ФИЗИКА

[1] **В.М. ТЮТЮННИК,**
доктор техн. наук, профессор,
президент и генеральный директор
[2] **В.А. ФЁДОРОВ,**
доктор физ.-мат. наук, профессор
[1] *Тамбовский государственный технический университет*
[2] *Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина*
Тамбов, Российская Федерация

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ: НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ В 2020 И 2021 гг.

Представлены краткие биографические сведения и обзоры научной деятельности всех лауреатов Нобелевской премии по физике за 2020 г. (Роджер Пенроуз, Рейнхард Генцель, Андреа Гез) и за 2021 г. (Клаус Хассельман, Сюкуро Манабэ, Джорджо Паризи). Эти учёные представляют науку 4 стран: Великобритании, США, Германии и Италии. Научные иссле-дования всех этих шести учёных находятся в эпицентре современных проблем в физических науках, решающих особо сложные задачи на макроуровне: астрофизика, климатология, сложные физические системы.

Ключевые слова: Нобелевские премии по физике 2020 и 2021 гг., астрофизика, климатология, сложные физические системы, Роджер Пенроуз, Рейнхард Генцель, Андреа Гез, Клаус Хассельман, Сюкуро Манабэ, Джорджо Паризи.

[1] **V.M. TYUTYUNNIK,**
Doctor of Tech. Sciences, Professor,
President and General Director
[2] **V.A. FEDOROV,**
Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor
[1] *Tambov State Technical University*
[2] *G.R. Derzhavin Tambov State University*
Tambov, Russian Federation

THE MAIN PROBLEMS IN MODERN PHYSICS: NOBEL PRIZES IN 2020 AND 2021

Brief biographical information and reviews of the scientific activities of all Nobel Prize winners in Physics for 2020 (Roger Penrose, Reinhard Genzel, Andrea Ghez) and for 2021 (Klaus Hasselman, Syukuro Manabe, Giorgio Parisi) are presented. These scientists represent the science of 4 countries: Great Britain, the USA, Germany and Italy. The scientific research of all these six scientists is at the epicenter of modern problems in the physical sciences, which solve particularly complex problems at the macro level: astrophysics, climatology, complex physical systems.

Keywords: Nobel Prizes in Physics 2020 and 2021, astrophysics, climatology, complex physical systems, Roger Penrose, Reinhard Genzel, Andrea Ghez, Klaus Hasselman, Syukuro Manabe, Giorgio Parisi.

Введение

Ранее были неоднократно публикованы научные биографии лауреатов Нобелевских премий [1–15] и наукометрические анализы процессов номинирования на эти награды [16–24], а также издания с участием лауреатов [25]. Естественно, что научные области, которые отмечены Нобелевскими премиями, привлекают особое внимание учёных мира, что отражается в повышенном интересе

к биографиям лауреатов, областям их научной деятельности и в резком увеличении цитируемости публикаций. В данной статье мы обращаем внимание на лауреатов по физике за последние два года, которые находятся в эпицентре современных проблем в физических науках, решающих особо сложные задачи на макроуровне.

Решение глобальной информационно-космологической проблемы: Нобелевская премия по физике 2020 года

Как следует из пресс-релиза Королевской Шведской академии наук (КШАН), присуждающей Нобелевскую премию по физике, три лауреата разделили эту награду в 2020 г. (10 млн. шведских крон) «за свои открытия об одном из самых экзотических явлений во Вселенной – чёрной дыре. Роджер Пенроуз показал, что общая теория относительности предсказывает образование чёрных дыр. Рейнхард Генцель и Андреа Гез обнаружили, что невидимый и чрезвычайно тяжёлый объект управляет орбитами звёзд в центре нашей галактики. Единственным известным в настоящее время объяснением этому объекту является сверхмассивная чёрная дыра»[1]. Точная формулировка КШАН такова: «половина премии – Роджеру Пенроузу "за открытие того, что образование чёрных дыр надёжно предсказано общей теорией относительности", и другая половина поровну – Рейнхарду Генцелю и Андреа Гез "за открытие сверхмассивного компактного объекта в центре нашей галактики"» (рис. 1).

Сэр Роджер Пенроуз (рис. 2) родился в Колчестере (Англия) 8 августа 1931 г. в семье высокообразованных родителей – известного генетика и врача. Двое его братьев тоже посвятили себя науке. В 1939 г. отец перевёз семью в США. В 1945 г. семья вернулась в Англию. Роджер поступил учиться в Университетский Колледж в Лондоне. Здесь его детский интерес к математике возрос. Он получил PhD в Кембридже за работы в области алгебры и геометрии в 1957 г., с 1973 по 1998 гг. работал в Оксфордском университете в должности ведущего профессора математики.

Направления исследований Пенроуза включают в себя многие аспекты: геометрию, теорию непериодических мозаик, общую теорию относительности и основы квантовой теории.

В начале научной карьеры он начал работу над решением проблемы нахождения набора плиток для квази-симметричных мозаик (мозаика Пенроуза, 1974), при помощи которого можно

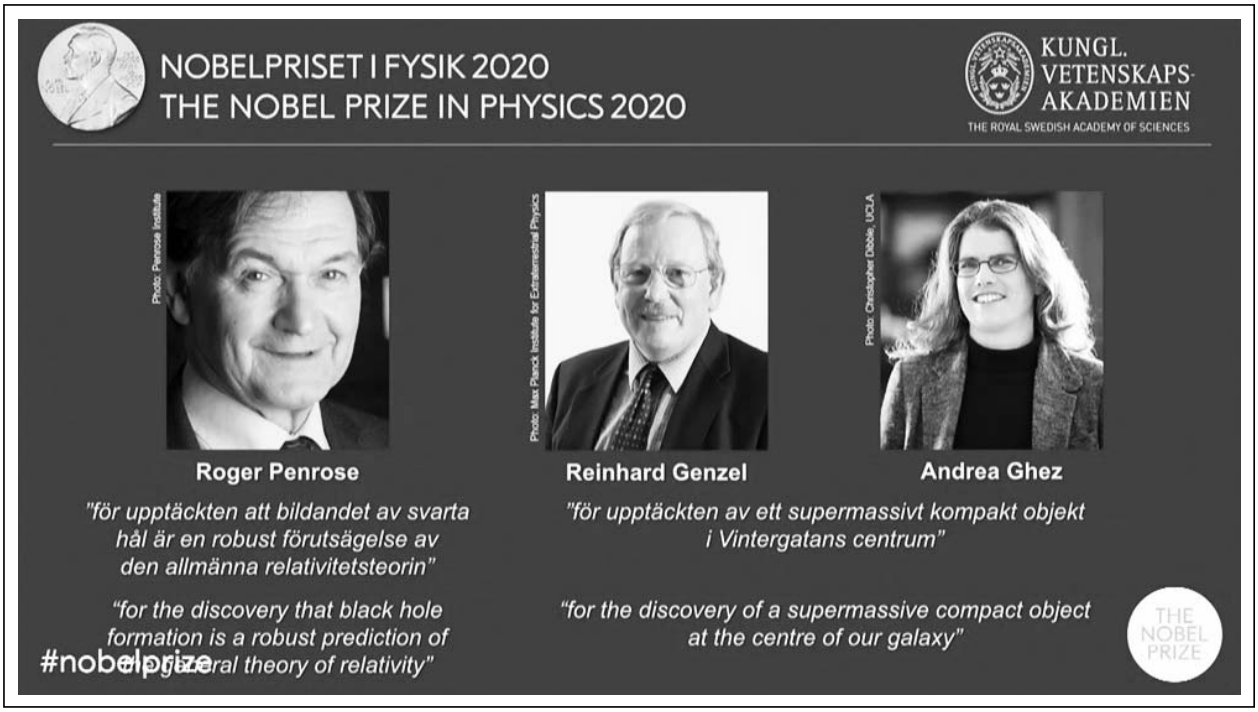

Рис. 1. Официальный плакат с портретами лауреатов 2020 г. и формулировками КШАН © Nobel Foundation

[1] https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/press-release/2 1 гакен равен 1,5 гуффенам или 30 гектарам.

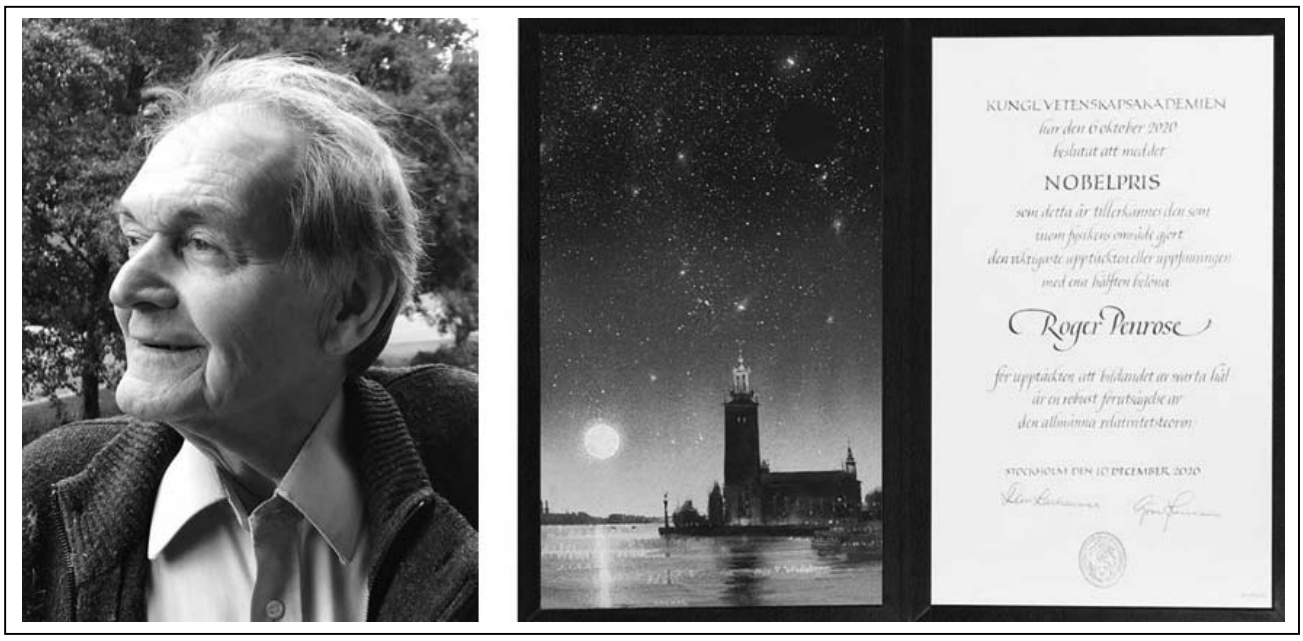

Рис. 2. Р. Пенроуз и его Нобелевский диплом © Nobel Foundation

замостить всю плоскость, не создавая повторяющихся узоров. Такие мозаики кажутся на первый взгляд повторяющимися, но это не так. В конечном итоге он нашёл решение проблемы, но оно требовало многих тысяч различных плиток. Лишь после многолетних исследований он сократил это количество до шести плиток, а затем до невероятного малого количества – двух плиток! В 1954 г. Роджер с отцом опубликовали статью о двух классических невозможных фигурах – невозможном треугольнике и бесконечной лестнице. Пенроуз считает, что не существует теории квантовой гравитации, поэтому современная физика неполна. Он верит, что адекватная теория квантовой гравитации сможет пролить свет на природу человеческого сознания. Основным направлением его исследований в области физики является теория твисторов, которую он предложил в 1967 г. как попытку объединения общей теории относительности и квантовой механики. В настоящее время Роджер Пенроуз – один из наиболее известных и титулованных учёных мира.

Рейхард Генцель (рис. 3) родился 24 марта 1952 г. в Бад-Хомбурге, ФРГ, в семье профессора физики. В 1975 г. окончил Боннский университет, через три года защитил сразу две диссертации PhD – в Боннском университете и в Радиоастрономическом институте Общества Макса Планка. Некоторое время работал в США, а с 1986 г. – снова в Германии. С 1988 г. – профессор Мюнхенского университета имени Людвига и Максимилиана, с 1999 г. одновременно преподаёт в Калифорнийском университете, Беркли. С 2010 г. он руководит Институтом внеземной физики Общества Макса Планка. Обладатель многих физических наград.

Андреа Миа Гез (рис. 4) родилась в Нью-Йорке 16 июня 1965 г. в семье итальянского еврея, впоследствии профессора экономики в Чикаго, и ирландской католички, художницы. Обучалась математике и физике, PhD получила в 1992 г. в Калифорнийском технологическом институте, а в настоящее время – профессор физики и астрономии Калифорнийского университета, Лос-Анжелес. Обладатель нескольких наград в области физики и астрономии.

Сейчас кажется невероятным, но первыми учёными, опубликовавшими возможность существования тёмных объектов, разбегающихся со скоростью, превышающей скорость света, впервые измеренную О. Рёмером ещё в 1676 г., были английский астроном Дж. Мичелл в 1783 г. и французский математик и астроном П.-С. Лаплас в 1796 и 1799 гг. Мичелл рассчитал, что звезда с той же плотностью, что и Солнце, но радиусом в 500 раз больше, будет иметь настолько сильное гравитационное притяжение, что свет будет захвачен и не сможет вырваться. Независимо от него Лаплас в математическом трактате рассмотрел звезду с той же плотностью, что и Земля, то есть в четыре раза больше плотности Солнца, и радиусом, в 250 раз превышающим радиус Солнца. Объекты, рассматриваемые Мичеллом и Лапласом, теперь классифицируются как сверхмассивные чёрные дыры. Замечателен тот факт, что расчеты Мичелла и Лапласа производились в рамках ньютоновской механики.

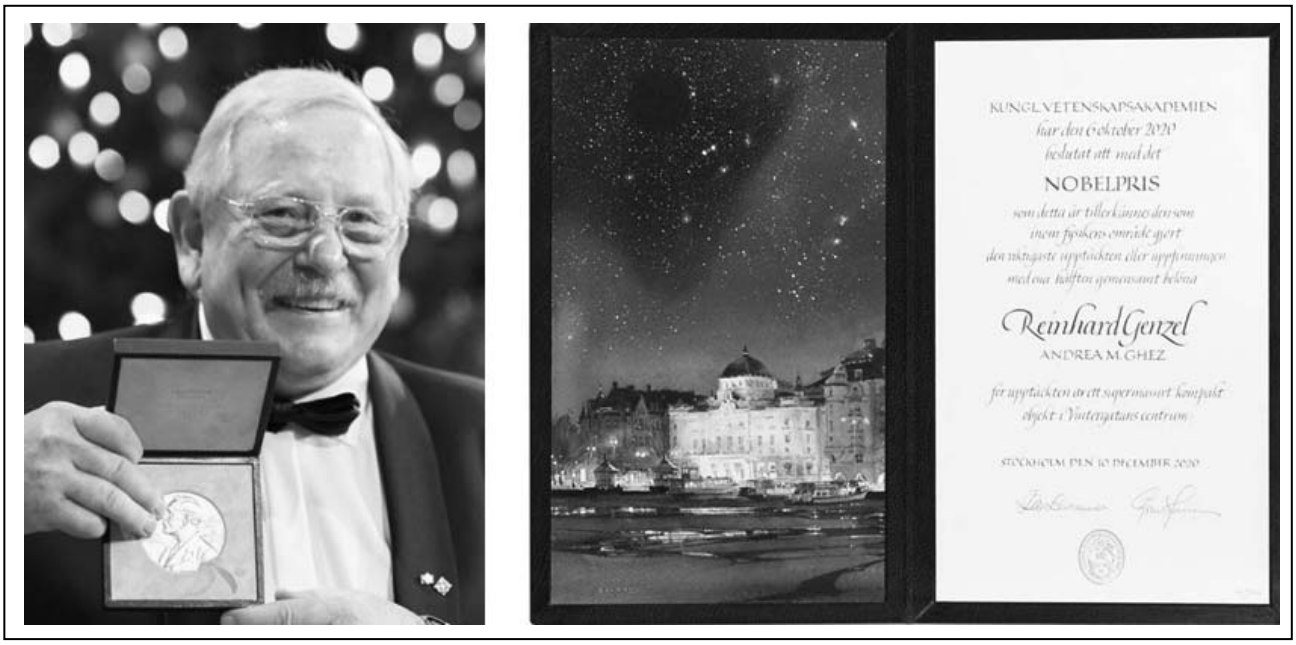

Рис. 3. Р. Генцель с Нобелевской медалью и его Нобелевский диплом © Nobel Foundation

Рис. 4. А. Гез и её Нобелевский диплом © Nobel Foundation

Менее чем через два месяца после того, как Эйнштейн завершил свою общую теорию относительности 18 ноября 1915 г., и менее чем за четыре месяца до своей смерти немецкий астроном К. Шварцшильд 13 января 1916 г. опубликовал решение уравнений поля Эйнштейна, описывающее искривленное пространство-время вокруг сферически симметричной, невращающейся массы. Это решение полностью подтвердило расчёты Мичелла и Лапласа. В дальнейшие исследования были вовлечены крупнейшие научные силы: А. Гуллстранд, П. Пенлеве, Ж. Леметр, Д. Финкельштейн, Р. Оппенгеймер. Х. Снайдер, И.М. Лифшиц, И.М. Халатников, Дж. Уилер и др. Но это были лишь теоретические расчёты, требовавшие практического подтверждения, и они появились в 1950–1960-е гг. с открытием квазизвёздных объектов – квазаров. Крупный прорыв был достигнут голландским астрономом М.Шмидтом, который в 1963 г. идентифицировал квазар 3С273 как внегалактический источник со спектральными линиями, указывающими на его местоположение за пределами Млечного Пути. Астрономы поняли, что квазары, вместо того, чтобы быть изолированными объектами в нашей собственной галактике, на самом деле расположены в центрах далёких

галактик, а излучение остальных частей далёких галактик слишком слабо, чтобы их обнаружить.

Открытие М. Шмидта побудило именитого Дж. Уилера пересмотреть физику гравитационного коллапса, и он обсудил это с Р. Пенроузом, который начал задумываться над проблемой в конце 1964 г. Ранее Р. Оппенгеймер и Х. Снайдер описали сферически симметричный случай, когда астрономическое тело сжимается, образуя сингулярность бесконечной плотности. Однако было совершенно не ясно, может ли это произойти в реальном мире и является ли предположение сферической симметрии предпосылкой для гравитационного коллапса. Напомним, что А. Эйнштейн не верил, что черные дыры действительно существуют. Поначалу Р. Пенроуз хотел проанализировать ситуацию без допущения сферической симметрии, предполагая, что коллапсирующая материя имеет положительную плотность энергии. Для этого ему пришлось изобрести новые математические методы и использовать топологию. На этом пути Р. Пенроуз сформулировал ключевую концепцию захваченной поверхности, которая представляет собой замкнутую двумерную поверхность с тем свойством, что все световые лучи, ортогональные поверхности, сходятся при направлении в перспективу. Это противоречит сферической поверхности в плоском пространстве, где световые лучи, направленные наружу, расходятся.

Можно видеть, что в сферически симметричном случае любая сферическая поверхность с радиусом меньше радиуса Шварцшильда является захваченной поверхностью, что даёт хороший способ понять структуру чёрной дыры, в которой радиальное направление становится похожим на время. Время и пространство меняются ролями, и направление внутрь, к началу сферических координат, становится временем. Следовательно, так же трудно выбраться из чёрной дыры, как и вернуться назад во времени. Ещё одним последствием захваченной поверхности является то, что поток времени неизбежно приведёт любого наблюдателя к началу радиальной координаты, где время заканчивается. Вся материя, которая сформировала чёрную дыру, находится в этом единственном моменте времени – сингулярности. На основе идеи захваченных поверхностей Р. Пенроуз приступил к доказательству того, что, как только образовалась захваченная поверхность, невозможно в рамках общей теории относительности и с положительной плотностью энергии предотвратить коллапс в сторону сингулярности (рис. 5).

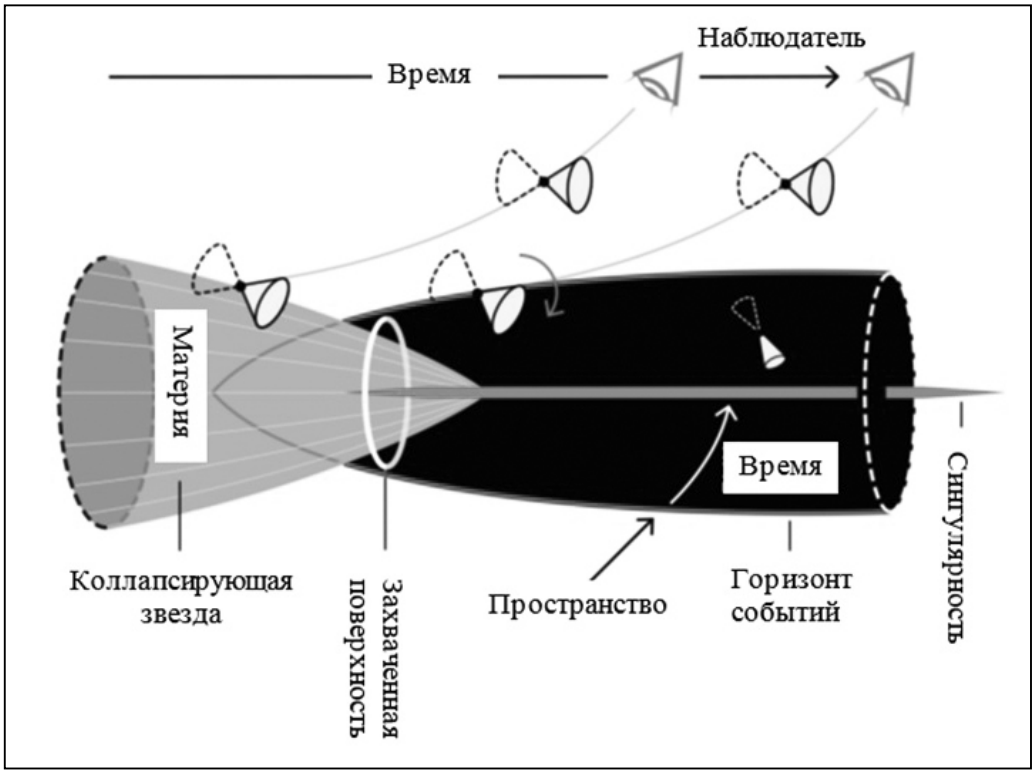

Рис. 5. Диаграмма основана на статье Р. Пенроуза 1965 г. и показывает коллапс материи в чёрную дыру: на захваченной поверхности все световые конусы опрокидываются внутрь, и образование сингулярности неизбежно [26]

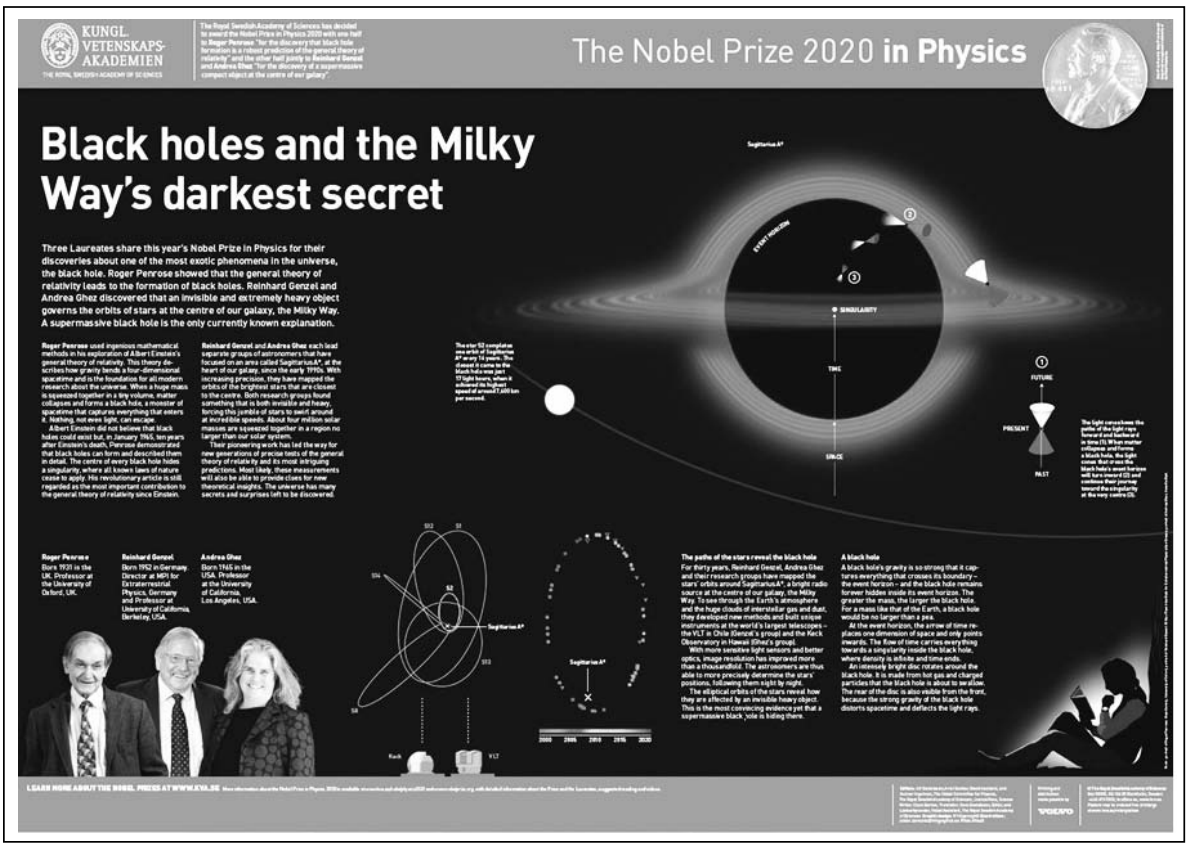

Рис. 6. Официальный плакат КШАН с описанием сущности открытий лауреатов © Nobel Foundation

Чтобы визуализировать пространство-время, Р. Пенроуз использовал метод конформных преобразований, которые могут изменять масштаб, но сохранять углы. Это позволяет точки, бесконечно далёкие в пространстве, и события в бесконечном прошлом или будущем переносить из бесконечности, чтобы поместить в диаграммы конечного размера. Если световой луч изначально соответствует линии под углом 45°, он останется под тем же углом после конформного преобразования. Такие диаграммы называются диаграммами Пенроуза, и они являются незаменимыми инструментами при изучении искривлённого пространства-времени. Это достижение Пенроуза объявлено первым после А. Эйнштейна результатом в общей теории относительности. Оно доказывает, что гравитационный коллапс не может быть остановлен после того, как образовалась захваченная поверхность.

Открытие Пенроуза положило начало новой эре в физике и астрономии. Странные тёмные объекты, о которых размышляли Мичелл и Лаплас, глубоко укоренились в нашей современной картине гравитации (рис. 6). Именно после открытий Р. Пенроуза термин «чёрная дыра» окончательно стал названием этой экзотической гравитационной аномалии [26].

После открытия внегалактической природы 3C273 механизм излучения квазаров стал окончательно понятен: аккреция вещества в чёрных дырах. Это было правдоподобным развитием моделей рентгеновского и радиоизлучения материи, попадающей в кандидаты в чёрные дыры звёздной массы, такие как те, которые наблюдала группа во главе с Р. Джаккони, лауреатом Нобелевской премии по физике 2002 г.

В 1969 г. Пенроуз понял, что вращательная энергия чёрной дыры Керра может быть ещё одним важным источником энергии. Он обнаружил, что можно использовать эргосферу для извлечения энергии: если магнитные поля присутствуют, они будут переноситься вместе с эргосферой. Таким образом, вращающаяся чёрная дыра может действовать как гигантская электрическая динамо-машина в центре галактик.

Ранние проверки гипотезы сверхмассивных чёрных дыр в ядрах галактик были основаны на определении плотности массы в самой внутренней области галактик, а затем сравнении этой плотности с известными звёздными скоплениями. Дополнительная стратегия, основанная на прямой визуализации, появится гораздо позже, с наблюдениями телескопа Event Horizon Telescope,

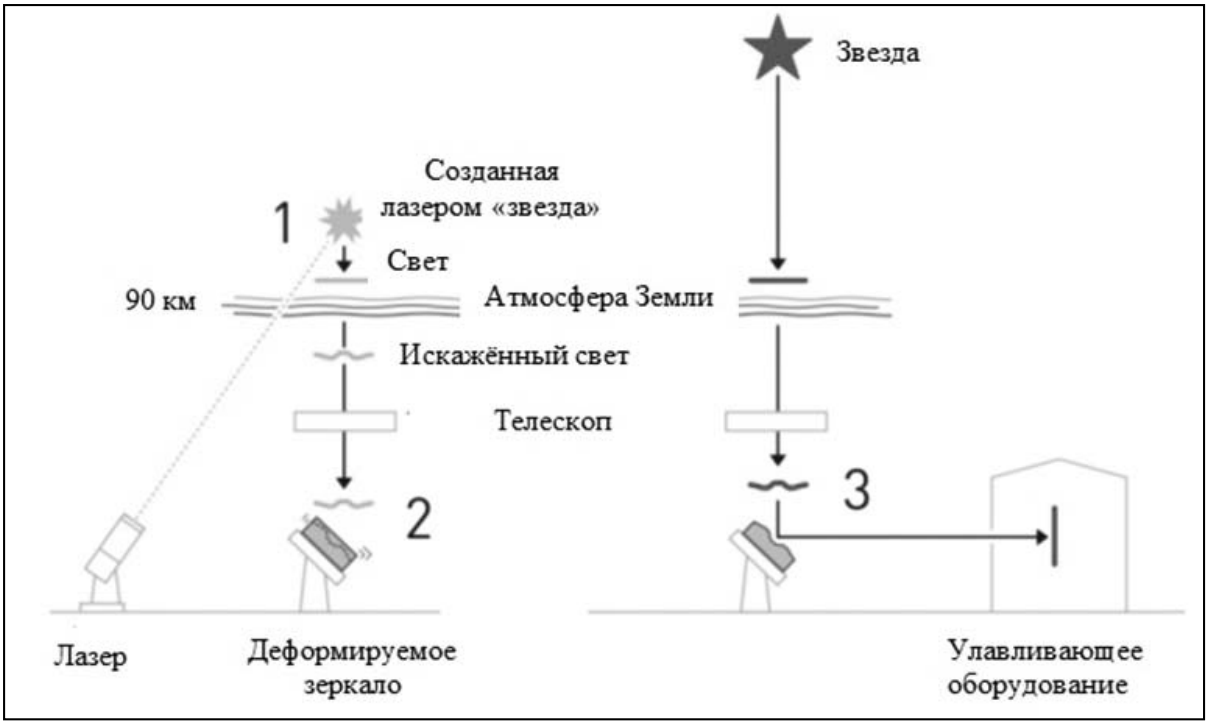

Рис. 7. Иллюстрация принципа адаптивной оптики: лазерная система используется для создания искусственных направляющих звёзд, которые чувствуют размытие в атмосфере Земли; изображения ярких пятен, генерируемых лазером 1, используются в петле обратной связи для введения быстрых деформаций вторичного зеркала 2, которые эффективно корректируют атмосферную турбулентность на изображениях 3 [27]

о которых сообщалось в 2019 г., а запуск космического телескопа Хаббла с его беспрецедентным угловым разрешением на оптических длинах волн сделал наблюдения более доступными.

Центральные несколько парсеков Млечного Пути содержат богатое скопление звёзд и горячего газа. Они были использованы для отслеживания гравитационного потенциала галактического центра, определённого компактным радиоисточником Стрелец А*, на расстоянии 25 000 световых лет. Ещё со времени Кеплера понятно, что для исследования возможной сверхмассивной чёрной дыры в центре Галактики необходимо наблюдать звёздные скорости. В течение почти трёх десятилетий две наблюдательные группы, одна во главе с Р. Генцелем, а другая под руководством А. Гез, следят за движением звёзд, вращающихся вокруг галактического центра. Это чрезвычайно сложные исследования, так как затемнение межзвёздной пылью в центре Млечного Пути препятствует наблюдению на оптических длинах волн, при этом менее одного фотона на миллиард проникает в пыль вдоль линии видимости Земли. Наземные наблюдения также были необходимы, и задача состояла в том, чтобы найти способы компенсировать размытие, которое является результатом изменений в атмосфере Земли в течение длительного времени измерения. Технические решения, разработанные обеими командами, были ключом к их успехам.

Короткое время экспозиции, связанное с спекл-визуализацией, ограничивало мониторинг только самыми яркими звёздами, и для получения надёжного определения прогнозируемой скорости требовались длительные исследования. Эти ограничения были преодолены, когда адаптивная оптика стала доступна команде А. Гез (с 2000 г.) и команде Р. Генцеля (с 2003 г.), которые смогли заглянуть в центр Млечного Пути. Метод адаптивной оптики (рис. 7) использует яркий опорный объект рядом с целью наблюдения, либо яркую звезду, либо даже искусственную «звезду», созданную лазерным возбуждением атомов натрия в верхних слоях атмосферы. Деформируемое вторичное зеркало изменяет форму, чтобы компенсировать аберрации к известному опорному объекту. Компенсация выполняется в режиме реального времени с помощью петли обратной связи, что обеспечивает длительное время экспозиции и создание гораздо более чётких и глубоких изображений, вплоть до дифракционного предела. Эта технологическая революция позволила использовать спектрограф для изучения звёзд, добавив две важные особенности: состав звёзд

может быть изучен и радиальные скорости могут быть измерены. Измерения этих двух групп вполне согласуются, причём обе находят чрезвычайно тяжёлый, невидимый объект, который притягивает нагромождение звёзд, заставляя их двигаться с колоссальными скоростями. Около четырёх миллионов солнечных масс сосредоточены в регионе, не большем, чем наша Солнечная система.

Трассировка орбит отдельных звёзд, обнаружение движения нагретой материи вблизи внутренней стабильной орбиты и серия других открытий обеспечили дополнительное подтверждение гипотезы о том, что компактный объект в центре Галактики является сверхмассивной чёрной дырой, как предсказывала общая теория относительности.

Таким образом, открытие Р. Пенроузом теоремы о сингулярности показало, что представления о чёрных дырах являются надёжным следствием общей теории относительности, формируясь естественным образом в сильно перегруженных материей областях. Последующие технологические достижения позволяли всё ближе подбираться к горизонту событий чёрной дыры. Наблюдения LIGO, удостоенные Нобелевской премии по физике в 2017 г., и уникальные наблюдения Р. Генцеля и А. Гез, а также замечательная фотография центра Галактики M87, подтверждают существование сверхмассивных чёрных дыр. Однако остаётся открытым вопрос о том, в какой степени структура чёрной дыры, окружённая горизонтом установленных событий, соответствует предсказаниям общей теории относительности.

Закономерности функционирования сложных физических систем: Нобелевская премия по физике 2021 года

Нобелевская премия по физике 2021 г. присуждена «за фундаментальный вклад в наше понимание сложных физических систем». Эта общая формулировка конкретизирована в два раздела: первая половина премии (5 млн. шведских крон) поделена между японским профессором, работающим в Принстонском университете (США), Сюкуро Манабе и немецким учёным из Института Макса Планка в Гамбурге Клаусом Хассельманном «за физическое моделирование климата Земли, количественную оценку изменчивости и надёжное прогнозирование глобального потепления»; вторая половина – Джорджо Паризи из Римского университета Ла Сапиенца (Sapienza – Università di Roma) «за открытие взаимодействия беспорядка и флуктуаций в физических системах от атомных до планетарных масштабов» [28]. Не связанные, на первый взгляд, направления исследований лауреатов всё же объединяет единый объект – сложные физические системы [2–5].

В пресс-релизе КШАН от 5 октября 2021 г. сказано: «Одной из сложных систем, имеющих жизненно важное значение для человечества, является климат Земли. Сюкуро Манабе продемонстрировал, как повышенный уровень углекислого газа в атмосфере приводит к повышению температуры на поверхности Земли. В 1960-х гг. он руководил разработкой физических моделей климата Земли и был первым человеком, исследовавшим взаимодействие между радиационным балансом и вертикальным переносом воздушных масс. Его исследование заложило основу для разработки современных климатических моделей.

Примерно десять лет спустя, Клаус Хассельманн создал модель, которая связывает воедино погоду и климат, тем самым отвечая на вопрос, почему климатические модели могут быть надёжными, несмотря на то, что погода изменчива и хаотична. Он разработал методы определения конкретных сигналов, которые (как природные явления, так и деятельность человека) накладывают отпечаток на климат. Его методы были использованы, чтобы доказать, что повышение температуры в атмосфере вызвано выбросами углекислого газа человеком.

Примерно в 1980 г. Джорджо Паризи обнаружил скрытые закономерности в неупорядоченных сложных материалах. Его открытия являются одним из наиболее важных вкладов в теорию сложных систем. Они позволяют понять и описать множество различных и, по-видимому, совершенно случайных материалов и явлений не только в физике, но и в других, очень разных областях, таких как математика, биология, нейробиология и машинное обучение» [28].

Среди всех сложных и хаотических физических систем, которые нас окружают, КШАН выделила одну – климат Земли, особенно его быстрое изменение. Это уже третья Нобелевская премия за изучение климата и его последствий. В 2007 г. Межправительственная группа экспертов по изменению климата ООН (МГЭИК, IPCC) и бывший вице-президент США А. Гор награждены Нобелевской премии мира «за усилия по накоплению и распространению более глубоких знаний об антропогенном изменении климата и создание основ, необходимых для противодействия таким изменениям». В 2018 г. американец У. Нордхаус получил премию по экономике «за интеграцию изменения климата в долгосрочный макроэкономический анализ». Однако эти лауреаты не занимались

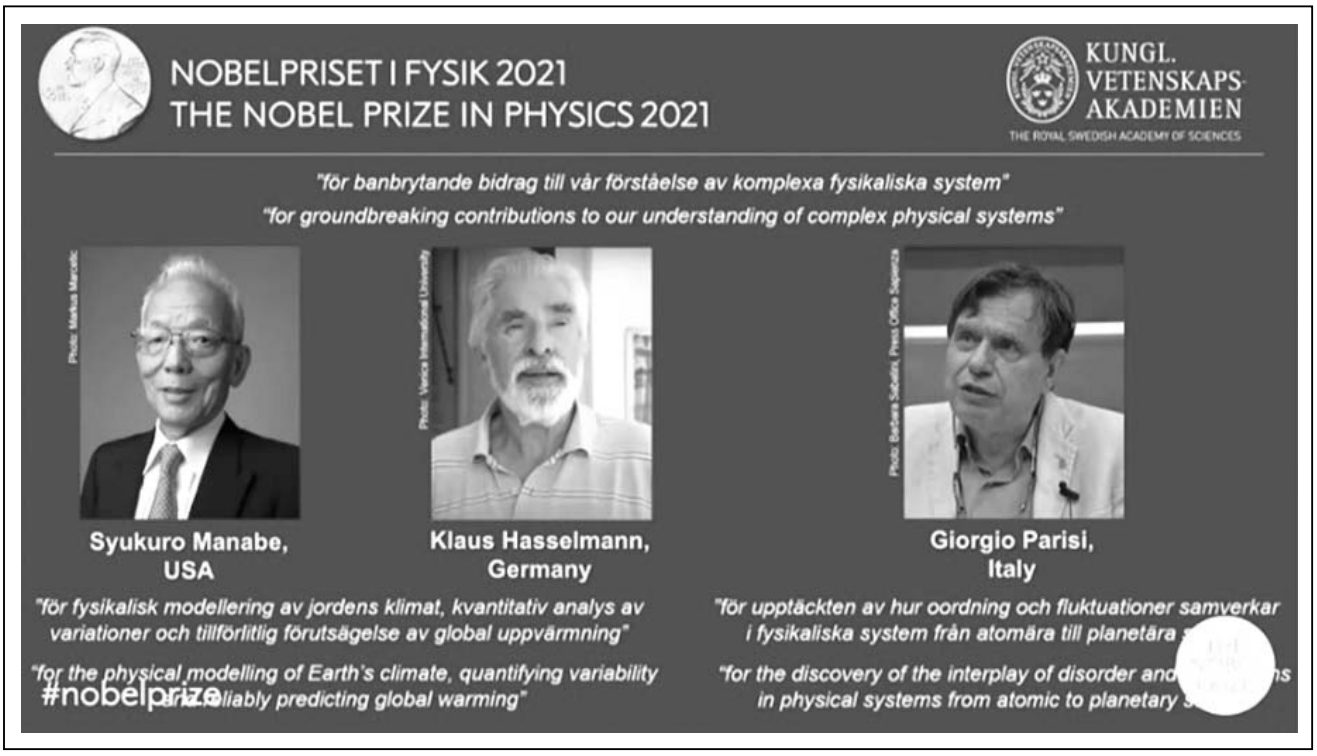

Рис. 8. Официальный плакат с портретами лауреатов 2021 г. и формулировками КШАН © Nobel Foundation

непосредственным исследованием климата, но лишь использовали их результаты.

Сюкуро Манабе (рис. 9) родился 21 сентября 1931 г. в Эхиме, Япония. Все этапы образования прошёл в Токийском университете (бакалавр в 1953 г., магистр в 1955 г., PhD по метеорологии в 1958 г.), затем переехал в США, где в 1975 г. получил второе гражданство. Работал в Национальном управлении океанических и атмосферных исследований, преподавал в Принстонском университете, где получил должность профессора. В 1997 г. вернулся в Японию, где четыре года проработал директором исследовательской программы по глобальному потеплению. Затем вновь работал в Принстонском университете (до 2003 г.), а с 2005 г. вновь работает в Национальном управлении океанических и атмосферных исследований США. Обладатель многих престижных научных наград мира.

Клаус Хассельманн (рис. 10) родился 25 апреля 1931 г. в Гамбурге, Германия. В 1934 г. вместе с семьёй эмигрировал в Англию, вернулся в Гамбург в 1949 г. Окончил Гамбургский университет по физике и математике в 1955 г., затем по 1957 г. изучал физику и гидроаэродинамику в Гёттингенском университете (PhD в 1957 г.) и Институте гидроаэродинамики Общества Макса Планка. В 1961–1964 гг. работал в Калифорнийском университете, Лос-Анжелес (США), затем вновь вернулся на родину, и с 1964 г. преподавал в Гамбургском университете, где с 1966 до 1975 гг. занимал должность профессора. В 1974 г. основал Институт метеорологии Общества Макса Планка и занимал должность директора до 1999 г. В 1988–1999 гг. был первым научным директором Немецкого климатического вычислительного центра. Основатель Европейского климатического форума. Обладатель нескольких европейских научных наград.

Джорджо Паризи (рис. 11) родился 4 августа 1948 г. в Риме, где и живёт до настоящего времени. В интервью Лауре Бонолис, опубликованном на его личном сайте, учёный рассказывал: «В школе я очень хорошо учился по всем научным предметам… С раннего возраста у меня была сильная предрасположенность к математике. По-видимому, я очень рано научился читать числа… К тринадцати или четырнадцати годам я выучил основы дифференциального и интегрального исчислений… К концу первого курса в университете я открыл для себя удивительные книги, такие как знаменитый курс теоретической физики Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица… Большая часть моей карьеры колебалась между статистической механикой и физикой высоких энергий… В конце концов я пришёл к физическим закономерностям в сложных системах» [29].

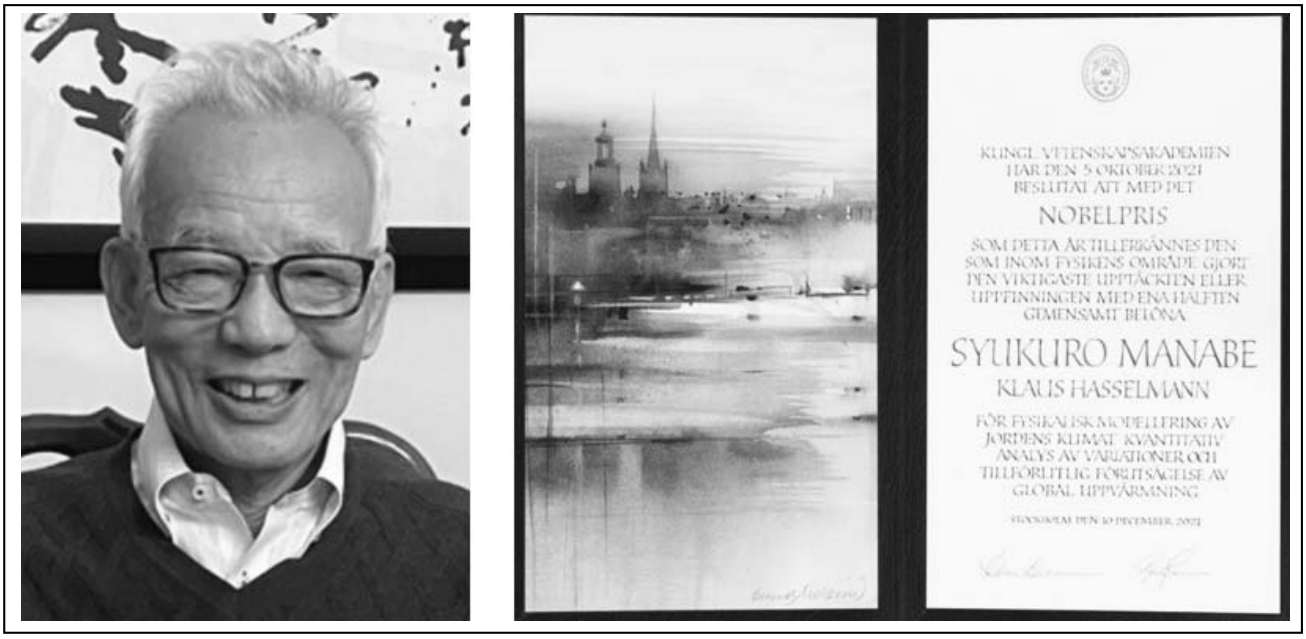

Рис. 9. Манабе и его Нобелевский диплом © Nobel Foundation

Рис. 10. Хассельманн и его Нобелевский диплом © Nobel Foundation

Основными характеристиками сложных физических систем является возникновение беспорядка из порядка и множество масштабов в пространстве и времени. Понимание природы этих явлений представляет собой колоссальную научную задачу. Самым наглядным примером является переход в динамической системе от ламинарного к турбулентному потоку: в этой и подобных нелинейных системах характеристика границы между порядком и беспорядком является одной из самых сложных проблем в физике. Турбулентная тепловая конвекция (к примеру, при кипячении воды) является наглядной демонстрацией роли множества масштабов в управлении макроскопическим переносом массы и тепла, которые происходят в атмосфере Земли и сопровождаются внутренними, внешними и эмерджентными явлениями.

Исследованиями термодинамических процессов в атмосфере занимались многие учёные ещё с 19 века (Ж.-Б. Фурье, Ю. Фут, Дж. Тиндаль, нобелевский лауреат С. Аррениус и др.). В 20 веке к прямым наблюдениям добавились результаты моделирования процессов в атмосфере, исходя из предположения о парниковом эффекте, вызываемом солнечной энергией и парниковыми газами, в первую очередь, CO_2. Хотя знаменитая кривая Килинга (названа в честь Ч. Килинга, который начал программу мониторинга с 1958 г.) показывает

Рис. 11. Джорджо Паризи и его Нобелевский диплом © Nobel Foundation

перманентное увеличение концентрации CO_2 за 50 с лишним лет почти на 100 единиц (с 320 до 420 частей на миллион[2]), модельные спектры показывают, что наиболее мощным парниковым газом в атмосфере Земли является водяной пар, распределение которого мы не можем напрямую контролировать. Вероятнее всего, атмосферный водяной пар контролируется сложным гидрологическим циклом, а термодинамические расчёты показывают, что на каждый градус повышения температуры атмосфера может содержать примерно на 7 % больше воды. Конечно, можно отслеживать температуру на поверхности Земли по концентрации других парниковых газов, но даже простой вопрос о взаимосвязи концентрации CO_2 с глобальной физической климатологией пока не находил ответа. Тем не менее, ещё С. Аррениус в 1896 г. установил, что атмосфера не насыщена. Прошло более ста лет, и современные спектроскопические измерения также показывают, что CO_2 далёк от насыщения.

Понятно, что любая модель является неким приближением к реальности с учётом многих ограничений. Глобальные климатические модели также являются результатом вычислительной аппроксимации многочисленных подсистем атмосферы с учётом физических законов. Последние достижения в области климатических моделей основаны на концепции, выдвинутой К. Хассельманом в 1976 г., о том, что хаотическая динамика погоды основана на изменчивости в длительных временных масштабах и находится в зависимости от входящей солнечной энергии и исходящей инфракрасной энергии. С. Манабе с сотрудниками впервые предложили модель атмосферы в виде одномерной колонны с заданным профилем относительной влажности и концентрации парниковых газов, в которой термодинамические процессы рассчитывались с учётом радиационного переноса и конвективной регулировки. Им удалось решить модельные уравнения для тепла, массы, им-пульса и излучения в объёме всего земного шара, показав, что удвоение содержания CO_2 приводит к потеплению на 2,3–2,93° С. В действительности профиль парниковых газов изменяется с течением времени, и климат на это реагирует. Таким образом, С. Манабе сформулировал и обосновал климатическую модель общей циркуляции (глобальную климатическую модель), которая учитывает процессы в атмосфере и океане. Позже К. Хассельманн предложил схему систематической оценки того, как модели сравниваются с наблюдениями и что лежит в основе изменчивости в обоих, смоделировал обобщающее стохастическое описание динамики океанского климата, связав его с погодой. Сейчас эти модели являются основой для понимания климата и его изменений, а также для прогнозирования погоды.

Как бы ни были хороши модели, но физическая космология и физическая климатология являются науками, основанными на методе наблюдения, а наблюдать можно лишь то, что позволяет природа.

[2] https://keelingcurve.ucsd.edu

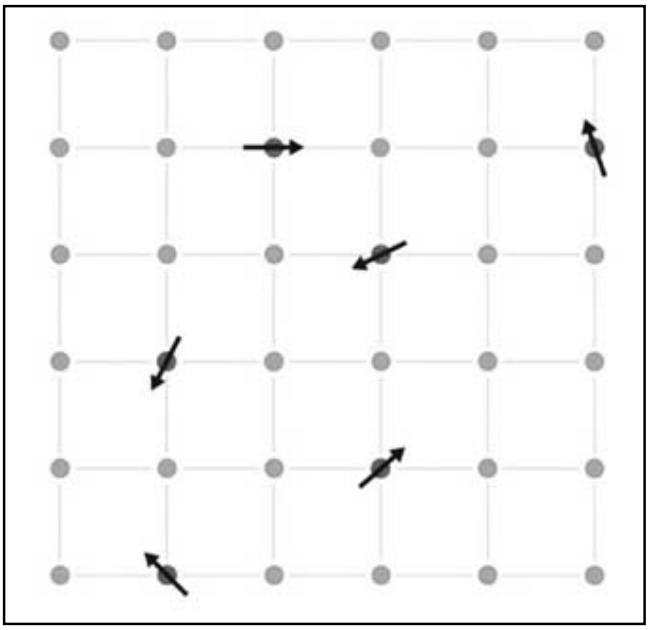

Рис. 12. Модельная структура спинового стекла: атомы железа (красные) случайно внедрились в упорядоченную решётку из атомов меди (зелёные) и хаотично выбирают направления спинов (стрелки) [28]

Поэтому подтвердить модели изменений климата и прогнозы погоды можно только в будущем. Тем не менее, идея К. Хассельмана заключалась в том, чтобы использовать модели в ретроспективу, т.е. дать ответ на вопрос о том, какие обстоятельства привели климат к его нынешнему состоянию – это была естественная изменчивость или увеличение концентраций парниковых газов в результате деятельности человека.

В трёх работах 1979–1997 гг. К. Хассельман создал основы для систематического сравнения климатических моделей и наблюдений. Он доказал, что теория, наблюдения и модели дают значительную информацию о свойствах основных климатических сигналов и климатических шумов. Именно уникальные характеристики сигнала могут быть использованы для отличия сигналов от шума. Статья К. Хассельмана [30] была статистической дорожной картой для сотен последующих исследований по изучению изменений климата и обеспечила мощную научную поддержку вывода, сделанного в 2013 г. Межправительственной группой экспертов по изменению климата (лауреат Нобелевской премии мира 2007 г.): «Весьма вероятно, что влияние человека было доминирующей причиной наблюдаемого потепления с середины 20-го века».

Нелинейные волновые взаимодействия, роль беспорядка и флуктуаций в сложных системах удивительным образом связывают работы К. Хассельмана и Дж. Паризи, в которых объединён широчайший диапазон физических систем: стохастичность и прерывистость турбулентности, евклидовы случайные матрицы, неравновесные флуктуации в стёклах, стохастическое межфазное движение, гранулярная материя и роль случайных флуктуаций в управлении климатическими состояниями Земли в течение многих столетий.

Дж. Паризи удивительно многосторонний учёный, редчайший современный энциклопедист. В списке его публикаций ещё более 10 лет назад было выделено 14 различных научных направлений, в которых он добился серьёзных результатов. Этот список в 2008 г. содержал 527 публикаций (в том числе 4 монографии) [31], а сейчас ему принадлежат около 700 научных статей. В 2021 г. Дж. Паризи вошёл в тройку самых цитируемых физиков мира (после А.Ю. Китаева и М. Ньюмана из США).

Многие десятилетия выдающиеся учёные мира пытались продвинуться в понимании того, как возникает сложный порядок из простого беспорядка, из хаоса. Этой проблемой серьёзно занимались и нобелевские лауреаты И.Р. Пригожин, М. Гелл-Манн, Г.т’ Хоофт, У.А. Фаулер, А.Х. Зевайл и др. [2–6, 16, 32], но прорывных результатов получить не удавалось. Значительный прогресс в понимании этого был достигнут в работах Дж. Паризи. Система, которая привлекла его внимание с 1979 г., называется спиновым стеклом. Спин, как мы помним, это собственный момент импульса любой элементарной частицы, а стекло – типичное аморфное вещество. Объединение этих двух совершенно разных терминов указывает на такие материалы, в которых к немагнитным атомам добавлены (от 0,1 до 10 %) отдельные атомы магнитного вещества, например, железа или никеля (рис. 12).

В такой системе образуется фрустрация: магнитные моменты атомов пытаются выстроиться в противоположные стороны, но это невозможно. Задача заключается в том, чтобы понять, как магнитные моменты атомов расположатся в итоге. Дж. Паризи догадался, что в спиновых стёклах равновесие никогда не достигается, так как фрустрации не позволяют удовлетворить всем ограничениям. В действительности существует бесконечное множество практически равновесных состояний, в которых фрустрации стремятся к минимуму. Учёный предположил и доказал, что все такие почти равновесные состояния схожи друг с другом, обладают скрытой структурой (порядком) и выглядят хаотичными только на первый взгляд. Он математически описал, что происходит, когда на систему действуют одновременно и порядок, и хаос

[33, 34]. Эта теория Дж. Паризи была проверена экспериментально с помощью модели на основе случайных лазеров и сейчас является основой в теории сложных систем.

Неупорядоченные системы возникают не только в магнитных сплавах, поэтому выводы из изучения спиновых стёкол распространились на другие области – информационно-поисковые системы, нейронные сети, спинтронику и даже в живую природу. Дж. Паризи сделал прорывные открытия в квантовой хронодинамике – сложнейшей системе взаимодействия кварков, для которой он предложил математику как для сложных неупорядоченных систем.

«Лауреаты Нобелевской премии в области физики доказали, что, вне всяких сомнений, физический мир – это единый океан энергии, который возникает и спустя миллисекунды исчезает, пульсируя снова и снова. Нет ничего сплошного и твёрдого. Таков мир квантовой физики» [35].

Остаётся только добавить, что в 2021 г. сбылся прогноз компании Clarivate Analytics, которой принадлежит одна из крупнейших научных информационных систем Web of Science. Из базы данных, содержащей 52 млн. научных статей, опубликованных после 1970 г., эксперты отобрали 6 500 наиболее цитируемых (от 2 000 и более цитирований) работ, куда и попали в первую тройку публикации Дж. Паризи. Это был один из редких случаев, когда наукометрические результаты совпали с мнением номинаторов и учёных из Королевской Шведской Академии наук.

Настоящее исследование не получило внешнего финансирования.

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

1. Красильников А.Н. *Произведения лауреатов Нобелевской премии по литературе (1901–2020) на русском языке. История, библиографические списки и литературное приложение* / под ред. д.т.н., проф. В.М.Тютюнника. 4-е изд., испр. и доп. Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Сток-гольм; Буаке; Варна: изд-во МИНЦ «Нобелистика», 2020. 270 с. Krasilnikov A.N. *Proizvedeniya laureatov Nobelevskoj premii po literature (1901–2020) na russkom yazyke. Istoriya, bibliograficheskie spiski i literaturnoe prilozhenie* [Works of nobel prize winners in literature (1901–2020) in Russian language. History, bibliography and literary supplement]. Ed. prof V.M. Tyutyunnik. 4th ed., correct. and suppl. Tambov; Moscow; SPb.; Baku; Vienna; Stockholm; Bouaké; Varna. INIC Publ. House “Nobelistics”, 2020. 270 p.
2. Tyutyunnik V.M. Graphene breakthrough into future technology: the 2010 Nobel Prize in Physics Laureate Sir Konstantin Sergeevich Novoselov. *Journal of Advanced Materials and Technologies*. 2021. Vol. 6. No.1. Pp. 6–9. DOI: 10.17277/jamt.2021.01.pp.006-009.
3. Tyutyunnik V.M. Generation of high-intensity ultrashort optical pulses: 2018 Nobel Prize winners in Physics Gerard Mourou and Donna Strickland. *Journal of Advanced Materials and Technologies*. 2021. Vol. 6. No. 2. Pp. 87–90. DOI: 10.17277/jamt.2021.02.pp.087-090.
4. Tyutyunnik V.M. Another breakthrough in power supply technology – lithiumion batteries: 2019 Nobel Prize winners in Chemistry John Goodenough, Stanley Whittingham and Akira Yodhino. *Journal of Advanced Materials and Technologies*. 2021. Vol. 6. No. 3. Pp. 163–166. DOI: 10.17277/jamt.2021.03.pp.163…166.
5. Tyutyunnik V.M. Disorder and fluctuations in complex physical systems: 2021 Nobel Prize winners in Physics Giorgio Parisi. *Journal of Advanced Materials and Technologies*. 2021. Vol. 6. No. 4. Pp. 243–246. DOI: 10.17277/jamt.2021.04.pp.243…246.
6. Тютюнник В.М. Нобелевские лауреаты – отечественные и иностранные члены и обладатели наград Российской академии наук // *История науки и техники*. 2020. № 9. С. 3–26. DOI: 10.25791/intstg.09.2020.1210 Tyutyunnik V.M. Nobelevskie laureaty – otechestvennye i inostrannye chleny i obladateli nagrad Rossijskoj akademii nauk [Nobel laureates – domestic and foreign members and award winners of the Russian Academy of Sciences]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of Science and Technology]. 2020. № 9. Pp. 3–26. DOI: 10.25791/intstg.09.2020.1210.
7. Пирожков Г.П., Тютюнник В.М. Архив семейства Нобелей и лауреатов Нобелевских премий Международного Информационного Нобелевского Центра в Тамбове // *Вестник культуры и искусств*. 2019. № 1(57). С. 52–61. Pirozhkov G.P., Tyutyunnik V.M. Arhiv semejstva Nobelej i laureatov Nobelevskih premij Mezhdunarodnogo Informacionnogo Nobelevskogo Centra v Tambove [Archive of the Nobel Family and Nobel Laureates of the International Information Nobel Center in Tambov]. *Vestnik kul'tury i iskusstv*

[Bulletin of Culture and Arts]. 2019. No. 1(57). Pp. 52–61.

8. Тютюнник В.М., Мешкунов В.С., Евсеева О.А. Первые лауреаты Нобелевской премии по литературе: Р. Сюлли-Прюдом, Т. Моммзен и Б. Бьёрнсон // *Всеобщая история*. 2018. № 3 (Сентябрь). С. 28–36. Tyutyunnik V.M., Meshkunov V.S., Evseeva O.A. Pervye laureaty Nobelevskoj premii po literature: R. Syulli-Pryudom, T. Mommzen i B. B'yornson [The first Nobel Prize Winners in Literature: R. Sully-Prudhomme, T. Mommsen and B. Bjørnson]. *Vseobshchaya istoriya* [General history]. 2018. No 3 (September). Pp. 28–36.
9. Тютюнник В.М. Памяти нобелевского лауреата сэра Питера Мэнсфилда // *Информационные системы и процессы: сб. науч. тр.* / под ред. проф. В.М. Тютюнника. Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Гамбург; Стокгольм: изд-во МИНЦ «Нобелистика», 2017. Вып. 16. С. 107–109. Tyutyunnik V.M. Pamyati nobelevskogo laureata sera Pitera Mensfilda [In memory of Nobel laureate Sir Peter Mansfield]. *Informacionnye sistemy i processy: sb. nauch. tr.* [Information systems and processes: coll. sci. trans]. Ed. Prof. V.M.Tyutyunnik. Tambov; Moscow; SPb.; Baku; Vienna; Stockholm; Bouaké; Varna. INIC Publ. House “Nobelistics”, 2017. Issue 16. Pp. 107–109.
10. Тютюнник В.М. Академик Николай Николаевич Семёнов. К 120-летию со дня рождения // *Стеклопрогресс – XXI: сб. науч. докл. 8-й Междунар. конф., 17–20 мая 2016 г.* Саратов: ООО «Амирит», 2016. С. 7–15. Tyutyunnik V.M. Akademik Nikolaj Nikolaevich Semyonov. K 120-letiyu so dnya rozhdeniya [Academician Nikolai Nikolaevich Semenov. To the 120th anniversary of his birth]. *Stekloprogress – XXI: sb. nauch. dokl. 8-j Mezhdunar. konf., 17–20 maya 2016 g.* [Glassprogress – XXI: coll. sci. reports 8th Intern. conf., 17–20 May 2016]. Saratov: «Amirit», 2016. Pp. 7–15.
11. Тютюнник В.М., Рязанов Д.С. Лауреаты Нобелевских премий за 2016 год // *Всеобщая история*. 2017. № 3 (сент.). С. 52–71. Tyutyunnik V.M., Ryazanov D.S. Laureaty Nobelevskih premij za 2016 god [Nobel Prize Winners for 2016]. *Vseobshchaya istoriya* [General history]. 2017. № 3 (Sept.). Pp. 52–71.
12. Тютюнник В.М. Лауреаты Нобелевских премий и научные лаборатории мира // *Наука, технологии, общество и Международное Нобелевское движение: Материалы Нобелевского конгресса – 11 Международной встречи-конференции лауреатов Нобелевских премий и нобелистов, 24–28 окт. 2017 г., г. Тамбов (Россия)* / под ред. проф. В.М. Тютюнника. Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Гамбург; Стокгольм: изд-во МИНЦ «Нобелистика», 2017. Тр. МИНЦ. Вып. 6. С. 16–26. Tyutyunnik V.M. Laureaty Nobelevskih premij i nauchnye laboratorii mira [Nobel Laureates and World Science Laboratories]. *Nauka, tekhnologii, obshchestvo i Mezhdunarodnoe Nobelevskoe dvizhenie: Materialy Nobelevskogo kongressa – 11 Mezhdunarodnoj vstrechi-konferencii laureatov Nobelevskih premij i nobelistov, 24–28 okt. 2017 g., g. Tambov (Rossiya)* [Science, Technology, Society and the International Nobel Movement: Proceedings of the Nobel Congress – 11th International Meeting-Conference of Nobel Laureates and Nobelists, 24-28 Oct. 2017, Tambov (Russia)]. Ed. Prof. V.M.Tyutyunnik. Tambov; Moscow; SPb.; Baku; Vienna; Stockholm; Bouaké; Varna. INIC Publ. House “Nobelistics”, 2017. INIC Trans. Issue 6. Pp. 16–26.
13. Тютюнник В.М., Рязанов Д.С., Евсеева О.А. Вручение Нобелевских премий за 2015 год по физике, химии, физиологии или медицине // *История науки и техники*. 2016. № 3. С. 45–53. Tyutyunnik V.M., Ryazanov D.S., Evseeva O.A. Vruchenie Nobelevskih premij za 2015 god po fizike, himii, fiziologii ili medicine [Presentation of Nobel Prizes for 2015 in Physics, Chemistry, Physiology or Medicine]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of Science and Technology]. 2016. No. 3. Pp. 45–53.
14. Тютюнник В.М., Рязанов Д.С., Евсеева О.А. Вручение Нобелевских премий по литературе, премии мира и по экономическим наукам за 2015 год // *Всеобщая история*. 2016. № 1. С. 55–60. Tyutyunnik V.M., Ryazanov D.S., Evseeva O.A. Vruchenie Nobelevskih premij po literature, premii mira i po ekonomicheskim naukam za 2015 god [Presentation of the Nobel Prizes in Literature, Peace Prize and Economic Sciences for 2015]. *Vseobshchaya istoriya* [General History]. 2016. No. 1. Pp. 55–60.
15. Тютюнник В.М., Каменская В.В., Рязанов Д.С. Музей, библиотека и архив семейства Нобелей и лауреатов Нобелевских премий // *Перспективы науки*. 2016. № 8(83). С. 66–71. Tyutyunnik V.M., Kamenskaya V.V., Ryazanov D.S. Muzej, biblioteka i arhiv semejstva Nobelej i laureatov Nobelevskih premij [Museum, Library and Archive of the Nobel Family and Nobel Prize Winners]. *Perspektivy nauki* [Perspectives of science]. 2016. No. 8(83). Pp. 66–71.
16. Тютюнник В.М. Номинирование на Нобелевскую премию по физике в 1911–1950 годах // *Инженерная физика*. 2021. № 2. С. 10–33. DOI: 10.25791/infizik.2.2021.1189. Tyutyunnik V.M. Nominirovanie na Nobelevskuyu premiyu po fizike v 1911–1950 godah [Nomination for the Nobel

Prize in Physics in 1911–1950]. *Inzhenernaya fizika* [Engineering Physics]. 2021. No. 2. Pp. 10–33. DOI: 10.25791/infizik.2.2021.1189].

17. Тютюнник В.М. Номинирование на Нобелевскую премию по физике в 1911–1950 годах // *Прикладная физика и математика*. 2021. № 1. С. 3–26. DOI: 10.25791/pfim.01.2021.1189. Tyutyunnik V.M. Nominirovanie na Nobelevskuyu premiyu po fizike v 1911–1950 godah [Nomination for the Nobel Prize in Physics in 1911–1950]. *Prikladnaya fizika i matematika* [Applied Physics and Mathematics]. 2021. No. 1. Pp. 3–26. DOI: 10.25791/pfim.01.2021.1189.
18. Тютюнник В.М. Наукометрические анализы выдвижений кандидатов на Нобелевские премии. 4. Номинанты и номинаторы на Нобелевскую премию по химии, 1911–1950 // *История науки и техники*. 2021. № 2. С. 12–38. DOI: 10.25791/intstg.2.2021.1254. Tyutyunnik V.M. Naukometricheskie analizy vydvizhenij kandidatov na Nobelevskie premii. 4. Nominanty i nominatory na Nobelevskuyu premiyu po himii, 1911–1950 [Scientometric analyses of nominations for Nobel Prizes. 4. Nominees and nominators for the Nobel Prize in Chemistry, 1911–1950]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of Science and Technology]. 2021. No. 2. Pp. 12–38. DOI: 10.25791/intstg.2.2021.1254.
19. Тютюнник В.М., Силиванец Е.А. Наукометрические анализы выдвижений на Нобелевские премии. 2. Номинанты и номинаторы на Нобелевскую премию по физике, 1901–1910 // *История науки и техники*. 2020. № 2. С. 3–22. DOI: 10.25791/intstg.02.2020.1160. Tyutyunnik V.M. Naukometricheskie analizy vydvizhenij na Nobelevskie premii. 2. Nominanty i nominatory na Nobelevskuyu premiyu po fizike, 1901–1910 [Scientometric analyses of nominations for Nobel Prizes. 2. Nominees and nominators for the Nobel Prize in Physics, 1901–1910]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of Science and Technology]. 2020. № 2. Pp. 3–22. DOI: 10.25791/intstg.02.2020.1160.
20. Тютюнник В.М. Тенденции и особенности развития современной науки: номинанты и номинаторы на Нобелевские премии по физике и химии // *Формирование профессионала в условиях региона: Материалы XXI Междунар. науч. конф., г. Тамбов, 22–23 марта 2020 г.* / под ред. проф. В.М. Тютюнника, проф. В.А. Зернова, проф. В.А. Фёдорова. Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Гамбург; Стокгольм; Буаке; Варна; Ташкент: изд-во МИНЦ «Нобелистика», 2020. С. 116–163. Tyutyunnik V.M. Tendencii i osobennosti razvitiya sovremennoj nauki: nominanty i nominatory na Nobelevskie premii po fizike i himii [Trends and features of the development of modern science: Nominees and nominators for the Nobel Prizes in Physics and Chemistry]. Formirovanie professionala v usloviyah regiona: Materialy XXI Mezhdunar. nauch. konf., g. Tambov, 22–23 marta 2020 g. [Formation of a professional in the conditions of the region: Materials of the XXI Intern. sci. conf., Tambov, March 22–23, 2020]. Eds: Prof. V.M. Tyutyunnik, Prof. V.A. Zernov, Prof. V.A. Fedorov. Tambov; Moscow; SPb.; Baku; Vienna; Stockholm; Bouaké; Varna; Tashkent. INIC Publ. House “Nobelistics”, 2020. Pp. 116–163.
21. Тютюнник В.М., Силиванец Е.А. Наукометрические анализы выдвижения кандидатов на Нобелевские премии. 1. Номинанты и номинаторы на Нобелевскую премию по химии (1901–1910) // *История науки и техники*. 2019. № 9. С. 3–21. DOI: 10.25791/intstg.09.2019.847. Tyutyunnik V.M., Silivanets E.A. Naukometricheskie analizy vydvizheniya kandidatov na Nobelevskie premii. 1. Nominanty i nominatory na Nobelevskuyu premiyu po himii (1901–1910) [Scientometric analyses of nomination of candidates for Nobel Prizes. 1. Nominees and nominees for the Nobel Prize in Chemistry (1901–1910)]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of Science and Technology]. 2019. No. 9. Pp. 3–21. DOI: 10.25791/intstg.09.2019.847].
22. Тютюнник В.М. Эффективность науки: к 120-летию Нобелевских премий // *Наука, технологии, общество и Международное Нобелевское движение: Материалы Нобелевского конгресса – 12 Международной встречи-конференции лауреатов Нобелевских премий и нобелистов, 2–5 окт. 2019 г., г. Тамбов (Россия)* / под ред. проф. В.М.Тютюнника. Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Гамбург; Стокгольм; Буаке, Варна: изд-во МИНЦ «Нобелистика», 2019. Тр. МИНЦ. Вып. 7. С. 6–10. Tyutyunnik V.M. Effektivnost' nauki: k 120-letiyu Nobelevskih premij [The Effectiveness of Science: To the 120th Anniversary of the Nobel Prizes]. *Nauka, tekhnologii, obshchestvo i Mezhdunarodnoe Nobelevskoe dvizhenie: Materialy Nobelevskogo kongressa – 12 Mezhdunarodnoj vstrechi-konferencii laureatov Nobelevskih premij i nobelistov, 2–5 okt. 2019 g., g. Tambov (Rossiya)* [Science, Technology, Society and the International Nobel Movement: Proceedings of the Nobel Congress – 12th International Meeting-Conference of Nobel Laureates and Nobelists, 2–5 Oct. 2019, Tambov (Russia)]. Ed. Prof. V.M. Tyutyunnik. Tambov; Moscow; SPb.; Baku; Vienna; Stockholm; Bouaké; Varna. INIC Publ. House “Nobelistics”, 2019. INIC Trans. Issue 7. Pp. 6–10.

23. Тютюнник В.М., Силиванец Е.А. Наукометрические анализы выдвижений кандидатов на Нобелевские премии. Номинанты и номинаторы на Нобелевскую премию по физике (1901–1910) // *Инженерная физика*. 2019. № 12. С. 18–36. DOI: 10.25791/infizik.12.2019.1099. Tyutyunnik V.M., Silivanets E.A. Naukometricheskie analizy vydvizhenij kandidatov na Nobelevskie premii. Nominanty i nominatory na Nobelevskuyu premiyu po fizike (1901–1910) [Scientometric analyses of nominations for Nobel Prizes. Nominees and nominators for the Nobel Prize in Physics (1901–1910)]. *Inzhenernaya fizika* [Engineering Physics]. 2019. No.12. Pp. 18–36. DOI: 10.25791/infizik.12.2019.1099.
24. Тютюнник В.М. Международное Нобелевское движение // *Науковедческие исследования: сб. науч. тр.* / РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. по науке, образованию и технологиям; отв. ред. А.И. Ракитов. М.: ИНИОН РАН, 2017. С. 175–204. Tyutyunnik V.M. Mezhdunarodnoe Nobelevskoe dvizhenie [International Nobel Movement]. *Naukovedcheskie issledovaniya: sb. nauch. tr.* [Scientometrics researches: coll. sci. trans. RAS]. ISISS, Center research-inform. invetig. on science, education and technologies; ed. A.I. Rakitov. Moscow: ISISS RAS, 2017. Pp. 175–204.
25. *Prospective areas of research in science and technology: Collective monograph*. Ed. Prof. V.M. Tyutyunnik. Foreword: D. Shechtman, I. Hargittai. Tambov; Moscow; St.-Petersburg; Baku; Vienna; Hamburg; Stockholm; Bouake; Varna; Tashkent. INIC Publishing House “Nobelistics”, 2021. 242 p. DOI: 10.52529/9785866092437.
26. Penrose R. *Gravitational collapse: the role of general relativity. Nuovo Cimento Rivista Serie*. 1969. Vol. 1. Pp. 252–276. (Gravitational collapse: the role of general relativity. General Relativity and Gravitation. 2002. Vol. 34. no. 7. Pp. 1141–1165. DOI: 10.1023/A:1016578408204)].
27. *Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2020: Theoretical foundation for black holes and the supermassive compact object at the galactic centre*. The Nobel Committee for Physics. [Электронный ресурс]. URL: https://www.nobelprize.org/uploads/2020/10/advanced-physicsprize2020.pdf.
28. *Nobel Prize in Physics 2021*: [Электронный ресурс]. URL: https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/ (Дата обращения: 05.10.2021).
29. Bonolis L. *Giorgio Parisi*: [Электронный ресурс]. URL: https://chimera.roma1.infn.it/GIORGIO/interviews.html (Дата обращения: 09.11.2021).
30. Hasselmann K. *On the Signal-to-Noise Problem in Atmospheric Response Studies*. Meteorology of Tropical Oceans. Ed. D.B. Shaw. London: Roy. Meteorol. Soc., 1979. Pp. 251–259.
31. Parisi G. *List of Publications*. October 2008: [Электронный ресурс]. URL: https://chimera.roma1.infn.it/GIORGIO/papers.html (Дата обращения: 09.11.2021).
32. *Наука, технологии, общество и Международное Нобелевское движение: Материалы Нобелевского конгресса – 12 Международной встречи-конференции лауреатов Нобелевских премий и нобелистов, 2–5 окт. 2019 г., г. Тамбов (Россия)* / под ред. проф. В.М.Тютюнника. Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена; Гамбург; Стокгольм; Буаке, Варна: изд-во МИНЦ «Нобелистика», 2019. Тр. МИНЦ. Вып. 7. 256 с. *Nauka, tekhnologii, obshchestvo i Mezhdunarodnoe Nobelevskoe dvizhenie: Materialy Nobelevskogo kongressa – 12 Mezhdunarodnoj vstrechi-konferencii laureatov Nobelevskih premij i nobelistov, 2–5 okt. 2019 g., g. Tambov (Rossiya)* [Science, Technology, Society and International Nobel Movement: Proceedings of the Nobel Congress – 12th International Meeting-Conference of Nobel Prize Winners and nobelists, 2–5 Oct. 2019, Tambov (Russia)]. Ed. Prof. V.M.Tyutyunnik. Tambov, Moscow, St. Petersburg, Baku, Vienna, Hamburg, Stockholm, Bouake, Varna, Tashkent: INIC Publ. House “Nobelistics”, 2019, 256 p.
33. Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2021: For groundbreaking contributions to our understanding of complex physical systems / *The Nobel Committee for Physics*. [Электронный ресурс]. URL: https://www.nobelprize.org/uploads/2021/10/sciback_fy_en_21.pdf.
34. Mézard M., Parisi G., Virasoro M.A. *Spin Glass Theory and Beyond*. NJ USA: World Scien-tific, Teaneck, 1987. 476 p.
35. *Ассараф, Дж.* [Электронный ресурс]. URL: https://vk.com/@-81321249-laureaty-nobelevskoi-premii-v-oblasti-fiziki-dokazali-chto-v (Дата обращения: 06.11.2021).

Сведения об авторах

Тютюнник Вячеслав Михайлович, *доктор техн. наук, профессор, президент и генеральный директор*
Международный Информационный Нобелевский Центр (МИНЦ),
392002, г. Тамбов, Российская Федерация, Первомайская пл., д.30-6;
профессор кафедры конструирования радиоэлектронных и микропроцессорных систем
Тамбовский государственный технический университет
392000, г. Тамбов, Российская Федерация, ул. Советская, 106

Фёдоров Виктор Александрович, *доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики*
Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,
392036, Тамбов, Российская Федерация, ул. Интернациональная, д. 33

Information about authors

Tyutyunnik Viacheslav M., *Doctor of Techn. Sciences, Professor, President and General Director*
International Nobel Information Centre (INIC)
392002, Tambov, Russian Federation, Pervomaiskaya Square, 30-6;
Professor of the Department of Design of Radioelectronic and Microprocessor Systems
Tambov State Technical University
392000, Tambov, Russian Federation, Sovetskaya Street, 106

Fedorov Viktor A., *Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Professor of the Department of Theoretical and Experimental Physics*
G.R.Derzhavin Tambov State University,
392036, Tambov, Russian Federation, Internatsionalnaya Str., 33