



НАУКА И ЖИЗНЬ

ISSN 1683-9528

II ● «Домик Нащокина
2017 доведён до совершенства» (Пушкин)

- Чёрная дыра: результаты исследований появляются
- Время на работу и время подумать — это разные категории?
- «Свобода, Санчо, есть одна из самых драгоценных щедрот...»
- Так как же всё-таки красил забор наш лучший друг Том?



В Н О М Е Р Е :

Нобелевские премии 2017 года	
K. СТАСЕВИЧ — Молекулярные ритмы жизни	2
A. ПОНЯТОВ, канд. физ.-мат. наук — Открытие, которого ждали сто лет	8
Жизнь без лекарств	
N. КАРДАШЁВ, акад. — То, что мы делаем, — это впервые (беседу ведёт Н. Лескова)	14
Сигналы из космоса	
Бюро иностранной научно-технической информации	
M. МАКАРОВА — Дача в законе	26
M. СОФЕР, канд. геогр. наук — Бывает ли горизонтальной поверхность воды?	29
Наука и жизнь в начале XX века	
G. РЯЗАНЦЕВ, В. МОНИН — Мини-цунами на Азовском море	42
Бюро научно-технической информации	
L. ЮРГАНОВ — Метан над Арктикой	46
K. АВИЛОВА, канд. биол. наук, Н. КИЯТКИНА — Птицы в городе	50
О чём пишут научно-популярные журналы мира	
E. ЛОМОВСКИЙ — Путешествие значительной особы с личным секретарём	60
«УМА ПАЛАТА»	
Познавательный-развивающий раздел для школьников	
N. ВЕХОВ, канд. биол. наук — Загадочная птица дронит (81). Ю. ФРОЛОВ — Пауки и погода (89). Марку Твену виднее (90). Н. КАРПУШИНА — Суета вокруг забора (91). Ответы и решения (95).	
Искусство перед неизвестной реальностью	
A. СИЛЕНГИНСКИЙ — На чаше весов... (фантастический рассказ)	100
V. ХОРТ — Отчаянные головоломки: Мастер-скульп и Рекс-куб	106
Кунсткамера	
G. ГУЛАРЬЯНЦ — Хрупкий мир лишайников	112
A. РУЛЁВ, докт. хим. наук — Химик мистер Шерлок Холмс	118
D. ВЛАСОВ — Игрушка пушкинской поры	124
V. МАКСИМОВ, канд. филол. наук — Из истории фамилий	130
N. ХРОМОВ, канд. с.-х. наук — Цветы подкармливаем... сахаром	132

Маленькие хитрости	136
Ответы и решения	137
Кроссворд с фрагментами	138
M. ШАЛЕВ — Дерево полевое (глава из новой книги «Мой дикий сад», перевели с иврита Р. Нудельман и А. Фурман)	140

НА ОБЛОЖКЕ:

1-я стр. — Картина А. В. Ленгулова «Пейзаж с красным домом». 1917 год. Саратовский областной художественный музей. Работа демонстрируется в эти дни в Москве на выставке «Некто 1917» в Государственной Третьяковской галерее. Выставка названа пророческими словами поэта Велимира Хлебникова, которыми он закончил свои вычисления о времени падения государств, опубликовав их в 1912 году. (См. стр. 98.)

Из каталога выставки: *А. В. Ленгулов принадлежал, по собственному выражению, к «крайне левой» фракции общества «Бубновый валет»... В нарочитом нарушении общепринятых вкусов сказывалось его бессознательное бунтарство: как все авангардисты, Ленгулов не выносил проявлений «буржуазного эстетизма»... В политике он тоже тяготел к левым начиная с 1905 года, когда попытался участвовать в пензенской демонстрации, окончившейся кровопролитием. Неудивительно, что Ленгулов принял и Февральскую, и Октябрьскую революцию. Однако его выступление на митинге художников, состоявшемся в Москве 18 марта, было сдержанным: согласно газетному отчёту, он «предостерегал от смешения искусства и политики, от навязывания художнику какого-либо общественного "служения"». При обсуждении резолюции «Ленгулов возражал против национальных стремлений и утверждал тезис об интернациональности искусства».*

Внизу: Вихри враждебные... Подобные «вихревые» движения воды часто незаметны с берега. Это приводит неопытных, хотя и отчаянных купальщиков к драматическим последствиям. Попад в «водоворот», они ощущают, что течение «затягивает» их вглубь, но оказываются не в состоянии бороться с ним. Опытные же пловцы хорошо знают каверзную структуру потока и избегают опасных мест. Фото Н. Домриной. (См. статью на стр. 29.)

2-я стр. — Испания, городок Алькала де Эбро, памятник губернатору «острова Баратария» Санчо Пансе. Скульптор Карлос Перес де Альбенис. Фото Е. Ломовского. (См. статью на стр. 60.)

В этом номере 144 страницы.



НАУКА И ЖИЗНЬ®

№ 11

Н О Я Б Р Ъ

2017

Журнал основан в 1890 году.
Издание возобновлено в октябре 1934 года.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ ЖУРНАЛ

Нобелевскую премию по физиологии и медицине получили американские исследователи Джеффри Холл (Jeffrey C. Hall), Майкл Росбаш (Michael Rosbash) и Майкл Янг (Michael W. Young) за открытие молекулярных механизмов, управляющих циркадными ритмами.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ РИТМЫ ЖИЗНИ

Что бывает, когда не выспишься, знает каждый: трудно сосредоточиться, быстро наступает утомление, а настроение стремительно портится по пустякам. Но в то, что регулярный недосып сказывается и на обмене веществ, и на иммунитете, и на работе сердца, верится с трудом. Однако это именно так. Сон — одно из проявлений суточных ритмов, которые влияют на весь организм.

Известно, что днём и ночью у нас разная температура тела, что днём и ночью по-разному работают сердце и сосуды, что обмен веществ подчиняется суточным колебаниям. Понятно, что если вмешиваться в ход биологических часов, то последствия будут довольно серьёзные. И неплохо бы знать, как устроены эти часы, какая пружина приводит их в действие.

Может показаться, что всё дело в смене дня и ночи. С самого момента появления жизни на Земле живым организмам приходилось как-то адаптироваться к регулярным изменениям освещённости. Однако ещё в XVIII веке

французский астроном Жан-Жак де Меран заметил, что биологические часы обладают определённой автономией. Он экспериментировал с гелиотропами, которые поворачивают соцветия вслед за солнцем и опускают свои листья на ночь. Понаблюдав за растениями, круглые сутки находившимися в темноте, де Меран обнаружил, что они продолжают поднимать и опускать листья.

Впоследствии были и другие эксперименты (подробно о них можно прочитать в статье «Триллион беззвучных часов» — «Наука и жизнь» № 5, 2009 г.), которые окончательно убедили биологов, что у живых организмов есть собственные самостоятельные ритмы. Правда, оказалось, что сами по себе эти ритмы лишь приблизительно совпадают с суточным временем. Так, внутренние циркадные ритмы растений составляют 23—28 часов, а животных — 23—25 часов (потому их и назвали циркадными или циркадианными — от лат. *circa dies*, то есть «около суток»). Чтобы внутренние часы стали 24-часовыми, нужен свет, точнее, регулярная смена освещённости: если вокруг нас день и ночь сменяют друг друга естественным образом, то и часы подстраиваются под них.

У человека и вообще у млекопитающих циркадные ритмы с реальным временем согласовывает особая структура — «супрахиазматическое ядро», расположенное в головном мозге, в гипоталамусе. Оно получает сигналы напрямую от глаз и задаёт ритм всем остальным часам во всех органах и тканях, то есть супрахиазматическое ядро можно назвать нашим «главным циферблатом». Но что приводит все эти часы в действие? Очевидно, какие-то особые гены.





Фото: Chinese University of Hong Kong.

Джеффри Холл.

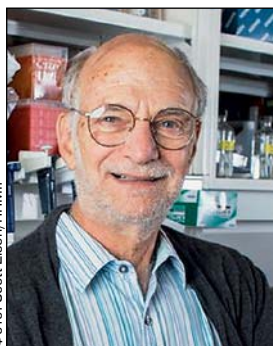


Фото: Scott Eisen/HHMI.

Майкл Росбаш.

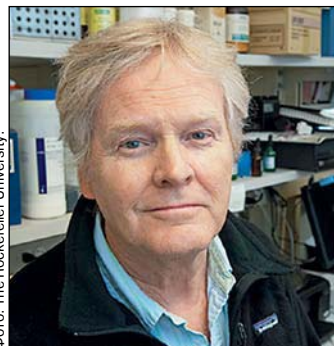


Фото: The Rockefeller University.

Майкл Янг.

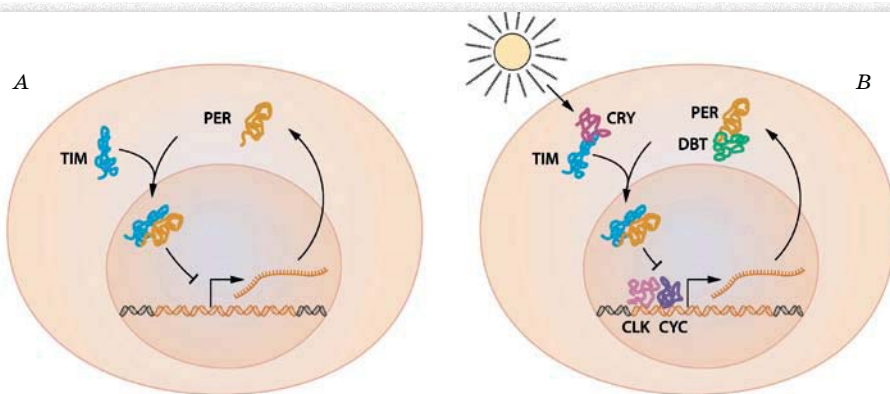
Впервые о часовых генах заговорили в начале 1970-х годов, после экспериментов с дрозофилами, которые выполнили физик и молекулярный биолог Сеймур Бензер и его студент Рональд Конопка, работавшие в то время в Калифорнийском технологическом институте. Они вносили в ДНК дрозофил мутации и следили, меняется ли суточный ритм у мух. В результате Бензеру и Конопке удалось получить три разновидности мух, у которых и поведение, и даже время выхода взрослого насекомого из куколки не соответствовали обычному суточному расписанию: у одних мух внутренние часы пошли быстрее и цикл стал 19-часовым, у других, наоборот, замедлились, так что их сутки удлинились до 28 часов; наконец, мутанты третьей разновидности вообще утратили какой-либо ритм. Скрещивая мутантов между собой, Бензер и Конопка установили, что все мутации относятся к одному и тому же гену, который впоследствии получил название *period* или *per*. Они предположили, что у мутантов, утративших ритм, ген совсем не действует, а у тех, у кого внутренние часы стали идти быстрее или медленнее, ген работает, но его активность не такая, какая должна быть в норме. Эксперименты Бензера и Конопки, безусловно, стоило бы отметить Нобелевской премией, но, к сожалению, сейчас это уже невозможно: Сеймур Бензер умер в 2007 году, Рональд Конопка — в 2015-м.

Что именно представляет собой ген *per* и какой белок кодирует, стало понятно в середине 1980-х годов, когда *per* удалось вы-

резать из ДНК и определить нуклеотидную последовательность. Это сделали нынешние нобелевские лауреаты — Джеффри Холл и Майкл Росбаш, работавшие тогда в Брандейском университете, и Майкл Янг из Рокфеллеровского университета.

Теперь, получив ген в руки, можно было подумать о том, что за молекулярный механизм с ним связан. Поскольку речь идёт о физиологических изменениях в поведении и физиологии, то очевидно, что ген должен быть чем-то вроде осциллятора. Объяснить, как он работает, оказалось непросто. В одной из моделей предполагалось, что ген *per* (точнее, белок, который он кодирует) создаёт градиент на клеточной мембране; иными словами, работает как насос, который перекачивает некое вещество, и по одну сторону мембраны вещества становится всё больше, а по другую — всё меньше. Согласно градиентной модели, разница в концентрациях в какой-то момент достигала бы порога, после чего открывались бы другие каналы и вещество начинало бы двигаться в обратном направлении. Также считалось, что эти другие каналы реагируют на свет, так что в целом модель вполне удачно описывала и ритмические изменения (колебания градиента концентрации), и связь ритма со сменой дня и ночи.

Однако когда Холл, Росбаш и Янг в конце концов расшифровали механизм работы гена *per*, он оказался другим и в каком-то смысле более простым. Но чтобы понять его, нужно вспомнить, как вообще реализуется генетическая информация. ⇨



Упрощённая схема молекулярного механизма биологических часов: А — главная пружина механизма — белки TIM и PER, которые периодически блокируют активность синтеза РНК на собственных генах. Белок TIM защищает PER от деградации и помогает ему проникнуть в ядро; В — дополнительные часовые белки. CLK и CYC активируют гены белков TIM и PER, которые в свою очередь подавляют активность CLK и CYC. Белок DBT ускоряет деградацию PER и помогает часам настроиться на правильный ритм. Белок CRY настраивает часы по освещённости.

Ген — это кусок ДНК, в котором на языке генетического кода записана структура того или иного белка. Но прямо на ДНК белок собрать нельзя. Поэтому сначала появляется копия гена в виде другой нуклеиновой кислоты — матричной РНК (мРНК). Синтез РНК называется транскрипцией и происходит в ядре, после чего РНК проходит ещё через несколько молекулярных реакций и выходит из ядра в цитоплазму. Здесь на неё садятся белоксинтезирующие машины — рибосомы и начинается трансляция, то есть сборка белковых молекул. Количество белка, которое получается в итоге, зависит и от количества мРНК-копий (то есть от интенсивности транскрипции), и от активности рибосом (то есть от интенсивности трансляции). Кроме того, не будем забывать: в клетке всё время работают ферменты, расщепляющие белки, так что уровень того или иного белка будет также зависеть от активности таких ферментов.

Сначала Холл и Росбаш заметили, что уровень белка PER в нейронах мозга дрозофилы колеблется: больше всего белка в них ночью, а днём его уровень падает. Более того, такие же изменения происходили и с РНК белка PER, однако тут была одна особенность. Максимумы матричной РНК белка PER и самого белка не совпадали — сначала на пик поднималась РНК, потом её уровень начинал падать, но уровень белка в это время продолжал расти и достигал максимума через несколько часов. У мух-мутантов, утративших суточный

ритм, никаких периодических изменений в молекулах РНК и белка PER не было, однако, если в мутантные клетки вводили нормальный, немутантный белок, суточные колебания РНК возвращались.

Всё выглядело так, что белок PER сам регулирует активность собственного гена по механизму отрицательной обратной связи: чем больше белка, тем менее активен его ген. В конце концов, нового белка в клетке уже почти не синтезируется, между тем его продолжают расщеплять ферменты, так что его количество начинает падать — ровно до того момента, пока он не «освободит» свой ген.

Дальнейшие эксперименты показали, что белок PER регулярно появляется в ядре, но путешествует в ядро он не один. В начале 1990-х годов, пока Холл и Росбаш занимались белком PER, Майкл Янг обнаружил, что есть ещё один ген, который влияет на суточные ритмы. Ген получил название *timeless*, а его белок TIM, как оказалось, способен связываться с белком PER, провозжая его в ядро и одновременно защищая его от деградации ферментами-разрушителями. Мутации в гене *timeless* сбивали суточные колебания белка PER точно так же, как мутации в гене *per* отменяли суточные колебания белка TIM. Что именно PER и TIM делают с ДНК собственных генов, в то время было не совсем понятно. Однако сама модель транскрипционно-трансляционной обратной связи как главной пружины внутренних часов казалась наиболее достоверным объяснени-

ем, и дальнейшие эксперименты это только подтвердили.

Майкл Янг открыл ещё один важный белок — DBT, кодируемый геном *doubletime*. В биологических часах он играет роль корректора хода. Дело в том, что и транскрипция (синтез РНК) и трансляция (синтез белка) происходят очень быстро, и для того, чтобы растянуть накопление и распад белка до 24-часового периода, в клетках существует довольно сложный механизм, состоящий из нескольких регуляторных белков. Эти регуляторные белки меняют активность основных «часовых» белков, управляют их сборкой в рабочие комплексы и регулируют скорость их разрушения — всё для того, чтобы белки PER и TIM накапливались и исчезали с правильной скоростью и отправлялись в ядро именно тогда, когда нужно. DBT в системе поправки хода — один из главных игроков: он модифицирует молекулы PER таким образом, что они начинают очень быстро распадаться, и накапливается он поэтому довольно медленно. Смысл работы Янга был не столько в самом белке DBT, сколько в том, что теперь стало ясно: молекулярная пружина биологических часов снабжена мощной регуляторной системой.

Действительно, PER, TIM и DBT — далеко не единственные часовые белки. К концу 1990-х годов биологи нашли ещё два гена, крайне важных для суточных ритмов: *clock* и *cycle*. (Слово «*clock*» означает вовсе не «часы», как можно было бы подумать, — это аббревиатура от *circadian locomotor output cycles kaput*, что можно с натяжкой перевести как «циркадный прерыватель циклов двигательной активности».) Белки CLK (с гена *clock*) и CYC (с гена *cycle*) связываются друг с другом и в таком виде садятся на специальные места в генах *per* и *timeless*, активируя тот и другой. В свою очередь TIM и PER, входя в ядро, взаимодействуют с белком CLK так, что пара CLK-CYC перестаёт стимулировать гены *per* и *timeless*, то есть CLK и CYC самым непосредственным образом участвуют в работе биологических часов, хотя для циклических изменений всё равно нужны TIM и PER.

Стоит упомянуть также ген *cryptochrome* и его белок CRY. Внутренние часы, хотя и обладают определённой автономией, всё же должны ориентироваться на окружающую среду, и белок CRY — один из тех, которые не дают суточным ритмам утратить связь с реальностью. Свет стимулирует синтез CRY, и он усиливает разрушение белка TIM — того самого, который ведёт PER в ядро и защищает

его от деградации. То есть днём белка CRY становится всё больше, белков TIM и PER — всё меньше; в конце концов гены *timeless* и *period* опять активируются — и цикл начинается снова. Можно сказать, что CRY в прямом смысле связывает внутренние часы со светом.

Чем больше биологи изучали механизм биологических часов, тем больше обнаруживали разных белков, причастных к этому механизму. Самые первые эксперименты на эту тему ставили с дрозофилами, и когда потом суточные ритмы на молекулярном уровне стали изучать на других живых организмах, то у них оказались свои особенности. Например, тот же белок CRY у млекопитающих, по-видимому, может работать в светозависимом и светонезависимом режимах. Сейчас уже известно, что наши глаза напрямую посылают в главные наши часы — супрахиазматическое ядро — сигнал о том, сколько света вокруг нас, но специалисты продолжают спорить, как этот сигнал оформляется на молекулярном уровне в нейронах супрахиазматического ядра и какую роль тут играет CRY (и играет ли вообще).

Однако никто уже не спорит с тем, что сама молекулярная схема внутреннего хронометра работает одинаково во всех клетках почти у всех живых существ и что главной пружинной служат периодические колебания нескольких молекул, управляющих собственным синтезом. И всё же тут есть пара примечательных исключений. Во-первых, у некоторых цианобактерий молекулярный аппарат суточных ритмов вообще никак не связан с ДНК, РНК и изменением количества белков. У цианобактерий есть три белка, два из них то навешивают, то снимают с третьего остатки фосфорной кислоты. Цикл фосфорилирования-дефосфорилирования происходит по 24-часовому расписанию, и этот третий белок соответственно меняет свою активность в зависимости от того, фосфорилирован он или нет. Во-вторых, в эритроцитах человека суточные колебания происходят с белком пероксиредоксином, чья задача — очищать клетки от опасного пероксида водорода, способного окислить и испортить множество биомолекул. Выяснилось, что активность пероксиредоксина и количество связанного с ним пероксида зависят от времени суток. При этом в эритроцитах нет ни ядра, ни ДНК, так что пероксиредоксиновые часы работают самостоятельно. Впрочем, обнаружили их совсем недавно, и пока непонятно, велика

ли их роль в физиологии всего организма и как они согласованы с обычными ДНК-РНК-белковыми часами.

Мы начали с того, какую огромную роль играют суточные ритмы для нашего здоровья. И раз уж сейчас так много известно про молекулярные пружины биологических часов, можем ли мы объяснить, почему проблемы с суточными ритмами способствуют тем или иным болезням?

Кое-где действительно можем. Так, в прошлом году в журнале «Cell Metabolism» появилась статья с описанием того, как испорченные часы увеличивают риск злокачественной опухоли. Дело в том, что белок PER2 (один из семейства белков PER) и белок BMAL1 (ещё один важный «суточный» белок, который работает с белками PER) вместе контролируют работу гена *c-myc*. Это очень известный ген — он стимулирует клеточное деление, и слишком активный *c-myc* часто оказывается причиной рака. Белки PER и BMAL1 следят за тем, чтобы *c-myc* не слишком «активничал», но если с самими PER и BMAL1 что-то случится, то *c-myc* начнёт работать всё время, а это очень вероятными злокачественными последствиями.

Другой пример — совсем свежее исследование сотрудников Гуэлфского университета (Канада), опубликованное в октябре нынешнего года в журнале «Cardiovascular Research». Им удалось установить, что мутации в гене *clock* делают сердце более чувствительным к разным заболеваниям, а всё из-за того, что в сердечной мышце нарушается энергетический обмен. Попутно выяснилось, что женские половые гормоны позволяют смягчить вредный эффект от испорченных часов, то есть можно понять, почему женское сердце в среднем крепче мужского и почему женщины сталкиваются с заболеваниями сердца в среднем позже мужчин.

Есть также масса исследований, посвящённых взаимосвязи обмена веществ и суточных ритмов. Основной их вывод состоит в том, что сбившие биологические часы повышают вероятность метаболических расстройств, ожирения и диабета. А испортиться суточные ритмы могут и без всяких мутаций — достаточно ложиться спать в разное время, устраивать себе бессонные ночи перед компьютером или просто регулярно пересекать несколько часовых поясов. Биологические часы не в силах отключить наше сознание

и насильно отправить в сон, поэтому, пока мы бодрствуем при искусственном свете, они продолжают поддерживать активность генов на дневном уровне, и в результате расписание молекулярно-клеточной активности выбивается из графика, приводя к разнообразным неприятным последствиям.

Правда, стоит уточнить, что мы далеко не всегда в деталях знаем, как именно часовой механизм влияет на тот или иной физиологический процесс. Например, известно, что сигналы из супрахиазматического ядра (напомним — эта зона в мозге считается у млекопитающих «главным часовым» механизмом) разбегаются по телу по периферическим нервам и с помощью гормонов, а местные часы, которые принадлежат печени, почкам, сердцу, мышцам и т. д., подстраивают свою активность под сигнал из центра; в результате у нас меняется уровень инсулина и других гормонов, повышается или снижается температура тела, кровяное давление и т. д. Но в конкретных молекулярных мостиках, которые связывают центральные часы с местными, а местные часы — с той или иной специфической молекулой, часто не хватает одного или нескольких звеньев: их просто пока ещё не открыли.

Много интересного ещё предстоит узнать про взаимоотношения часов разных уровней друг с другом. Например, сейчас всё чаще говорят о том, что не только супрахиазматическое ядро в мозге сообщает «низшим» часам, какое сейчас время суток и что нужно делать, но и наоборот — суточные гены «на местах» помогают мозгу держать ритм. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты исследователей из Медицинской школы Морхауз (США). Они обнаружили, что суточный ген *Bmal1*, работая в мышцах, регулирует цикл сна-бодрствования и что если его в мышцах отключить, то мозгу будет сложнее справиться с недосыпом.

Однако те белые пятна, что остаются в системе биологических часов, не отменяют очевидного факта: Холл, Росбаш и Янг раскрыли глубинную суть одного из самых фундаментальных процессов, свойственных земной жизни, а растущее день ото дня число статей на тему суточных ритмов говорит о том, что нынешние лауреаты сделали очень много для развития хронобиологии как отдельного научного направления.

Кирилл СТАСЕВИЧ.



фото: blackboard1965G / ru.depositphotos.com

ЖИЗНЬ БЕЗ ЛЕКАРСТВ

В инструкции к таблеткам, да и не только к таблеткам — к порошкам, мазям, спреям и каплям, — часто пишут, что принимать препарат следует в строго ограниченных дозах и строго ограниченное время. Но мы не всегда соблюдаем это предписание, наивно полагая, что чем больше употребить лекарства, тем скорее наступит выздоровление. И совершенно напрасно. Дело тут не только в побочных эффектах, которые могут проявиться от неумеренного использования лекарств. Сам принцип действия лекарственных препаратов таков, что принимать их стоит лишь в случае крайней необходимости, считают физиолог Сергей Константинович Судаков и фармаколог Николай Львович Шимановский (оба — члены-корреспонденты РАН), участники передачи «Таблетомания» проекта «Большая наука» Общественного телевидения России.

Почти все лекарства действуют так, чтобы скомпенсировать нехватку чего-либо, например недостаточную активность какого-то фермента. Для компенсации обычно используется некое синтетическое вещество, и его действие не проходит для клетки бесследно: клеточные рецепторы привыкают к препарату, и чем больше его поступает в организм, тем сильнее перекос в клеточной физио-

логии. Это похоже на механизм возникновения наркотической зависимости, но в более общем смысле зависимость возникает по отношению к веществам любого рода, а не только к наркотикам.

Как ни парадоксально, самыми безопасными лекарственными средствами оказываются гормональные препараты, когда природный гормон, получаемый извне, просто компенсирует нехватку такого же природного гормона, который организм почему-то не может синтезировать сам в достаточном количестве. Правда, следует учитывать, что уровень гормонов сильно колеблется, и не только в зависимости от возраста человека, но и от времени суток, а также под влиянием разнообразных внешних факторов вроде стресса, еды и т. п.

А ведь часто гормональные препараты принимают, совершенно не обращая внимания ни на суточные колебания гормонов в организме, ни на приём пищи, и в результате они пользуются зловещей славой непредсказуемых и опасных лекарств. Чтобы принимать гормоны абсолютно правильно, нужно развить в медицине персонализированный подход, когда для любого лекарства, не только гормонального, определяют, как к нему отнесётся конкретный организм. Однако такой подход не всегда можно

реализовать даже по экономическим соображениям.

В целом специалисты, занятые разработкой лекарств, прикладывают огромные усилия, чтобы сделать их максимально безопасными. Это и долгие, подробные испытания разных доз, и исследования на совместимость препаратов с особенностями физиологии, и ещё многое другое. Но при всём при том, по словам профессора Судакова, качественных прорывов в современной фармакологии не случилось уже давно и большая часть новых лекарств — суть модификации давно изобретённых молекул (исключение составляют лекарственные средства, используемые в онкологии, — здесь наука действительно идёт вперёд).

Так что, как бы банально это ни звучало, лучше не надеяться на таблетки, тем более что безопасных среди них нет вообще, а вести здоровый образ жизни. Как доходчиво объяснить, в чём польза здорового образа жизни и в чём его преимущество перед лекарствами? Нужно уже в школе рассказать каждому, что такое его собственная физиология. А для этого сама школьная физиология должна быть не абстрактным полотном про человека вообще, а таким учебным курсом, чтобы на занятиях каждый ученик чувствовал, что речь идёт именно о нём, о его органах и клетках.

Узнать больше о том, как делают лекарства, как их испытывают и что такое настоящая физиологическая грамотность, можно, посмотрев запись передачи «Таблетомания» на канале ОТР на Youtube либо на портале журнала «Наука и жизнь» nkj.ru в разделе «Видео».



Фото: Bryce Vickmark

Райнер Вайсс.

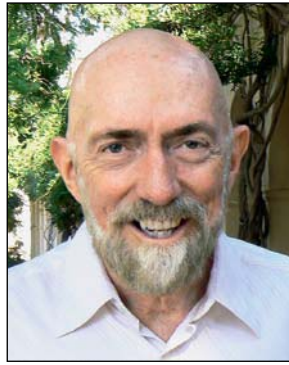


Фото: Keenan Pepper / CC BY-SA 3.0.

Кип Торн.

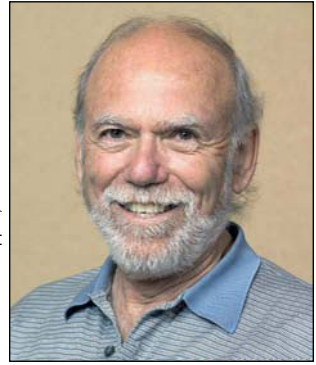


Фото: R. Hahn / PD.

Барри Бэриш.

ОТКРЫТИЕ, КОТОРОГО ЖДАЛИ СТО ЛЕТ

Нобелевская премия 2017 года присуждена американским физикам Райнеру Вайссу, Кипу Торну и Барри Бэришу за решающий вклад в создание Лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (LIGO) и открытие гравитационных волн.

Нобелевская премия этого года была ожидаема. Уж очень важным и долгожданным для современной физики стало обнаружение гравитационных волн в 2015 году (сообщение об открытии сделано 11 февраля 2016 года). Так что награда нашла своих обладателей в рекордно короткие сроки, ведь нередко открытие и премию разделяют десятилетия. На самом деле обнаружение гравитационных волн — результат почти полувековой деятельности большого числа исследователей из многих стран мира, в том числе и России. Впрочем, в современной физике все значимые открытия делаются большими международными коллективами исследователей, ибо предоставить требуемые для этого ресурсы — непосильная задача для одной страны, не говоря уже об отдельной лаборатории. И хотя заслуги лауреатов бесспорны, возникают дискуссии, насколько справедливо выделять трёх человек и нельзя ли найти способ отметить всех, кто внёс значительный вклад в отмеченное наградой открытие.

Прошло столетие с тех пор, как Альберт Эйнштейн в своей общей теории относительности предсказал гравитационные волны, которые должны испускаться

ускоренными массивными телами, если их движение не является сферически-симметричным. Но даже у самого автора долгое время были сомнения в реальности этих волн. Ведь они могли оказаться лишь математическим фокусом. Недаром астрофизик Артур Эддингтон, экспериментально подтвердивший в 1919 году отклонение лучей света в поле тяжести Солнца (что сыграло важную роль в признании общей теории относительности), по поводу гравитационных волн скептически написал, что они «распространяются со скоростью мысли». Эйнштейн в 1936 году даже написал статью, в которой утверждал, что этих волн не существует. Впрочем, гравитационные волны должны были быть настолько слабыми, что Эйнштейн считал невозможным их обнаружение даже в случае их реальности.

Ситуация прояснилась только в конце 1950-х годов. Большую роль в этом сыграл мысленный эксперимент для «трости с бусинами», который описал на конференции в Чепел-Хилл (США) в 1957 году будущий нобелевский лауреат Ричард Фейнман. В то время широко распространилось мнение, что гравитационные волны не переносят

энергии и не могут быть обнаружены. Фейнман опроверг это утверждение. В его простейшем мысленном детекторе два шарика, надетые на стержень, ориентированный поперёк направления распространения волны, должны скользить по нему взад-вперёд под действием гравитационных волн, выделяя тепло из-за трения. А это означает, что гравитационные волны переносят энергию и могут быть измерены. Аргументы Фейнмана, развитые Германом Бонди, придали исследователям уверенности в возможности обнаружения гравитационных волн и вызвали всплеск теоретических и экспериментальных работ. И начиная с 1960-х годов, на протяжении многих десятилетий, физики не оставляли попыток обнаружить гравитационные волны.

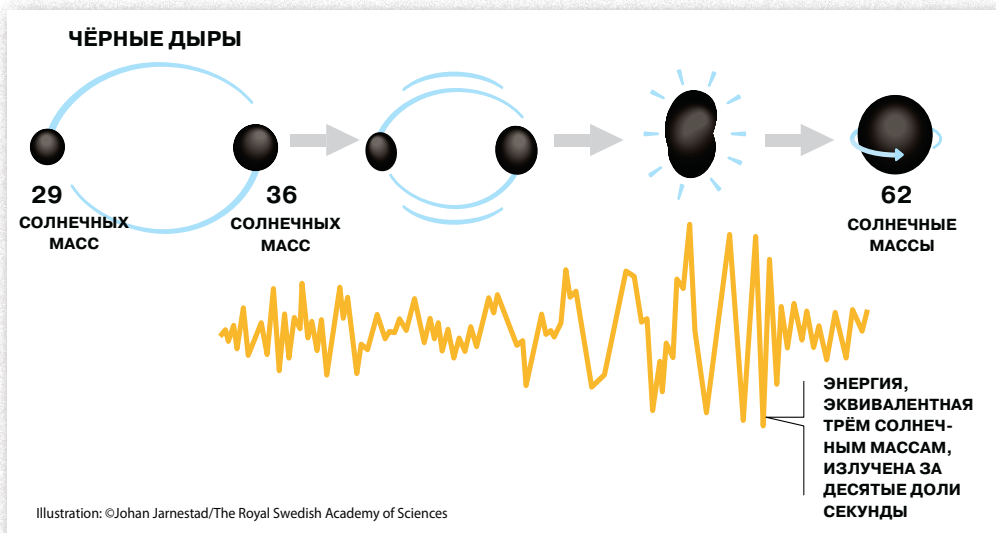
Первопроходцем стал Джозеф Вебер из университета Мэриленда, который в 1960 году создал первый детектор гравитационных волн. Он представлял собой сплошной алюминиевый цилиндр массой около 1,5 т с поясом из пьезоэлектрических кристаллов. Гравитационная волна при прохождении вдоль оси цилиндра должна деформировать его сечение, превращая из круга в эллипс, вытягивающийся поочерёдно вдоль двух взаимно перпендикулярных направлений. Это и должны были заметить пьезоэлектрические датчики. Два таких детектора размещались в двух вакуумных камерах,

расположенных на удалении 1000 км друг от друга. К сожалению, объявленное Вебером обнаружение гравитационных волн в итоге оказалось ошибочным. Однако оно сыграло важную роль, так как привело к широкому обсуждению проблемы и созданию других детекторов.

Проблема обнаружения гравитационных волн заключается в очень малой величине создаваемой ими деформации, которая определяется массой источника гравитационных волн и расстоянием до него. По оценкам физиков, ожидаемое относительное сжатие составляет в среднем 10^{-21} . Чисто механические системы не обеспечивают такую точность. Физикам стало понятно, что необходимую точность измерений способны обеспечить лишь детекторы, основанные на интерференции света.

Базовую концепцию интерферометрического детектора Майкельсона для гравитационных волн впервые описали советские физики Михаил Евгеньевич Герценштейн и Владислав Иванович Пустовойт в статье 1962 года. В нём два когерентных луча света проходят по разным путям (оптическим

Зафиксированная обсерваторией LIGO в Хэнфорде гравитационная волна, возникшая при слиянии двух чёрных дыр, обращавшихся вокруг общего центра масс. Длительность приведённого сигнала около двух десятых секунды.



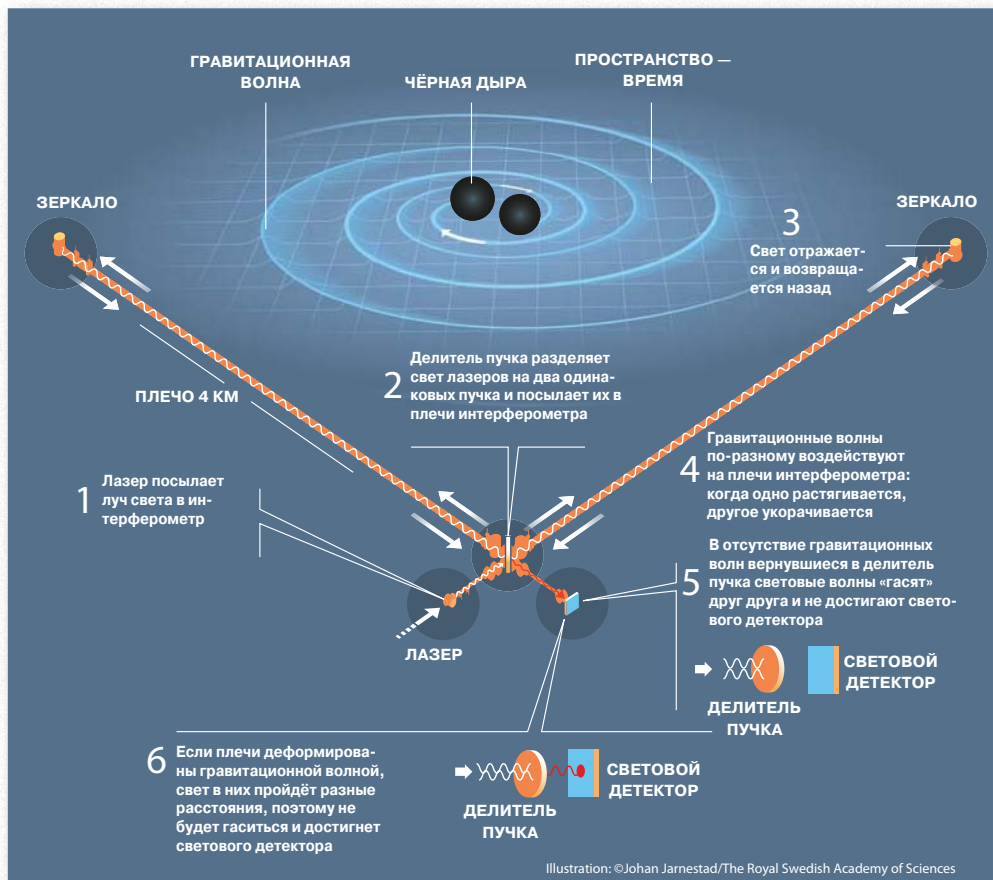


Схема интерферометра LIGO, поясняющая, как с его помощью можно обнаружить гравитационные волны.

плечам интерферометра), а в конце объединяются и интерферируют между собой из-за волновой природы света. В результате они усиливают друг друга, если их фазы колебаний совпадают, или, наоборот, взаимно «уничтожают», если находятся в противофазе. Гравитационная волна изменяет длину плеч, изменяя тем самым расстояние, которое проходит свет до точки интерференции; это изменяет фазы складывающихся волн и соответственно результат интерференции. В случае перпендикулярных плеч гравитационная волна сжимает одно из них и растягивает другое.

Технически это реализовывалось так: лазерный луч разбивался светоделителем на два перпендикулярных луча, которые уходили в оптические плечи и отражались от зеркал, установленных в их концах. Первый прототип подобного гравитационно-волно-

вого лазерного интерферометра был создан в начале 1970-х годов в Исследовательской авиационной лаборатории Хьюза (Hughes Aircraft Research Laboratories, Калифорния, США) при участии всё того же Джозефа Вебера и его бывшего аспиранта Роберта Форварда.

В 1960-е годы проблемой гравитационных волн занялись и нынешние нобелевские лауреаты Райнер Вайсс и Кип Торн. В 1967-м Райнер Вайсс опубликовал анализ лазерного интерферометра с чувствительностью, ограниченной только фотонным шумом. Ему удалось даже договориться с военными о строительстве прототипа, однако оно не состоялось. В 1968 году Кип Торн обратился к теоретическому исследованию возможных источников гравитационных волн. Несмотря на широко распространённый скептицизм, связанный с опровержением открытия гравитационных волн Д. Вебером, Вайсс и Торн были твёрдо уверены, что гравитационные волны всё же могут быть обнаружены.

Райнер Вайсс в 1972 году проанализировал возможные источники фонового шума, способного помешать обнаружению волн с помощью интерферометра. Он рассмотрел тепловые, сейсмические, гравитационные источники помех, неустойчивость частоты лазерного излучения и даже потенциальные эффекты от геомагнитных бурь и космических лучей. Это позволило Вайссу разработать проект лазерного интерферометра, который смог бы преодолеть весь шум. Так как чувствительность прибора напрямую зависит от длины плеч, то она должна быть как можно больше. Вайсс пришёл к выводу, что потребуется огромная установка — она должна быть километровых размеров. Именно дальнейшее развитие проектов Вайсса и привело в итоге к созданию совершившей открытие Лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (LIGO).

В то время как Райнер Вайсс разрабатывал свои детекторы в Массачусетском технологическом институте (MIT) в Кембридже, Кип Торн и его исследовательская группа с большим энтузиазмом работали над теорией гравитационных волн и их астрофизическими источниками в Калифорнийском технологическом институте (Калтехе). Их предсказания об ожидаемых сигналах от различных астрофизических событий сыграли решающую роль в выделении финансирования на создание LIGO и во многом повлияли на проектирование установки. Тогда же были сделаны и первые шаги по подготовке аналитических онлайн- и офлайн-методов анализа регистрируемых детектором сигналов.

Необходимо отметить ещё одного человека, вклад которого в проект LIGO очень значим, — Рональда Древера. Он построил свои первые детекторы в Глазго (Шотландия), а затем переехал к Торну в Калтех, где создал детектор гравитационных волн. Вайсс, Торн и Древер вместе многие годы определяли развитие проекта LIGO. Именно они составили первый организационный комитет LIGO. К сожалению, Р. Древер, скончавшийся 7 марта 2017 года в возрасте 85 лет, совсем немного не дожил до присуждения Нобелевской премии.

Именно Древер первым создал усовершенствованный лазерный интерферометр огромной чувствительности, аналогичный использованному в LIGO. Как уже было ска-

зано выше, для обеспечения высокой чувствительности прибора необходимы очень длинные плечи. Однако строительство многокилометровых тоннелей, в которых надо поддерживать высокий вакуум, — чрезвычайно сложная проблема. Найденное решение заключалось в использовании внутри каждого плеча дополнительного интерферометра Фабри — Перо. В начале каждого плеча установили ещё одно полупрозрачное зеркало. Вошедший в плечо луч света, прежде чем выйти, многократно проходил его, отражаясь от зеркал в начале и конце плеча. Это фактически увеличивало во столько же раз длину плеча и соответственно — время взаимодействия света с гравитационной волной. Для реально построенного LIGO луч проходил плечо длиной 4 км около 300 раз, что соответствовало прохождению светом более 1000 км.

В начале 1980-х годов Национальный научный фонд США (NSF) финансировал строительство прототипов интерферометров как в MIT, так и в Калтехе с целью изучения предложенного Вайссом километрового интерферометра. Результаты были представлены в октябре 1983 года в отчёте, известном как «Синяя книга». Исследование продемонстрировало осуществимость проекта. Была рекомендована установка, состоящая из двух пятикилометровых интерферометров, разделённых расстоянием в несколько тысяч километров. Фонд решил поддержать проект, но при условии, что группы в MIT и Калтех объединят свои силы. Так в 1984 году родился их совместный проект LIGO под руководством Вайсса, Древера и Торна со штаб-квартирой в Калтехе.

Однако существенного финансирования до 1994 года не было. Возможно, продвижению проекта строительства огромного интерферометра способствовало присуждение Нобелевской премии по физике в 1993 году американским астрономам Джозефу Тейлору и Расселу Халсу за косвенное доказательство существования гравитационных волн, добытое в 1970-х годах. Тейлор и Халс наблюдали двойной пульсар — пару массивных звёзд, вращающихся вокруг общего центра масс, и смогли показать, что эти звёзды теряют энергию и сближаются. Причём количество потерянной энергии соответствовало теоретическим расчётам энергии, уносимой возникающими гравитационными волнами. ⇨

В 1994 году директором LIGO стал третий нобелевский лауреат 2017 года Барри Бэриш, у которого был опыт руководства крупными проектами в области физики высоких энергий. Ранее он работал в Национальной ускорительной лаборатории имени Энрико Ферми (сокращённое наименование Фермилаб). Он переработал проект и приступил к его реализации.

Именно он руководил созданием первоначального варианта обсерватории и к 1997 году преобразовал небольшую исследовательскую группу примерно из 40 человек в крупный международный коллектив — коллаборацию, куда привлёк из разных стран мира, в том числе из России, многочисленные исследовательские группы, имеющие необходимый опыт. В настоящее время в коллаборацию входят свыше 1200 исследователей из более чем 108 научных организаций 18 стран.

Под руководством Бэриша в 1994—1998 годах происходило строительство обсерваторий в Хэнфорде и Ливингстоне, а затем с 1999 по 2002 год установка и ввод в эксплуатацию первоначальных интерферометров LIGO. При нём с 2002 года стартовал и первый этап получения данных. Бэриш оставался директором LIGO до 2005 года, когда принял руководство другим глобальным международным проектом — созданием линейного коллайдера, оставшись членом коллаборации LIGO.

В сентябре 2015 года LIGO начала работу после обновления, которое длилось несколько лет. Обсерватория была оснащена десятикратно более мощным лазером, новыми усовершенствованными зеркалами, высокотехнологичной системой фильтрации всевозможных шумов и одной из крупнейших в мире вакуумных систем. Чувствительность детектора достигла фантастических пределов: он стал способен почувствовать смещение пробных масс на расстояние 10^{-19} м! Более точного инструмента ещё не создавали. Ведь это в миллиард раз меньше размера атомов и в 10 000 раз меньше размера протона. Такая точность соответствует измерению расстояния до соседней звезды с погрешностью в толщину человеческого волоса! Теперь детекторы могли улавливать гравитационные волны с дальности в десять раз большей, чем раньше.

И 14 сентября 2015 года исследователи были вознаграждены: обновлённые детекторы LIGO впервые увидели гравитационную волну. Сначала она прошла через Ливингстон, а затем через 7 миллсекунд появилась в Хэнфорде, пройдя три тысячи километров со скоростью света. Форма сигнала была точно такой, как и предсказывали теоретические расчёты, что позволило исследователям понять, какое именно событие послужило её источником. (Подробнее об открытии гравитационных волн см. «Наука и жизнь» № 3, 2016 г.)

Первую в истории обнаруженную гравитационную волну породило слияние чёрных дыр в 29 и 36 раз тяжелее Солнца. Они вращались вокруг общего центра масс в течение многих миллионов лет, теряя энергию, уносимую гравитационными волнами. Это заставляло их сближаться, двигаясь по спирали и убыстряя вращение. И чем быстрее вращались чёрные дыры, тем больше энергии они отправляли с гравитационными волнами. Само столкновение чёрных дыр с последующим гравитационным коллапсом длилось всего доли секунды, но выделившееся количество гравитационной энергии было просто чудовищным. На это время оно было больше, чем суммарное излучение всех звёзд видимой Вселенной. Именно это и позволило детектору LIGO почувствовать гравитационную волну. В результате образовалась чёрная дыра с массой около 62 солнечных, а гравитационная волна унесла энергию, эквивалентную трём солнечным массам. Произошло это событие на расстоянии примерно 1,3 миллиарда световых лет, во времена, когда жизнь на Земле только сделала шаг от одноклеточных к многоклеточным организмам.

За прошедшие два года зафиксировано пять подтверждённых гравитационных волн. Последнее наблюдение 17 августа 2017 года дало новые сенсационные результаты. Исследователи не только впервые зарегистрировали гравитационные волны от слияния двух нейтронных звёзд, но и смогли наблюдать их источник в оптическом диапазоне.

Кандидат физико-математических наук Алексей ПОНЯТОВ.

ТО, ЧТО МЫ ДЕЛАЕМ, — ЭТО ВПЕРВЫЕ

В 1964 году молодой астрофизик Николай Кардашёв опубликовал в «Астрономическом журнале» статью «Передача информации внеземными цивилизациями», которая стала первым советским вкладом в программу поиска внеземного разума (SETI). В статье был рассчитан возможный спектр радиосигнала внеземной цивилизации, обеспечивающий максимальную скорость передачи информации при наличии помех, и этот спектр сильно отличался от типичных спектров природных радиисточников. В той же статье Кардашёв предложил шкалу для оценки уровня развития космических цивилизаций по их энергопотреблению. Наша, земная, цивилизация стоит на самой нижней ступеньке этой шкалы.

Однако всё может кардинально измениться, уверен академик Николай Семёнович Кардашёв, в настоящее время руководитель Астрокосмического центра ФИАН (Физического института им. П. Н. Лебедева РАН), человек, благодаря которому в рамках глобального международного проекта «Радиоастрон» успешно действует единственная на сегодня отечественная космическая обсерватория. Срок её работы, истекший в 2014-м, продлён до конца 2019 года.

Напомним, что миссия «Радиоастрон» представляет собой наземно-космическую систему для радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой. Миссия включает космическую обсерваторию, размещённую на российском космическом аппарате «Спектр-Р», запущенном в 2011 году, и большое число наземных телескопов. В работе «Радиоастрона» участвуют более 30 телескопов на территории России, а также более полутора десятков телескопов на территории Великобритании, Германии, Индии, Испании, Италии, Китая, США, Японии и других стран. Ведущую роль в миссии играет Россия. Общее руководство осуществляет Астрокосмический центр ФИАН.

О том, каковы нынешние задачи проекта «Радиоастрон» и чего можно ждать от космических исследований в ближайшем и отдалённом будущем, рассказывает академик Николай КАРДАШЁВ. Беседу ведёт Наталия Лескова.

— Николай Семёнович, в предыдущий раз мы встречались с вами осенью 2013-го, через два года после начала работы «Радиоастрона» (см. «Наука и жизнь» № 11, 2013 г.). Сейчас проект продлён. Вы этому рады?

— Конечно. Мы хотели бы, чтобы «Радиоастрон» продолжал функционировать до запуска проекта «Миллиметрон», который будет работать на более коротких волнах (миллиметровых и инфракрасных) как в режиме интерферометра совместно с наземными радиотелескопами, так и в автономном режиме. Благодаря более далёкой орбите и меньшей длине волны его угловое разрешение будет в 300 раз выше, чем у «Радиоастрона». Рабочий диапазон «Миллиметрона» простирается от максимума реликтового излучения (длина волны около 2 мм) до инфракрасной части спектра, захватывая глубокий минимум интенсивности фона между ними. С его помощью мы хотим проследить эволюцию объектов Вселенной с самого начала, с тех моментов, когда они стали образовываться. Надеемся увидеть рождение первых звёзд, галактик, планетных систем.

— Запуск «Миллиметрона» планировался на 2018 год...

— Уже ясно, что так скоро не получится. Теперь речь идёт о датах после 2020 года. Старт «Радиоастрона» тоже много раз переносился, но я счастлив, что он всё-таки состоялся.

— Оправдал ли «Радиоастрон» ваши ожидания?

— Да. Результаты очень интересные. Получены обширные данные по большому числу объектов. У нас имеется несколько направлений исследований. Одно из них — исследование наиболее далёких объектов, находящихся за пределами нашего Млечного Пути. Наземные телескопы, как правило, не могут определить структуру областей вблизи ядер галактик. Самый далёкий объект, который был исследован, имеет красное смещение с параметром 4,2. Это означает, что он находится на расстоянии, которое свет проходит за 13 миллиардов лет. Фотоны от него начали своё движение

в нашу сторону, когда ещё не было Солнца и нашей планетной системы.

— *Есть ли какие-то объекты, удивившие вас?*

— Да они практически все нас удивили. Ведь всё, что мы делаем, — впервые. Сейчас мы получили данные от 160 внегалактических источников. Все эти объекты сильно излучают в радиодиапазоне. Их светимость беспрецедентно высокая. Как возникает такое излучение, не совсем понятно. Есть предположение, что излучают не электроны сверхвысоких энергий, а более тяжёлые частицы — протоны. Вероятно, есть другие объекты, которые светят так же сильно, но в другую сторону, поэтому мы их не видим. Физические механизмы такого излучения существуют. Частица с очень высокой энергией излучает в том же направлении, куда летит со скоростью, близкой к скорости света. Однако удивительно для нас то, что таких объектов оказалось очень много, значительно больше, чем мы могли себе представить. Мы продолжаем их исследовать, следим за их изменением со временем.

— *Удалось ли заглянуть в самую чёрную дыру?*

— Нет, пока это не удаётся. По-видимому, потому, что сама чёрная дыра как бы покрыта оболочкой, непрозрачной для радиоизлучения. Чтобы заглянуть внутрь, придётся продолжить исследования на более коротких волнах, и здесь наши надежды связаны именно с «Миллиметроном». Сейчас пытаются такие же эксперименты осуществить на наземных интерферометрах. Первые результаты только-только появляются. Мы кооперируемся со всеми, кто работает в этом направлении, стараемся отслеживать любую новость и очень рассчитываем, что «Миллиметрон» даст возможность увидеть то, что делается в ядрах галактик, что называется, воочию. Но одновременно теоретики разрабатывают идею, что в центрах этих объектов могут быть кроотовые норы. Модель такой кроотовой норы разрабатывает астрофизик Игорь Дмитриевич Новиков.

— *А в чём разница между чёрной дырой и кроотовой норой?*

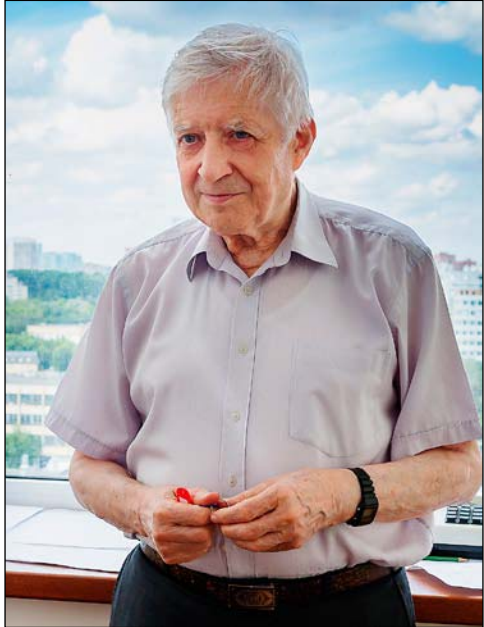


Фото Андрея Афанасьева.

Академик Николай Семёнович Кардашёв.

— Это принципиально разные объекты, хотя внешне они могут быть похожи. Чёрная дыра окружена непрозрачной границей — горизонтом видимости. А у кроотовой норы, наоборот, внутри всё может быть прозрачно, то есть можно увидеть свет с другого конца, с другого «входа». Если будут обнаружены кроотовые норы, то появится возможность исследовать иные области нашей Вселенной и, что ещё более интересно, других вселенных. Это, так сказать, максимальная, гигантская задача на будущее. Сейчас мы выбираем источники, которые стали бы самыми подходящими кандидатами на кроотовые норы. Если мы обнаружим тело, изнутри которого приходит разнообразное излучение, то тем самым откроем «глазок» в другую вселенную или, на худой конец, увидим, что творится в другой части нашей Вселенной.

— *Николай Семёнович, какие основные задачи вы ставите перед «Радиоастроном» на период до 2019 года?*

— Помимо продолжения исследований внегалактических источников идёт изучение пульсаров. Было обнаружено, что радиоволны очень сильно рассеиваются межзвёздной плазмой, и этот эффект был