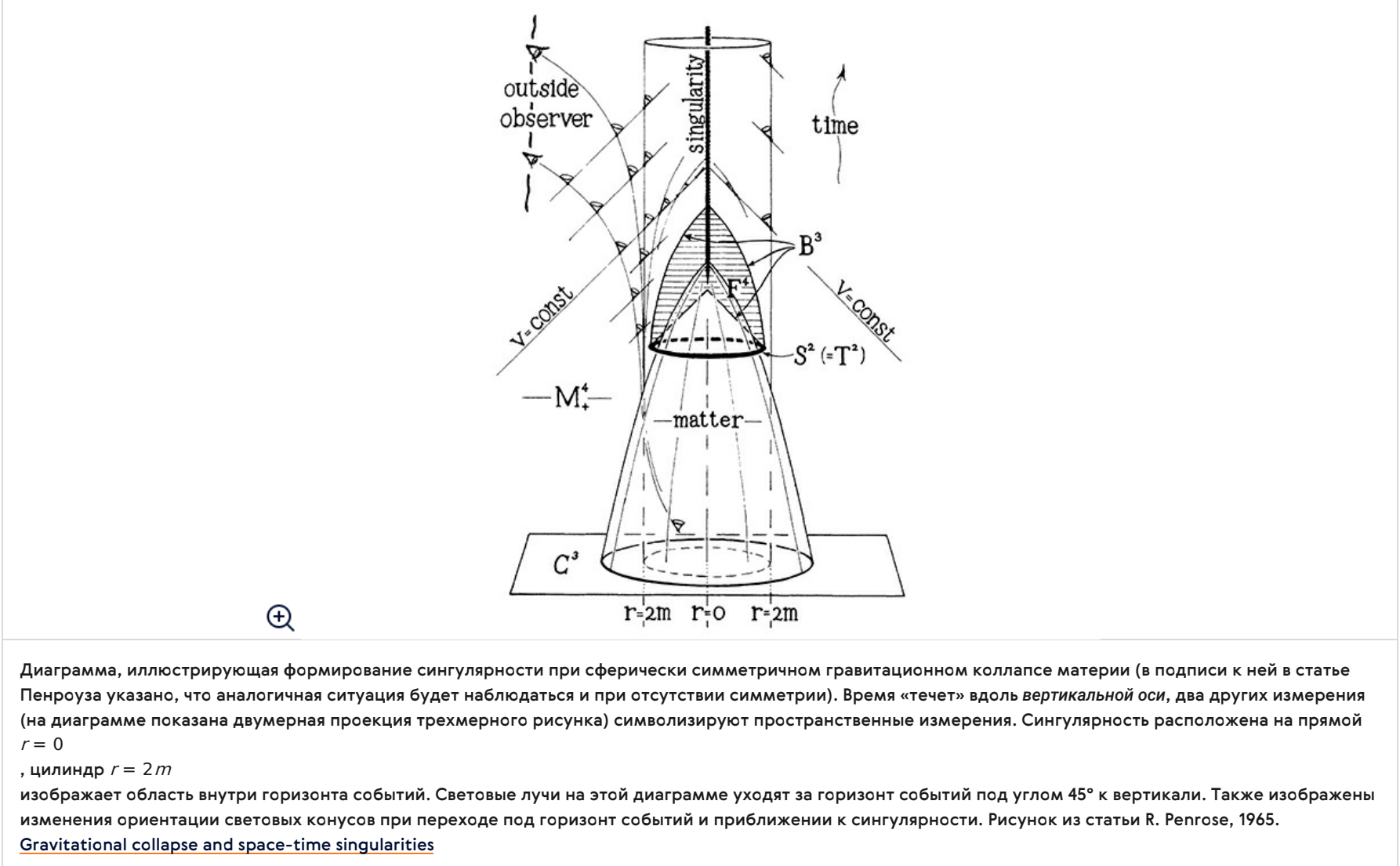
Одно время космологи допускали, что сингулярности свойственны только самым упорядоченным и, следовательно, самым идеализированным моделям. В частности, Фридман и Леметр полагали, что в пространстве Вселенной нет выделенных направлений и потому строили свои модели на основе принципа сферической симметрии. Вполне можно было предположить (во всяком случае, тогда это казалось логичным), что отказ от слишком сильных идеализаций автоматически приведет к исчезновению сингулярностей. Однако в 1932 году Леметр показал, что сингулярные решения возникают и в несферических, анизотропных моделях. Это позволяло предположить — пока еще только предположить, — что рождение космологической сингулярности может оказаться следствием самих уравнений ОТО, а не каких-то дополнительных модельных допущений. Забегая вперед, отмечу, что справедливость этого предположения как раз была доказана Роджером Пенроузом и Стивеном Хокингом уже в седьмом десятилетии прошлого века.

В 1930-е годы эти вопросы еще казались слишком далекими от задач астрономии. Однако во второй половине 1940-х годов [Георгий Гамов](#), [Ральф Альфер](#) и [Роберт Херман](#) (Robert Herman) построили вполне физическую модель рождения Вселенной из начальной сингулярности, которую ее главный оппонент [Фред Хойл](#) называл теорией [Большого взрыва](#). В результате загадка космологических сингулярностей из математической космологии перешла во вполне реальную астрофизику, а поиски ее решения стали вполне насущной проблемой.

Эти поиски велись разными путями, и их описание выходит за рамки моей статьи. В качестве примера именно для российской аудитории упомяну работы учеников [Ландау](#) [Е. М. Лифшица](#), [И. М. Халатникова](#) и [В. В. Судакова](#), опубликованные в начале 1960-х годов. Они пришли к заключению, что сингулярности Большого взрыва возникают просто из-за неудачного выбора пространственно-временных координат и потому допускают устранение чисто математическими методами. Однако последующий анализ показал, что такой способ ликвидации сингулярностей оказался ошибочным. Фигурально выражаясь, сингулярности выбрасывали через дверь, но они возвращались в окно.

Однако решение уже было не за горами. В 1963 году профессор [Мэрилендского университета](#) [Чарльз Мизнер](#) опубликовал статью, которая представила проблему сингулярностей в совершенно новом свете (C. W. Misner, 1963. [The flatter regions of Newman, Unti, and Tamburino's generalized Schwarzschild space](#)). Он предложил отойти от традиционного понимания сингулярностей как точек или областей пространства-времени, где плотность материи или иные физические величины делаются бесконечными. По Мизнеру, сингулярностью следует считать ситуацию, в которой материальные частицы или фотоны могут двигаться по пространственно-временным траекториям, приводящим к конечным точкам, за которые эти траектории в принципе невозможно продолжить. В космологическом масштабе рождение сингулярности — это, если угодно, прерывание истории Вселенной. Выражаясь иначе, в такой Вселенной движение назад во времени по траектории частицы или кванта неизбежно приводит к начальной точке, за которой уже нет ни времени, ни пространства. В нововведении Мизнера есть много тонкостей, которые я не буду обсуждать, но общая идея именно такова.

Мизнеровский подход использовал и Пенроуз в своей знаменитой работе. Он заинтересовался космологией, в общем, случайно — как уже говорилось, ранее его интересы фокусировались на алгебраической геометрии. Деннис Сиам дружил с его старшим братом Оливером, так что его знакомство с Роджером было практически предопределено. Сиам в 1950-е годы был сторонником свободной от сингулярностей космологической модели [стабильной Вселенной](#), развитой [Фредом Хойлом](#), [Томасом Голдом](#) и [Германом Бонди](#). В 1964 году он узнал об открытии микроволнового реликтового излучения, предсказанного ассистентами [Гамова](#) [Альфером](#) и [Херманом](#) на базе гипотезы Большого взрыва. Он сразу стал убежденным «взрывником» и привлек внимание Роджера Пенроуза к проблеме космологических сингулярностей. Другой причиной интереса Пенроуза к этой проблеме стало открытие квазаров, которое привлекло внимание астрофизиков к процессам гравитационного коллапса массивных звезд. Результатом стала статья «Гравитационный коллапс и пространственно-временные сингулярности», законченная в самом конце 1964 года (R. Penrose, 1965. Gravitational collapse and space-time singularities). Она и привела молодого на тот момент математика к полученной через 55 лет Нобелевской премии.



Статья выглядит весьма необычно. Она очень мала по размеру — всего две с половиной журнальные страницы. В отличие от абсолютного большинства работ по проблемам ОТО, там не найти длинных лестниц формул, написанных на языке тензорного анализа. Кое-какая математическая символика имеется, но она вкраплена в текст и ее немного. Ключевые выводы автора представлены на единственной диаграмме — фактически, ради нее статья и написана.

В этой работе нет и речи о космологии. Пенроуз ограничился рассмотрением гравитационного коллапса изолированного сферически симметричного тела конечной массы. Впервые эту задачу, как известно, в 1939 году рассмотрели и решили [Роберт Оппенгеймер](#) и его аспирант [Хартланд Снайдер](#), на чью статью сослался Пенроуз (J. R. Oppenheimer, H. Snyder, 1939. On Continued Gravitational Contraction). Они показали, что сферическое пылевое облако постоянной плотности, коллапсирующее под действием гравитации, необратимо стягивается к своему [гравитационному радиусу](#) (он же радиус Шварцшильда). Фактически из их решения следует, что это облако по достижении гравитационного радиуса продолжает сжиматься к состоянию с бесконечно малым объемом и бесконечно высокой плотностью, что и означает возникновения сингулярности. Правда, Оппенгеймер и Снайдер воздержались от столь радикального вывода и даже не предложили его в качестве гипотезы, но сути дела это не меняет. Во всяком случае, Пенроуз, как следует из его статьи, истолковал их результат именно таким образом и даже вполне поэтически назвал окончательный коллапс пространственно-временной катастрофой. А затем он задал главный вопрос: *«не могло бы наличие пертурбаций, разрушающих сферическую симметрию, радикально изменить ситуацию?»* („Could not the presence of perturbations which destroy the spherical symmetry alter the situation drastically?“). Затем последовало обещание: *«в этой статье коллапс будет рассмотрен без предположений о наличии какой-либо симметрии»* („Collapse without assumptions of symmetry will be discussed here“).

И оно было выполнено. Как я уже отметил, Пенроуз исходил из мизнеровского определения сингулярности. Он показал, что по крайней мере отдельные траектории частиц или световых квантов, которые «сваливаются» внутрь коллапсирующего объекта, обязательно дойдут до точки, за которую их нельзя будут продолжить. Напомню, что по Мизнеру это и означает возникновение сингулярности. При этом он не потребовал, чтобы коллапсирующий объект был наделен какими-то особыми симметриями. Это и означало, что рождение сингулярности диктуется фундаментальными уравнениями ОТО.

К сожалению, я лишен возможности рассказать о доказательстве Пенроуза. Он пользовался математическим аппаратом топологии, который не допускает популярного переложения — во всяком случае, мне оно не по силам. Поэтому ограничусь лишь одним неформальным пояснением. Пенроуз доказал, что как только в локальной области четырехмерного пространства-времени коллапсирующего объекта формируется замкнутая двумерная [пространственноподобная](#) поверхность (например, сфера), которая не выпускает наружу световые лучи (Пенроуз назвал ее пленяющей поверхностью, [trapped surface](#)), рождение сингулярности внутри этой поверхности делается математически неизбежным. Таковы законы природы, зашифрованные в уравнениях ОТО.

Интересно, что в статье Пенроуза вообще нет упоминаний о черных дырах. Этот термин тогда еще никем не употреблялся, его лишь два года спустя западным замечательный американский физик [Джон Арчибальд Уилер](#) и стягивающееся пылевое облако Оппенгеймера — Снайдера, конечно, не одно и то же, что коллапсирующая массивная звезда на последних мгновениях своей жизни. Но доказательство Пенроуза имеет настолько общий характер, что работает и для этого. Это и оправдывает формулировку, которую шведские академики использовали при присуждении ему Нобелевской премии.

Опубликованный в 1965 году результат Пенроуза иногда называют первой теоремой о сингулярности. Как я уже отметил, она относится только к отдельным коллапсирующим объектам. Однако в 1965–66 годах Стивен Хокинг, [Джордж Эллис](#) и Роберт Джерох ([Robert Geroch](#)) с помощью метода Пенроуза доказали, что сингулярности возникают и в широком классе космологических моделей (см. S. W. Hawking, G. F. R. Ellis, 1973. [The Large Scale Structure of Space-Time](#)). Разница с решением Пенроуза состоит в том, что теперь сингулярность достигается всем пространством, а не его ограниченной частью, как это имеет место при гравитационном коллапсе. Иначе говоря, Ее Величество Природа в своей неизреченной мудрости не ограничила сингулярности одними только черными дырами.

Через четыре года Пенроуз и Хокинг опубликовали более сильный результат по космологическому ведомству (S. W. Hawking, R. Penrose, 1970. [The singularities of gravitational collapse and cosmology](#)). Я попытаюсь изложить эту новую теорему о сингулярности, насколько это возможно сделать неформально. Она утверждает, что если выполняются следующие пять условий:

- 1) Метрика пространства-времени обладает достаточной гладкостью;
- 2) Путешествия во времени невозможны (более точно, пространство-время не содержит замкнутых [временноподобных кривых](#));
- 3) Вселенная содержит достаточно материи и радиации;
- 4) Гравитация всегда вызывает притяжение;
- 5) Общая теория относительности полностью справедлива;

то существует по меньшей мере одна корректная космологическая модель, имеющая начало во времени (то есть, происходящая из сингулярного состояния).

И что сие реально означает? Из этой теоремы Пенроуза и Хокинга следует, что общая теория относительности практически всегда предписывает космологическим моделям Большого взрыва эволюцию из начального состояния с бесконечной плотностью материи и энергии. Необходимо также подчеркнуть, что уравнения ОТО сами по себе полностью применимы также и для очень малых расстояний или больших плотностей материи и энергии (в том смысле, что и в этих случаях уравнения сохраняют формальную непротиворечивость). Однако это вовсе не означает, что в природе не могут существовать ситуации, в которых ОТО перестает работать. Собственно говоря, один из символов веры современной космологии состоит в том, что в самом начале мироздания гравитация подчинялась квантовым закономерностям, которые принципиально не могут быть описаны в рамках ОТО. Но это уже совсем другая история.

Теперь поговорим о двух других лауреатах. [Райнхард Генцель](#) (Reinhard Genzel) 24 марта 1952 года родился в городе Бад Хомбург в западногерманской земле Гессен. Наукой занялся по примеру отца, профессора физики твердого тела. Окончил Фрайбургский и Боннский университеты, в 1978 году защитил две докторские диссертации по физике и астрофизике. До 1986 года работал в Калифорнийском университете в Беркли, потом вернулся на родину, где стал одним из директоров [Института внеземной физики общества Макса Планка](#) в Гархинге неподалеку от

Мюнхена и почетным профессором мюнхенского университета Людвига-Максимилиана. С 1999 года также работает профессором с неполной нагрузкой все в том же Беркли. Крупный специалист по субмиллиметровой и инфракрасной астрономии и галактической астрофизике. Помимо руководства наблюдательными проектами, он также сыграл важную роль в разработке аппаратуры для наблюдений в этих участках электромагнитного спектра, размещенной на телескопах-гигантах и космических платформах. Лауреат многочисленных наград, включая премию Шао, премию Тихо Браге, медали Гершеля, Альберта Эйнштейна и Карла Шварцшильда. Иностраннй член Лондонского Королевского общества и Французской Академии.

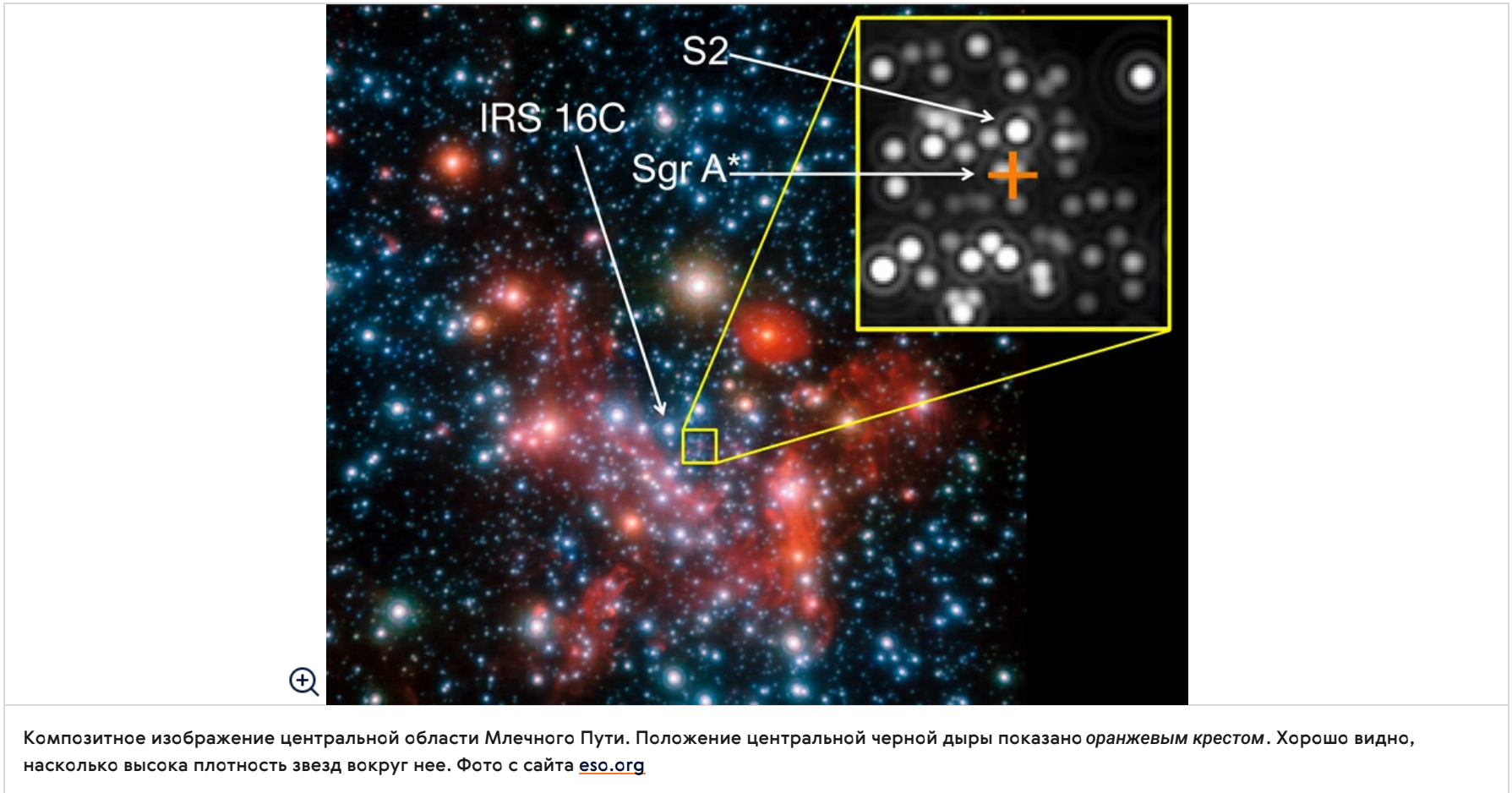
Младшая сестра Генцеля по профессии **Андреа Миа Гез** (Andrea Mia Ghez) занимает профессорскую кафедру в Отделении физики и астрономии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Родилась в Нью-Йорке 16 июня 1965 года, дочь еврея-эмигранта из Италии и матери из семьи ирландских американцев. Школьное образование получила в Чикаго, потом окончила Массачусетский технологический институт и в 1992 году завершила профессиональную подготовку защитой докторской диссертации в Калтехе. Ученица Герхарта Нейгебауэра (Gerhart Neugebauer), одного из отцов-основателей инфракрасной астрономии, многолетнего директора Паломарской обсерватории и участника создания двух телескопов-близнецов с десятиметровой апертурой **Обсерватории Кека** на вершине гавайской горы Мауна Кеа. Нобелевская премия по физике стала ее пятнадцатой по счету наградой.

Чтобы были понятны достижения этих лауреатов, напомним несколько общеизвестных фактов. Наше Солнце обращается вокруг центра**Млечного Пути** — вполне рядовой спиральной галактики, в состав которой входят от двухсот до четырехсот миллиардов звезд. Диаметр ее спирального диска приблизительно равен 28 **килопарсек**, чуть больше 90 тысяч световых лет. Однако в состав Млечного Пути входят также и звезды, удаленные от центра на дистанции до 100 килопарсек, то есть, лежащие далеко за пределами диска. Радиус солнечной внутригалактической орбиты до сих пор точно не известен, но, по последним оценкам, приблизительно равен 8 килопарсек (так что наше светило смещено к внешнему краю галактического диска), время полного оборота вокруг центра Галактики — примерно 250 миллионов лет. Солнце упаковано внутри полости в межзвездном газе, известной как **Местный пузырь** (Local Bubble) поперечником примерно 600 световых лет. Эта полость, в свою очередь, лежит в поясе **Гулда** — скоплении звезд и молекулярного газа, лежащем между двумя спиральными рукавами Галактики. Солнце находится вблизи (но не внутри!) одного из этих рукавов — **рукава Ориона**.

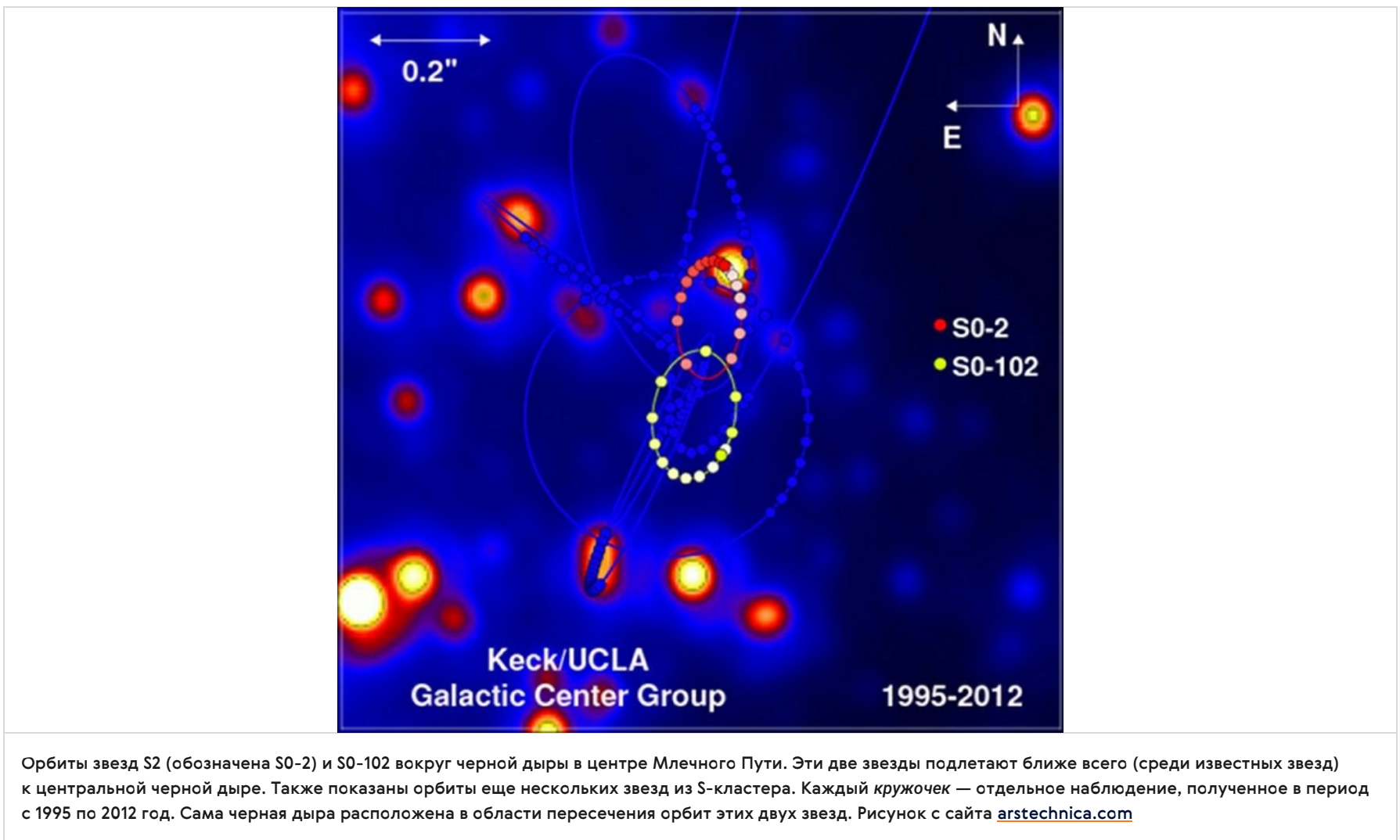
Балдж Млечного Пути похож на орех арахиса, состоящий из двух овалов и перемычки между ними. Эту**перемычку** (на языке астрономов, бар) обнаружили совсем недавно. В центре балджа находится компактное ядро, которое по отношению к Земле проецируется на созвездие Стрельца (см. картинку дня **Центр Млечного Пути**). Оно окружено плотными газопылевыми облаками и потому не наблюдается в оптическом диапазоне; сведения о нем получены из наблюдений в радиодиапазоне, инфракрасном свете и рентгене. Ядро заполнено звездами различного возраста — от нескольких миллионов лет до миллиарда и старше (если же говорить обо всём балдже, то большинство его звезд возникли на протяжении первого миллиарда лет существования Вселенной). Внутри ядра находится достаточно скромная по галактическим стандартам черная дыра — всего лишь около четырех миллионов солнечных масс. Не исключено, что в ее окрестности есть тысячи черных дыр звездной массы, однако пока они не обнаружены. Правда, один кандидат все же имеется. В 2015 году японские радиоастрономы обнаружили вращающееся газовое облако всего в 200 световых годах от центра Галактики. Анализ спектральных линий различных молекулярных компонент этого газа позволил оценить их скорость и на этой основе предположить, что внутри облака скрывается темный компактный объект приблизительно на сто тысяч солнечных масс (T. Oka et al., 2015. Signature of an Intermediate-Mass Black Hole in the Central Molecular Zone of Our Galaxy). Если это действительно черная дыра, то в не слишком далеком будущем (миллионы, но не миллиарды лет) она сольется с центральной дырой.

Центральная дыра сейчас пребывает в спокойном состоянии. Ее суммарное излучение во всех диапазонах спектра всего на два порядка превышает солнечное — для дыры-миллионника это сущий мизер. Она, как и прочие сверхмассивные дыры в галактических ядрах, окружена вращающимся аккреционным диском, однако его масса очень невелика — скорее всего не более одной сотой процента солнечной массы. Соответственно, масштаб ежегодной аккреции вещества диска на дыру вряд ли превышает одну миллиардную массы Солнца. Тем не менее, скорее всего она замолкла не навсегда. Всего лишь шесть миллионов лет назад черная дыра перешла в активную фазу и, возможно, даже на какое-то время сделалась квазаром. От этой вспышки осталась ударная волна, которая распространяется через пространство Галактики со скоростью порядка 3 млн километров в час и достигнет окрестностей Солнца через 3 миллиона лет. Сейчас в радиусе трех световых лет от центра Галактики находятся порядка 20 тысяч нейтронных звезд и черных дыр (J. Miralda-Escudé, A. Gould, 2000. A Cluster of Black Holes at the Galactic Center). Когда дыра начнет их заглатывать, ядро Млечного Пути вновь станет активным.

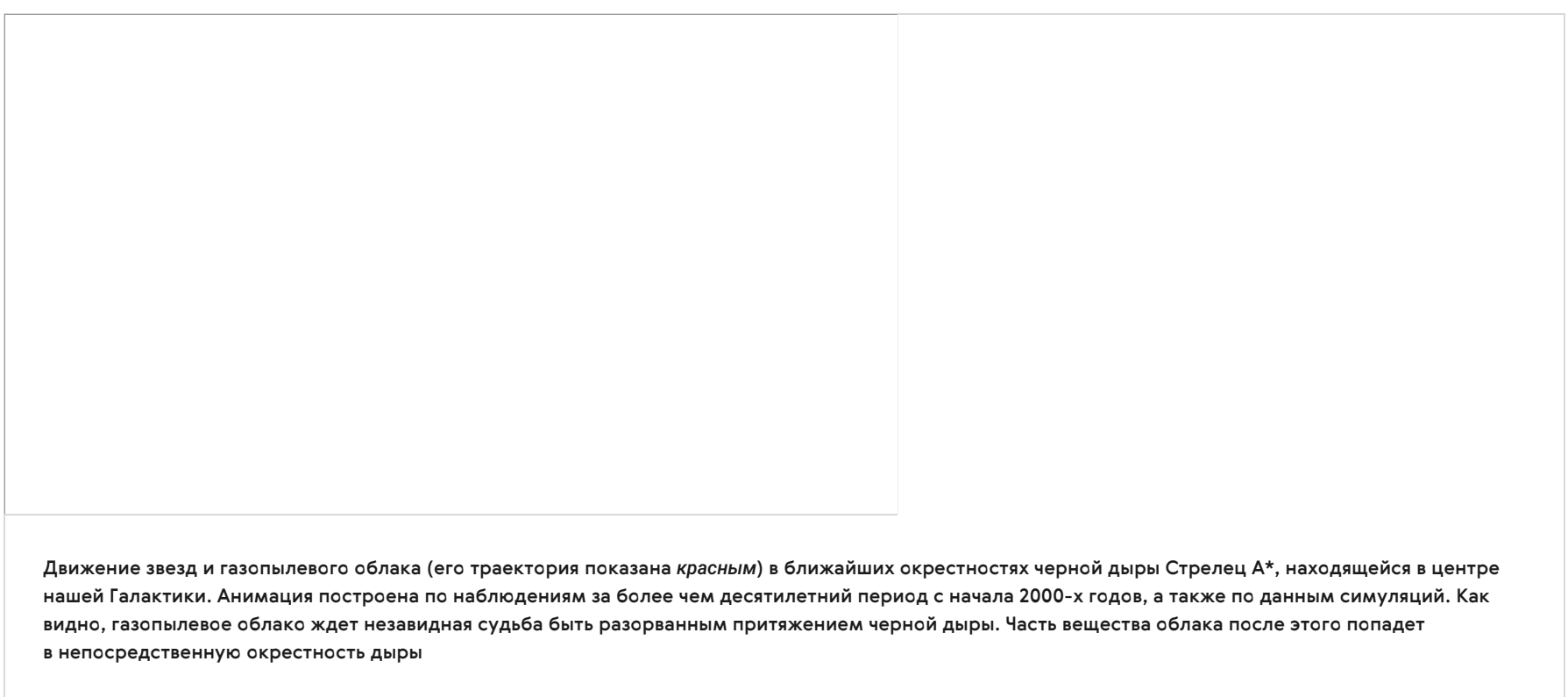
В ретроспективе понятно, что первые сведения о черной дыре в центре нашей Галактики были получены еще в 1930-х годах. Именно тогда американский радиоинженер и отец-основатель радиоастрономии Карл Янский обнаружил в районе созвездия **Стрельца** источник космического радиоизлучения. Его изучение началось после 1960 года, когда на него обратил внимание известный астроном **Ян Оорт**. Источник получил название Стрелец А (или Sgr А по сокращенному латинскому имени созвездия).



Постепенно радиоастрономы выяснили, что Стрелец А имеет четкую пространственную структуру. В частности, в центре его западной зоны был детектирован практически точечный источник радиоволн, известный как **Стрелец А*** (или Sgr А*). В пределах одной угловой секунды от источника астрономы обнаружили большую группу звезд, известную как S-кластер. Как показали многолетние наблюдения, они движутся по эллиптическим траекториям вокруг Sgr А*, иногда с огромными скоростями — от 1000 до 10 000 км/сек. Для одной из них, известной как S2 (использовалось также название S02), удалось проследить с 1992 по 2008 год полную замкнутую орбиту, которую звезда проходит за 15,8 лет (позднее эти данные были дополнены измерениями, выполненными вплоть до 2018 года). Более того, оказалось, что звездные скорости с хорошей точностью обратно пропорциональны квадратному корню от их дистанции до Sgr А*. Именно этого следует ожидать, если предположить, что Sgr А* содержит источник гравитационного поля очень малых размеров, а звезды из S-кластера обращаются вокруг него в соответствии с **законами Кеплера**. Анализ кинематики этих звезд позволил вычислить и массу этого источника, приблизительно равную четырем миллионам масс Солнца. Сейчас все специалисты уверены, что он не может быть ничем иным, кроме как черной дырой.



Рейнхард Генцель и Андреа Гез возглавляли две группы астрономов, которые около трех десятилетий отслеживали светила S-кластера. Группа Генцеля работала на телескопах Европейской Южной обсерватории в Чили, а их американские коллеги использовали телескопы Обсерватории Кека. Поскольку видимый свет от этих звезд не доходит до Земли, обе группы собирали информацию в ближнем инфракрасном диапазоне на длине волны 2,2 микрометра. Используя системы адаптивной оптики они смогли получить фотографии звезд и спектрограммы их излучения. Эта информация и стала основой выводов, сформулированных в предшествующем абзаце. Шведские академики сочли достижения Райнхарда Генцеля и Андреа Гез достойными Нобелевской премии.



Как оценить их вердикт? В принципе, новые лауреаты и их коллеги еще раз решили очень традиционную для классической астрономии задачу: реконструировать параметры траекторий ряда небесных тел по многолетним наблюдениям их положений на небесной сфере и на этой основе вычислить массу центрального объекта, вокруг которого эти тела обращаются по замкнутым орбитам. Однако технически эти наблюдения были крайне сложны из-за незначительного количества фотонов (в данном случае, инфракрасных), которые пробиваются к Земле через газопылевые скопления, экранирующие центр Галактики. Они стали возможны только благодаря созданию приборов и методов адаптивной оптики и потребовали очень серьезных усилий, растянувшихся на три десятилетия. Их итогом стало бесспорное доказательство давно предположенного наличия в центре Млечного Пути сверхмассивной черной дыры и максимально точная на сегодняшний день оценка ее массы. Это открытие стало поистине торжеством обсервационной астрономии в ее современной ипостаси. Как мне кажется, оно вполне тянет на Нобелевскую премию.

С наградением Роджера Пенроуза ситуация не настолько проста. Я воспользуюсь своей привилегией историка науки и сравню его статью 1965 года с двумя другими очень короткими работами, обеспечившими своим авторам поездку в Стокгольм. Первой по времени стала крохотная заметка Джеймса Уотсона и Франсиса Крика, которая в 1953 году появилась в журнале *Nature* (J. D. Watson, F. H. C. Crick, 1953. Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid). Вряд ли нужно напоминать ее содержание — описание пространственной структуры молекулы ДНК, реконструированной на основе рентгенографических данных. Эта работа открыла путь к детальному пониманию молекулярной природы наследственной информации, которое стало основой всей современной науки о жизни. Полученная за нее в 1962 году Нобелевская премия по физиологии или медицине абсолютно бесспорна.

Второй пример. В 1956 году американские физики-теоретики **Ли Чжэндао** и **Янг Чжэньнин** опубликовали в журнале *Physical Review* четырехстраничную статью, в которой выдвинули радикально новую интерпретацию надежно установленных экспериментальных данных, согласно которым две казалось бы одинаковые частицы, тэта-мезон и тау-мезон, распадаются на разное число пионов (T. D. Lee, C. N. Yang, 1956. Question of Parity Conservation in Weak Interactions). Они пришли к заключению, что эту проблему можно разрешить, если предположить, что такие распады связаны с процессами, характер которых изменяется при переходе от правого к левому, иначе говоря, при зеркальном отражении (чуть позже физики поняли, что в общем виде нужно говорить об отражениях в каждой из трех координатных плоскостей — или, что то же самое, о смене знаков всех пространственных координат, пространственной инверсии). Это означает, что зеркально отраженный процесс может оказаться под запретом или происходить с иной вероятностью, нежели до отражения. Годом позже американские экспериментаторы (принадлежащие двум независимым группам и работавшие разными методами) подтвердили, что такие процессы действительно существуют. Работа Ли и Янга стала началом фундаментального переосмысления основных положений физики элементарных частиц и уже на следующий год после публикации была отмечена Нобелевской премией.

А что же статья Пенроуза? Ее научная ценность, на мой взгляд, связана с двумя обстоятельствами. Во-первых, он действительно показал, что описание гравитационного коллапса **почти любого** (тут есть свои нюансы, но я на них не буду останавливаться) достаточно массивного объекта с помощью эйнштейновской общей теории относительности приводит к локальному разрушению того пространственно-временного континуума, на основе которого написаны уравнения этой теории. Это чисто математический результат, причем сам Пенроуз именно так его и рассматривал (в основе он специально подчеркнул, что «реальные физические сингулярности пространства-времени» возникать не могут, а также отметил вполне вероятную необходимость перехода к новой физике, включая квантовую гравитацию). Поэтому результат Пенроуза не сыграл сколько-нибудь серьезной роли в поиске и исследовании космических черных дыр, которые велись и ведутся астрономическими методами (принадлежащие двум независимым группам и работавшие разными методами) подтвердили, что такие процессы действительно существуют. Работа Ли и Янга стала началом фундаментального переосмысления основных положений физики элементарных частиц и уже на следующий год после публикации была отмечена Нобелевской премией.

А что же статья Пенроуза? Ее научная ценность, на мой взгляд, связана с двумя обстоятельствами. Во-первых, он действительно показал, что описание гравитационного коллапса **почти любого** (тут есть свои нюансы, но я на них не буду останавливаться) достаточно массивного объекта с помощью эйнштейновской общей теории относительности приводит к локальному разрушению того пространственно-временного континуума, на основе которого написаны уравнения этой теории. Это чисто математический результат, причем сам Пенроуз именно так его и рассматривал (в основе он специально подчеркнул, что «реальные физические сингулярности пространства-времени» возникать не могут, а также отметил вполне вероятную необходимость перехода к новой физике, включая квантовую гравитацию). Поэтому результат Пенроуза не сыграл сколько-нибудь серьезной роли в поиске и исследовании космических черных дыр, которые велись и ведутся астрономическими методами (принадлежащие двум независимым группам и работавшие разными методами) подтвердили, что такие процессы действительно существуют. Работа Ли и Янга стала началом фундаментального переосмысления основных положений физики элементарных частиц и уже на следующий год после публикации была отмечена Нобелевской премией.

А что же статья Пенроуза? Ее научная ценность, на мой взгляд, связана с двумя обстоятельствами. Во-первых, он действительно показал, что описание гравитационного коллапса **почти любого** (тут есть свои нюансы, но я на них не буду останавливаться) достаточно массивного объекта с помощью эйнштейновской общей теории относительности приводит к локальному разрушению того пространственно-временного континуума, на основе которого написаны уравнения этой теории. Это чисто математический результат, причем сам Пенроуз именно так его и рассматривал (в основе он специально подчеркнул, что «реальные физические сингулярности пространства-времени» возникать не могут, а также отметил вполне вероятную необходимость перехода к новой физике, включая квантовую гравитацию). Поэтому результат Пенроуза не сыграл сколько-нибудь серьезной роли в поиске и исследовании космических черных дыр, которые велись и ведутся астрономическими методами (принадлежащие двум независимым группам и работавшие разными методами) подтвердили, что такие процессы действительно существуют. Работа Ли и Янга стала началом фундаментального переосмысления основных положений физики элементарных частиц и уже на следующий год после публикации была отмечена Нобелевской премией.

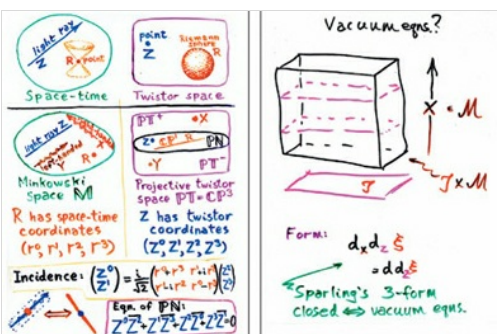
Алексей Левин

См. также



Нобелевская премия по физике — 2019

10.10.2019 • АЛЕКСЕЙ ЛЕВИН • НОВОСТИ НАУКИ



Картина мира на листе бумаги

ЕЛЕНА ВЕШНЯКОВСКАЯ • БИБЛИОТЕКА • «НАУКА И ЖИЗНЬ» №6, 2013



Природа пространства и времени

26.11 • СТИВЕН ХОКИНГ, РОДЖЕР ПЕНРОУЗ • КНИЖНЫЙ КЛУБ



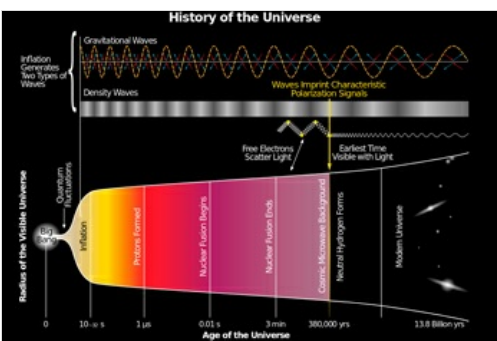
Главные лица науки и технологий

«ПОПУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА» • БИБЛИОТЕКА • «ПОПУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА» №4, 2020



Метрика Карла Шварцшильда: предистория, история и часть постистории

29.02.2016 • АЛЕКСЕЙ ЛЕВИН • НОВОСТИ НАУКИ



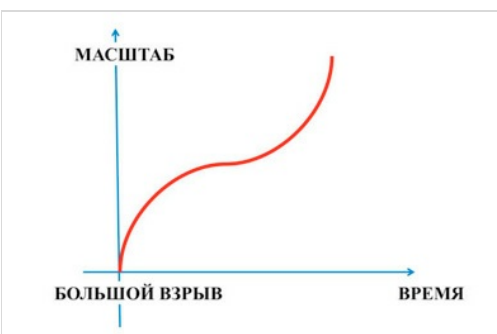
Джордж и его команда: к 70-летию горячей модели Вселенной

26.01.2016 • АЛЕКСЕЙ ЛЕВИН • НОВОСТИ НАУКИ



Столетие ОТО, или Юбилей «Первой ноябрьской революции»

25.11.2015 • АЛЕКСЕЙ ЛЕВИН • НОВОСТИ НАУКИ



Что придет на смену эйнштейновской теории гравитации?

АЛЕКСАНДР ПЕТРОВ • БИБЛИОТЕКА • «ТРОИЦКИЙ ВАРИАНТ» №13, 2019



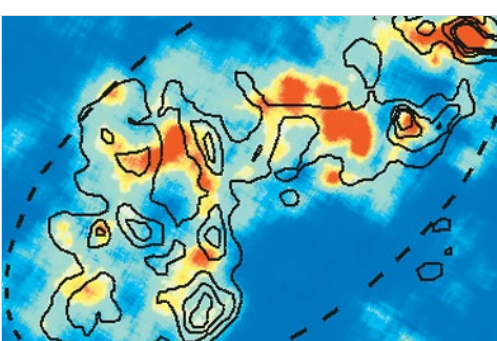
Куда летит Солнце?

ВЛАДИМИР КУРТ • БИБЛИОТЕКА • «ТРОИЦКИЙ ВАРИАНТ» №25, 2011



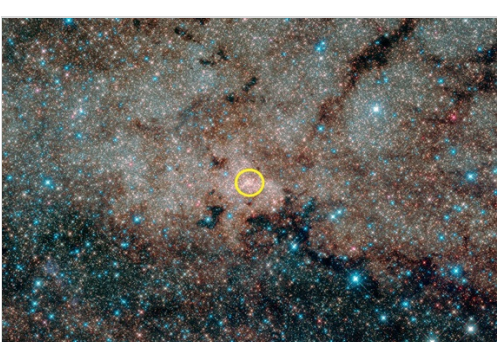
Дыра в деталях

РОМАН ФИШМАН • БИБЛИОТЕКА • «ПОПУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА» №12, 2019



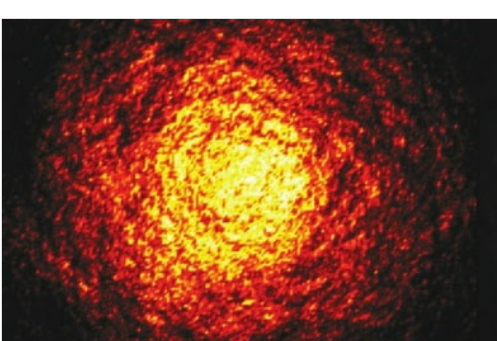
Хроники черной дыры, записанные в молекулярных облаках

ЕВГЕНИЙ ЧУРАЗОВ, ИЛЬДАР ХАБИБУЛЛИН, РАШИД СЮНЬЕВ • БИБЛИОТЕКА • «ПРИРОДА» №10, 2017



Центр Млечного Пути

02.04.2016 • МАКСИМ БОРИСОВ • КАРТИНКИ ДНЯ



Как увидеть тень черной дыры

ТАТЬЯНА ПИЧУГИНА • БИБЛИОТЕКА • «ТРОИЦКИЙ ВАРИАНТ» №14, 2016

ДРУГИЕ НОВОСТИ

Алексей Левин	76
Нобелевские премии	36
Астрономия	350
Черные дыры	9
Космология	7
Математика	44



Рельеф тессер на Венере мог сформироваться под действием водных потоков

25.11 • КИРИЛЛ ВЛАСОВ

Новостная рассылка

ВАШ E-MAIL

ПОДПИСАТЬСЯ



Э | Л | Е | М | Е | Н | Т | Ы |

Новости науки

ЦНС

Картинка дня

Задачи

Библиотека

Видеотека

Книжный клуб

Научный календарь

Детские вопросы

Масштабы: времена

Плакаты

200 законов мироздания

Журнал общей биологии

Наука в Рунете



Фонд развития науки

и образования

При поддержке фонда «Базис»

О проекте Обратная связь Подписаться на рассылку

© 2005–2020 «Элементы»