

Квазар

Генетический код человека

Что, если я скажу, что вся твоя жизнь это комбинация 4 букв?

стр. 18-27

Слияние нейтронных звезд

А при чём здесь золото? стр. 44-49

Бомбануло!

Но что? Наука знает ответ стр. 36-41

И снова поймали волну!

О чем молчит LIGO?

стр. 52-57

Белки

А ты правильно поставил ударение?

стр. 10-15

Качаем воду из воздуха

И другие особенности комплексов

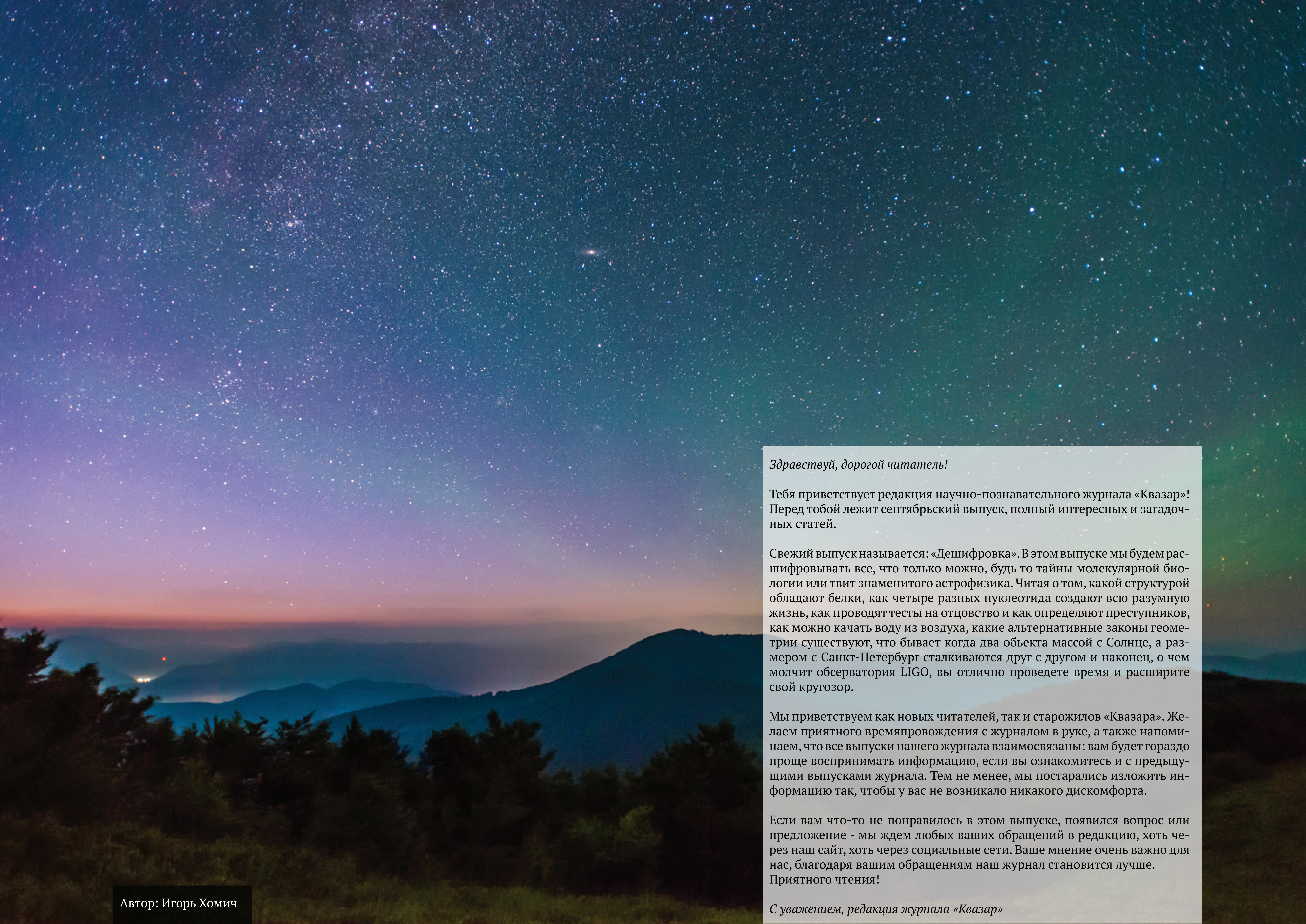
стр. 60-67

Альтернативная
реальность

стр. 4-7

У вас есть право
хранить молчание

стр. 30-33



Здравствуй, дорогой читатель!

Тебя приветствует редакция научно-познавательного журнала «Квазар»! Перед тобой лежит сентябрьский выпуск, полный интересных и загадочных статей.

Свежий выпуск называется: «Дешифровка». В этом выпуске мы будем расшифровывать все, что только можно, будь то тайны молекулярной биологии или твит знаменитого астрофизика. Читая о том, какой структурой обладают белки, как четыре разных нуклеотида создают всю разумную жизнь, как проводят тесты на отцовство и как определяют преступников, как можно качать воду из воздуха, какие альтернативные законы геометрии существуют, что бывает когда два объекта массой с Солнце, а размером с Санкт-Петербург сталкиваются друг с другом и наконец, о чем молчит обсерватория LIGO, вы отлично проведете время и расширите свой кругозор.

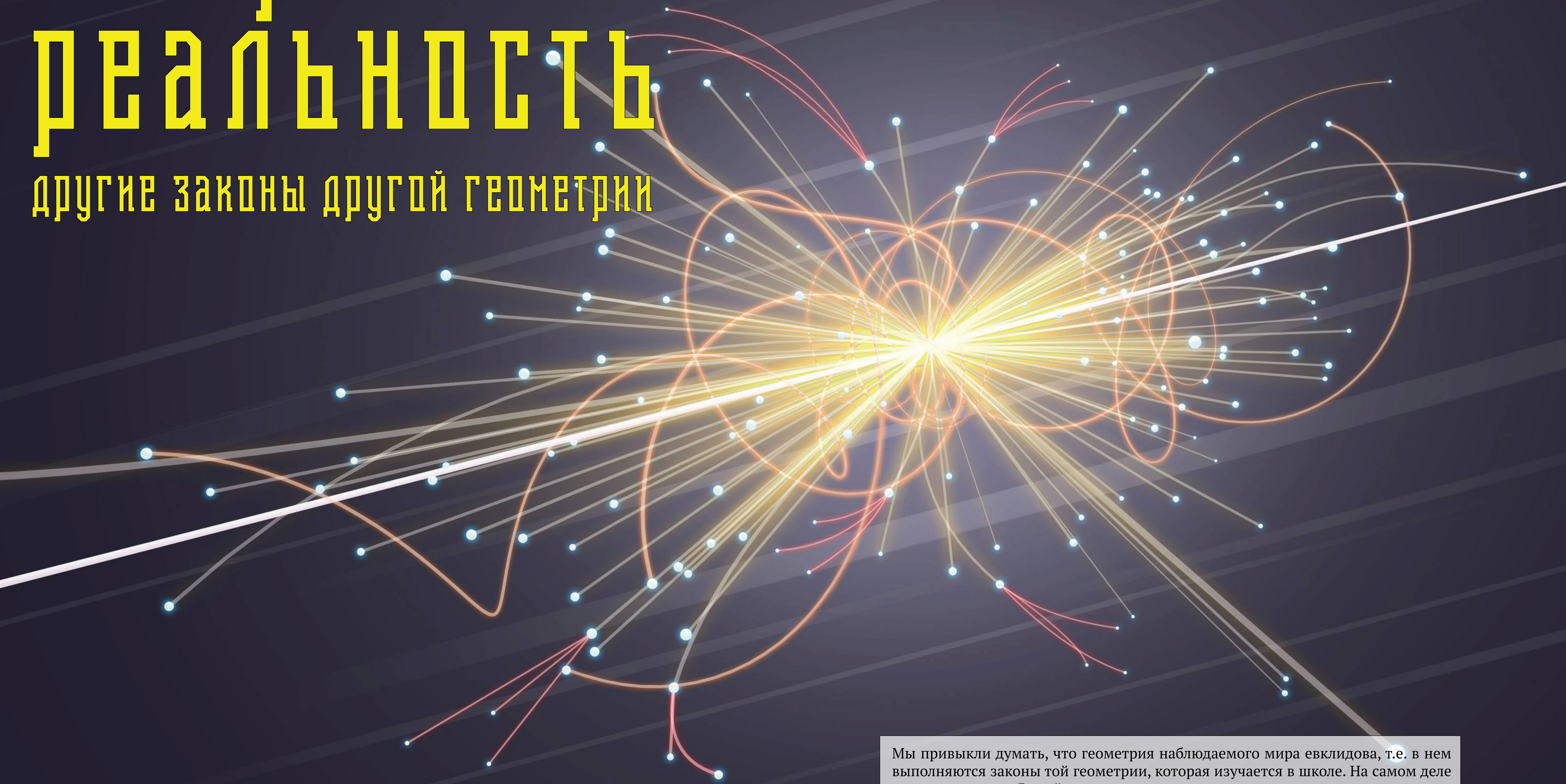
Мы приветствуем как новых читателей, так и старожилов «Квазара». Желаем приятного времяпровождения с журналом в руке, а также напоминаем, что все выпуски нашего журнала взаимосвязаны: вам будет гораздо проще воспринимать информацию, если вы ознакомитесь и с предыдущими выпусками журнала. Тем не менее, мы постарались изложить информацию так, чтобы у вас не возникало никакого дискомфорта.

Если вам что-то не понравилось в этом выпуске, появился вопрос или предложение - мы ждем любых ваших обращений в редакцию, хоть через наш сайт, хоть через социальные сети. Ваше мнение очень важно для нас, благодаря вашим обращениям наш журнал становится лучше. Приятного чтения!

С уважением, редакция журнала «Квазар»

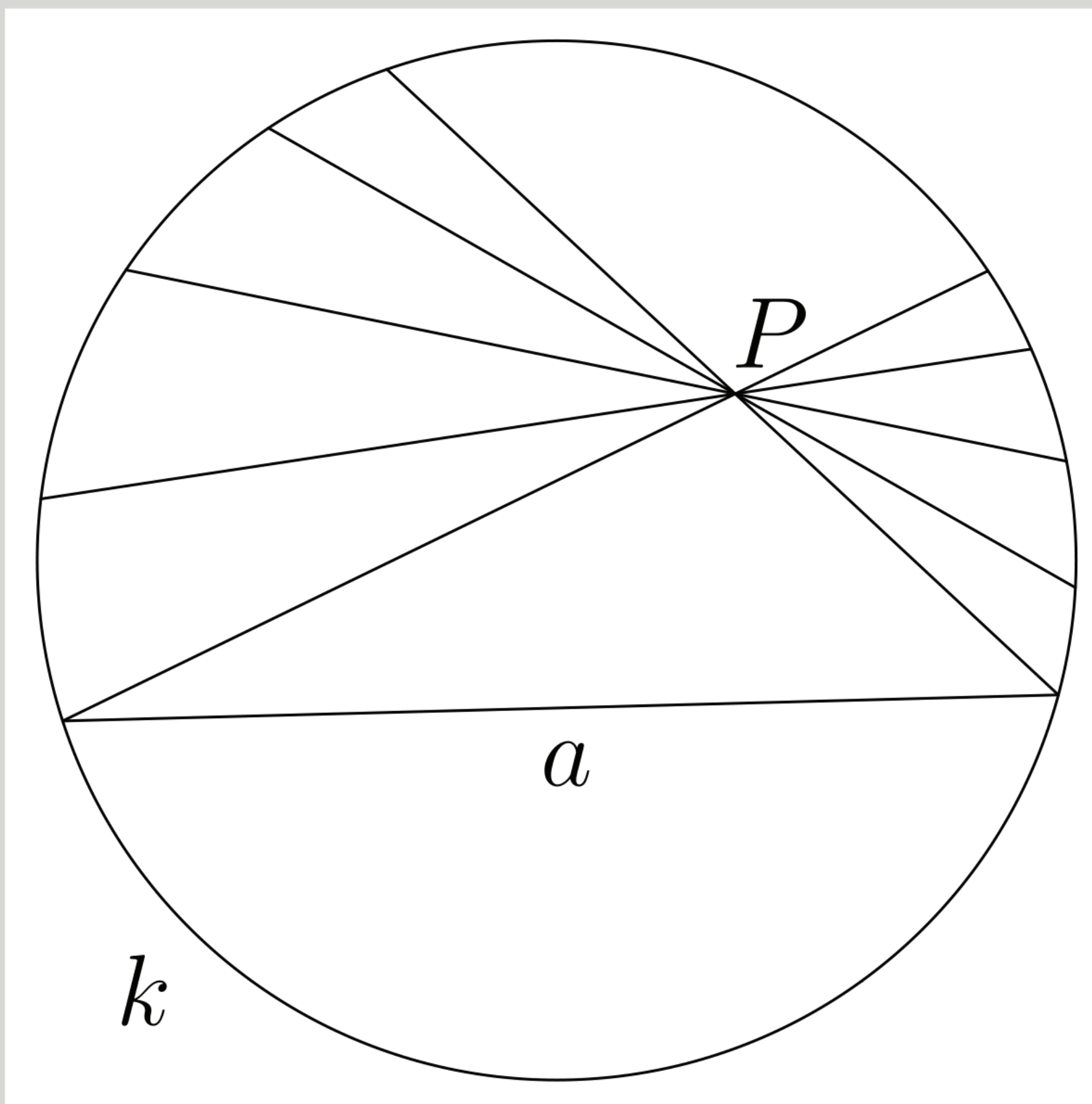
Альтернативная реальность

другие законы другой геометрии



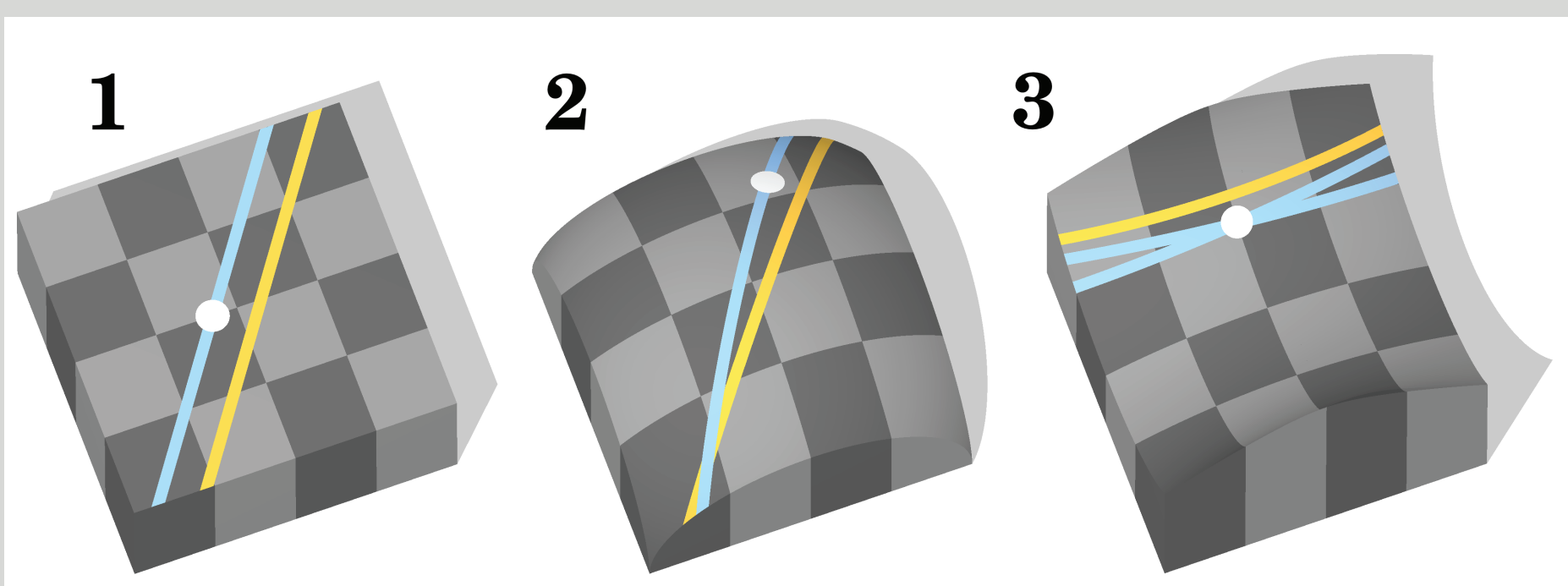
Мы привыкли думать, что геометрия наблюдаемого мира евклидова, т.е. в нем выполняются законы той геометрии, которая изучается в школе. На самом деле это не совсем так. В этой статье мы рассмотрим проявления в реальности геометрии Лобачевского, которая, на первый взгляд, является сугубо абстрактной.

Геометрия Лобачевского отличается от привычной евклидовой тем, что в ней через точку, не лежащую на данной прямой, проходят по крайней мере две прямые, лежащие с данной прямой в одной плоскости и не пересекающие её. Ее также называют гиперболической геометрией.



Модель Бельтрами - Клейна

Для того, чтобы читатель мог это себе наглядно представить, кратко опишем модель Клейна. В этой модели плоскость Лобачевского реализуется как внутренность круга радиуса один, где точками плоскости являются точки этого круга, а прямыми – хорды. Хорда - прямая, соединяющая две точки окружности. Расстояние между двумя точками определяется достаточно сложно, но оно нам не понадобится. Из рисунка выше становится понятно, что через точку P проходит бесконечно много прямых, не пересекающих прямую *a*. В стандартной Евклидовой геометрии, существует лишь одна прямая проходящая через точку P и не пересекающая прямую *a*. Эта прямая является параллельной.



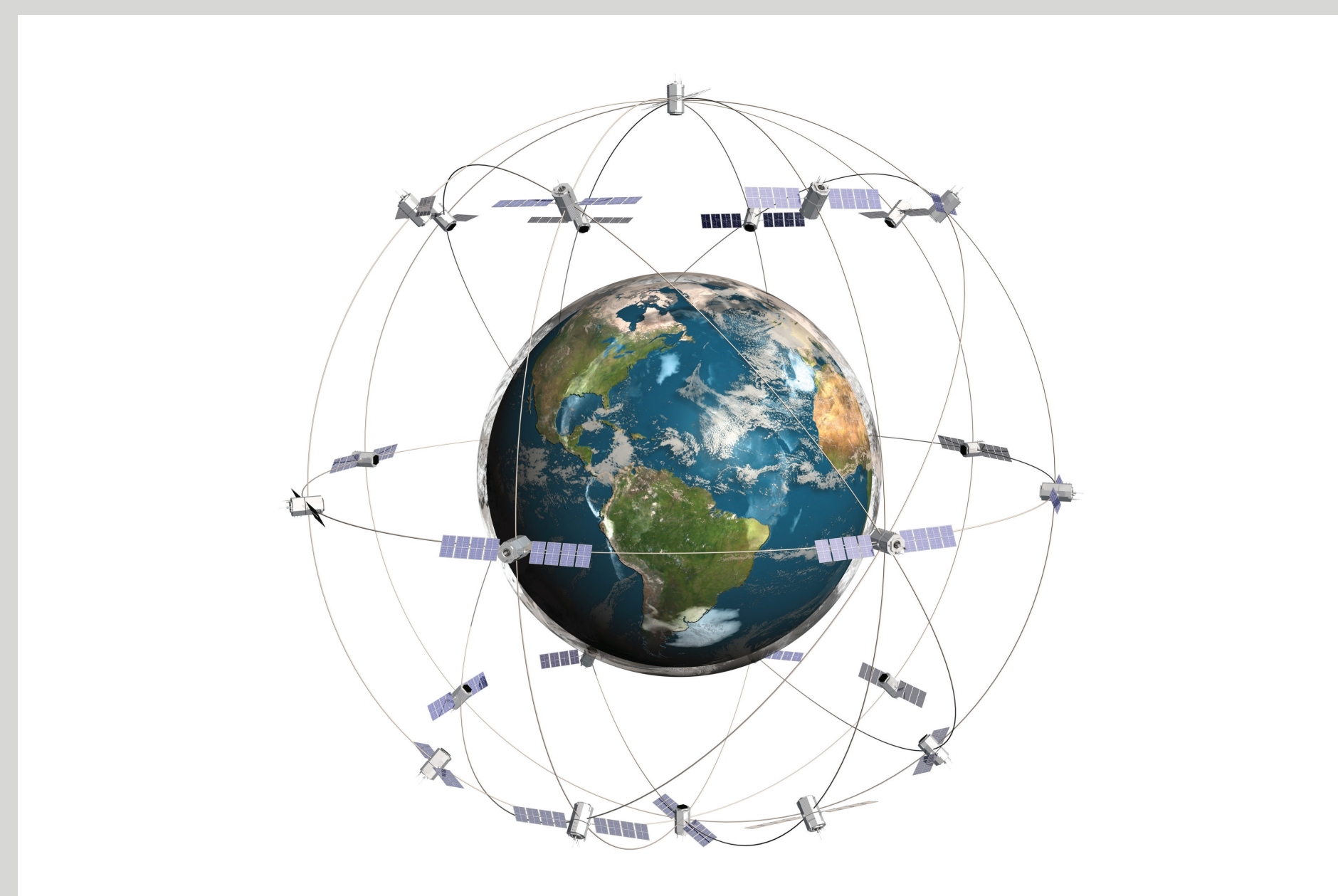
1. Евклидова геометрия - через белую точку проходит только одна прямая, которая не пересекает желтую прямую
2. Геометрия Римана - любые две прямые пересекаются (не существует параллельных прямых)
3. Геометрия Лобачевского - существует бесконечно много прямых не пересекающих желтую линию и проходящих через белую точку

Теперь перейдем к главному – практическим применениям геометрии Лобачевского.

Спутниковые навигационные системы (GPS и ГЛОНАСС) состоят из двух частей: орбитальная группировка из 24-29 спутников, равномерно расположенных вокруг Земли, и управленческий сегмент на Земле, обеспечивающий синхронизацию

времени на спутниках и использование ими единой системы координат. На спутниках установлены очень точные атомные часы, а в приемниках (GPS-навигаторах) обычные, кварцевые. В приемниках также есть информация о координатах всех спутников в любой момент времени.

Спутники с маленькими интервалами передают сигнал, содержащий данные о времени начала передачи. Получив сигнал от не менее четырех спутников, приемник может скорректировать свои часы и вычислить расстояния до этих спутников по формуле ((время отправки сигнала спутником) – (время приема сигнала от спутника)) × (скорость света) = (расстояние до спутника). Вычисленные расстояния также корректируются по встроенным в приемник формулам. Далее, приемник находит координаты точки пересечения сфер с центрами в спутниках и радиусами, равными вычисленным расстояниям до них. Очевидно, это будут координаты приемника.

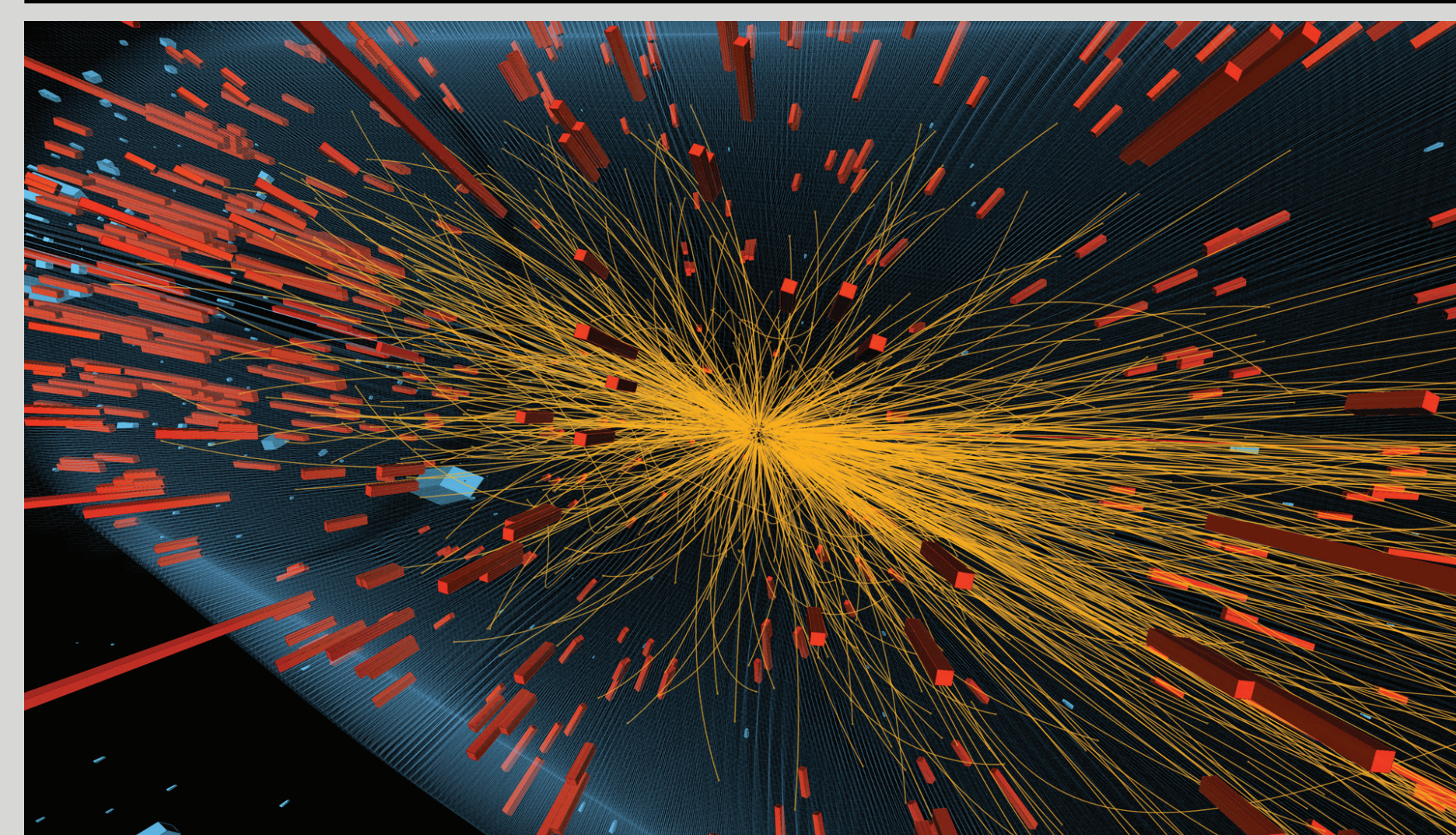


Уже трудно представить нашу жизнь без GPS когда спутники просто окутывают весь земной шар

Читателю наверняка известно, что, благодаря эффекту в Специальной теории относительности, из-за большой скорости спутника время на орбите идет отлично от времени на Земле. Но еще есть подобный эффект в Общей теории относительности, связанный как раз с неевклидовой геометрией пространства-времени. Опять же не будем вдаваться в математические подробности поскольку они довольно таки абстрактные. Но, если перестать учитывать эти эффекты, то уже за сутки работы в показаниях навигационной системы накопится ошибка порядка 10 км.

Формулы геометрии Лобачевского также используются в физике высоких энергий, а именно, в расчетах ускорителей заряженных частиц.

Гиперболические пространства (т.е. пространства, в которых действуют законы гиперболической геометрии) встречаются и в самой природе. Приведем побольше примеров:



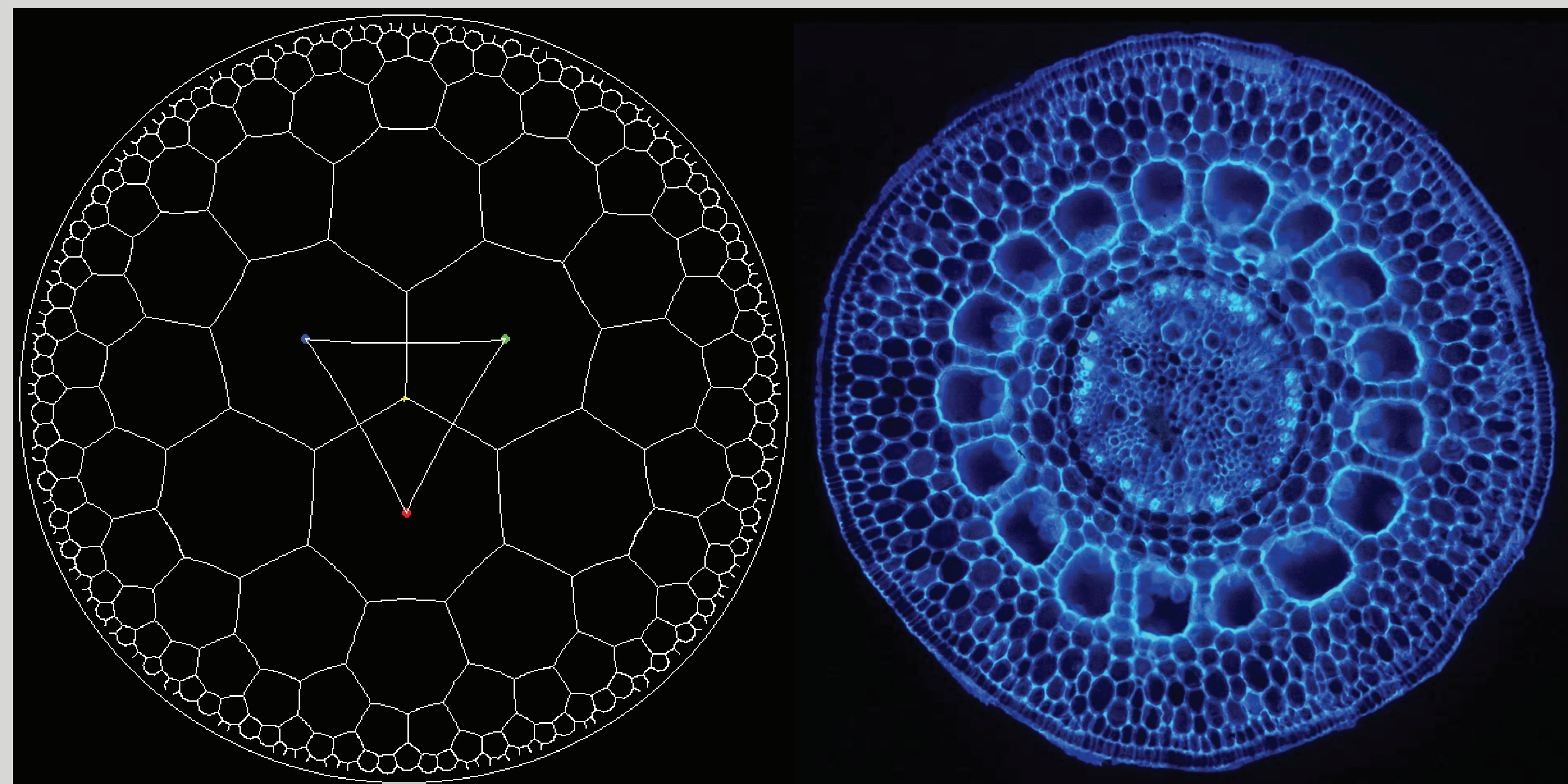
Излучение более 100 субатомных частиц после столкновения двух протонов в Большом Адронном Коллайдере

Геометрия Лобачевского проглядывается в структурах кораллов, в организации клеточных струк-



Один из возможных вариантов дизайна морского вокзала в Сеуле также основан на геометрии Лобачевского.

тур растений, в архитектуре, у некоторых цветков и так далее. Кстати, если вы помните в прошлом выпуске мы рассказывали о шестиугольниках в природе, так вот, в гиперболической природе альтернативой являются семиугольники, которые также широко распространены.



Слева разбиение гиперболической плоскости на семиугольники, Справа срез стебля растения.



В любой ситуации, когда в природе необходимо максимизировать площадь поверхности - например, если пища поступает через какую-либо поверхность - она использует гиперболическую геометрию или геометрию Лобачевского

Б Е Л К И

ТАЙНЫ КИРПИЧКОВ МОЛЕКУЛЯРНОГО МИРА

А я то тут причем?
Опять эти
локализаторы...



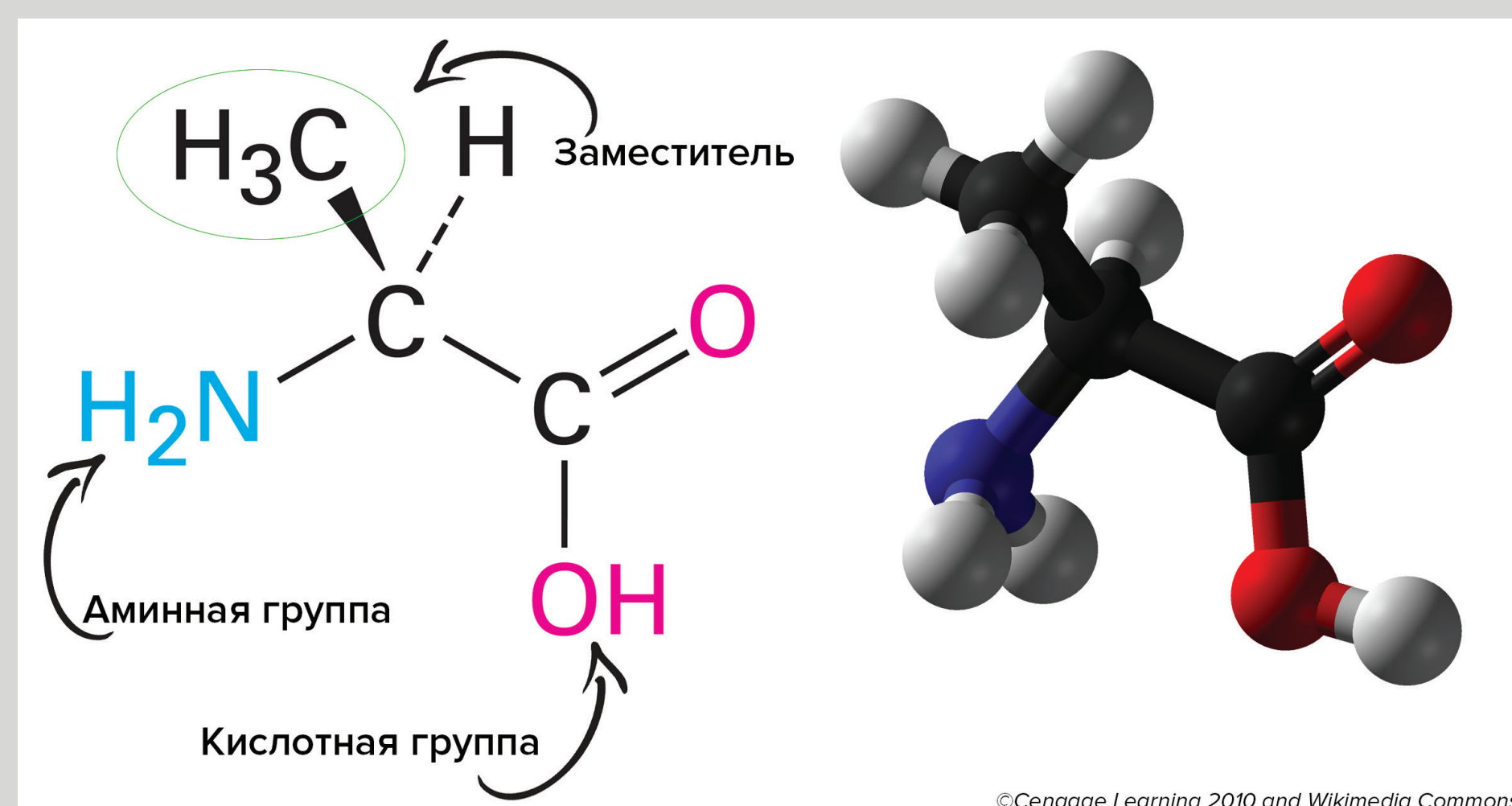
В прошлом выпуске мы начали говорить о том насколько обширна химия углерода - органическая химия. Мы посмотрели на первые два основных класса органических веществ: углеводы и липиды. Сегодня же, мы поговорим о белках.

Белки встречаются в каждом живом организме и по праву считаются строительными блоками жизни. Существует множество разных типов белков, каждый из которых обладает уникальной функцией. Например, кератин - белок, встречающийся в волосах и ногтях человека, а фиброин - белок, составляющий основу нитей паутины и коконов тутового шелкопряда. Также существует около 50000 раз-



Белки на английском называются "proteins" или протеины. Интересный факт: это название было метко дано в честь греческого бога моря Протея, имя которого означает первый или исконный

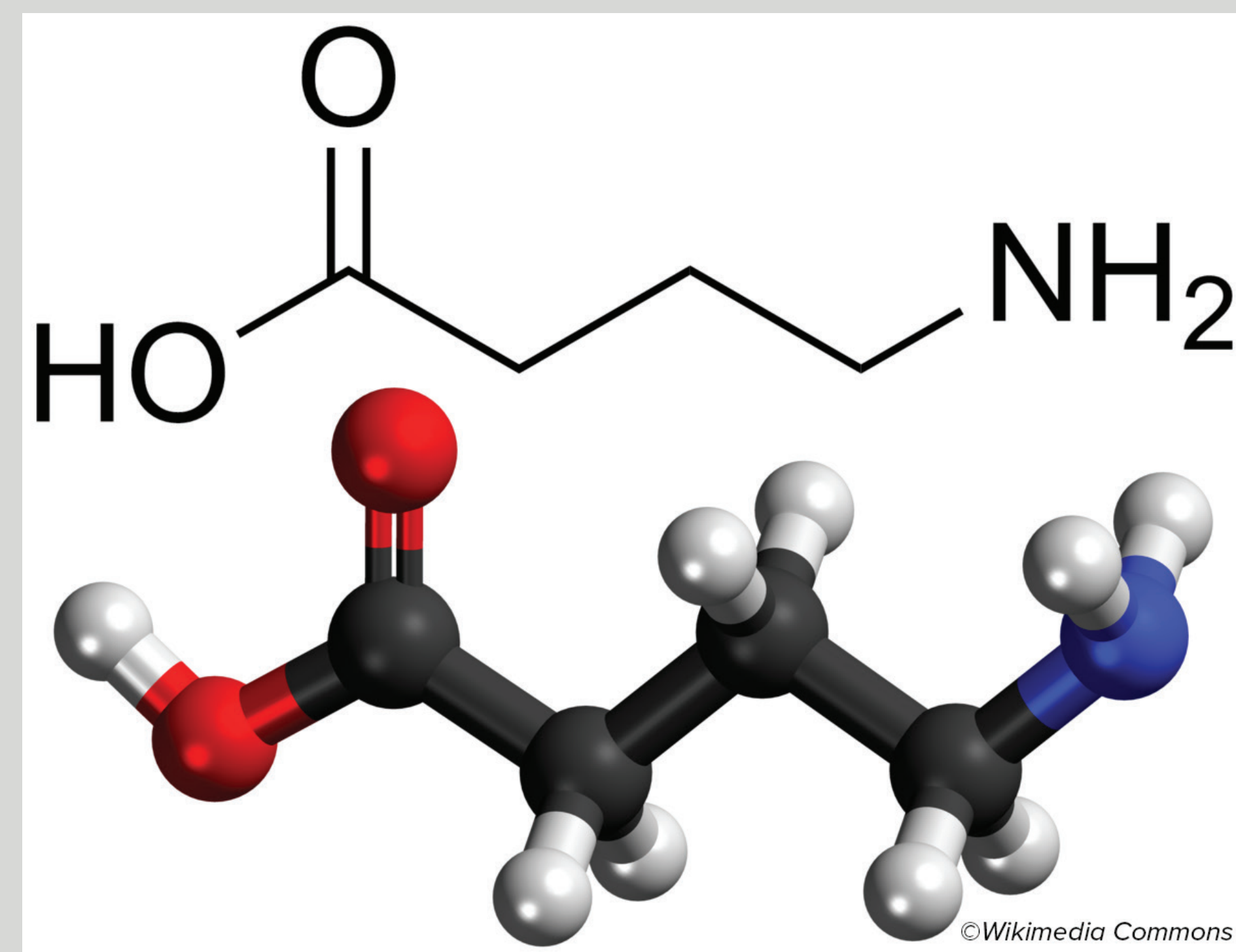
ных ферментов, каждый из которых катализируют лишь одну специфическую реакцию. Несмотря на такую разницу в выполняемой функции, все белки обладают фундаментально похожей структурой и сделаны из большого количества повторяющихся частиц - аминокислот.



Структурная формула аминокислоты Аланина.

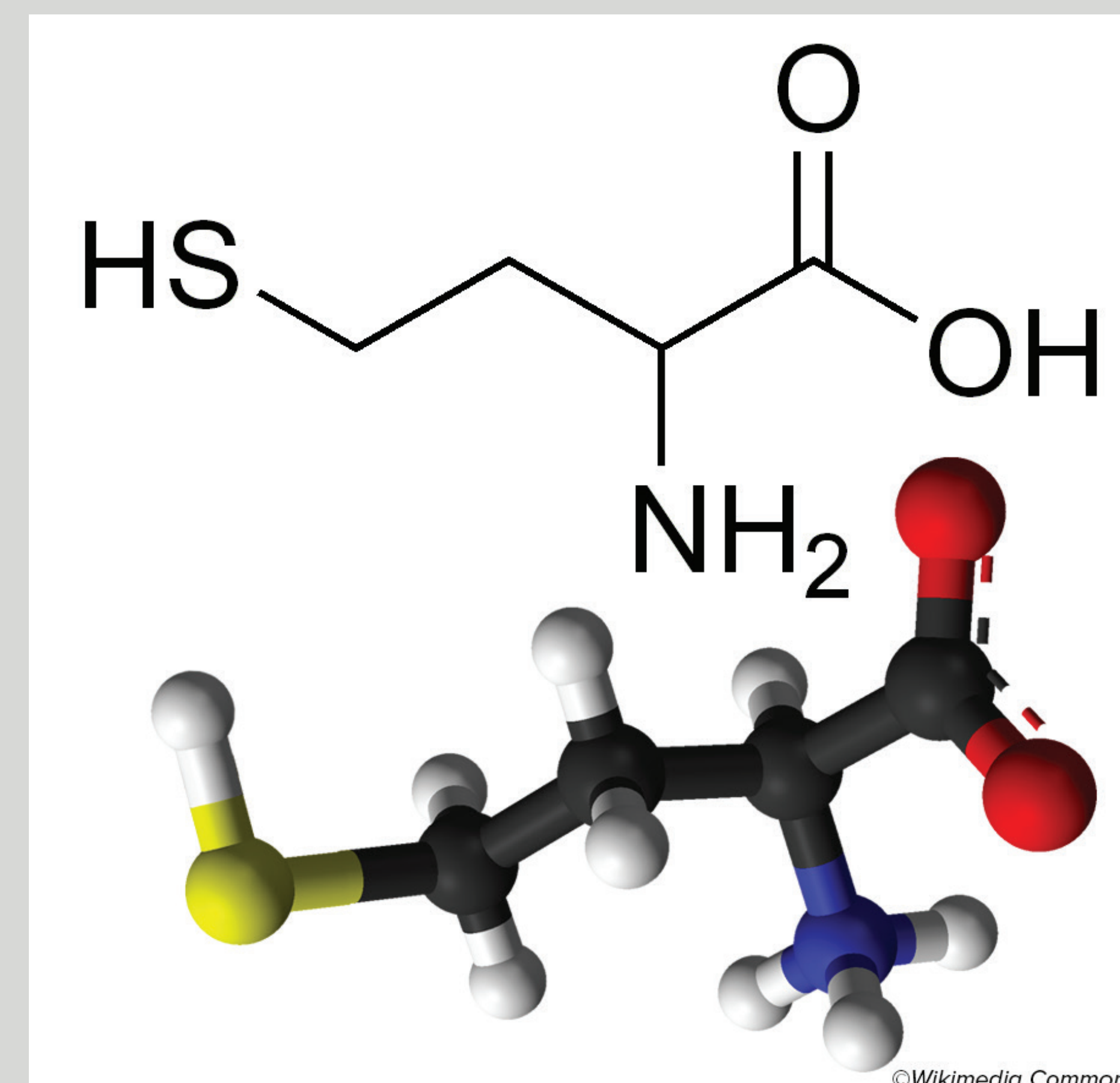
Аминокислоты - это такие интересные молекулы, которые также как и углеводы, могут связываться друг с другом образуя длинную цепочку - полимер. В общем, в нашем организме встречаются только альфа аминокислоты, что означает что аминная и кислотная группы разделены всего од-

ним атомом углерода. К этому атому углерода так же присоединяется какой нибудь заместитель, и соответственно вся разница между разными аминокислотами лишь в этом самом заместителе. В нашем организме используются 20 разных аминокислот для создания 150000 белков. Помимо



Гамма-аминомасляная кислота (GABA). Атомы по цветам: серый - водород, синий - азот, черный - углерод, красный - кислород

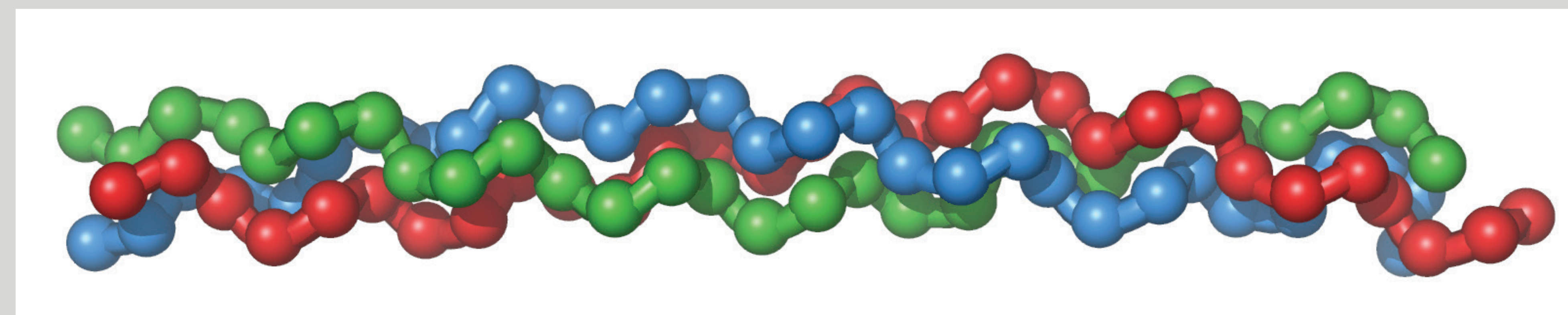
этих 20 аминокислот, еще две часто встречаются в белках других организмов, и более 700 играют не белковую роль. Например, гамма-аминомасляная кислота выступает как нейромедиатор в нашем мозге, а гомоцистеин это аминокислота, которая при накоплении в крови может повысить риск заболевания болезнью Альцгеймера.



Структура гомоцистеина
Атомы по цветам: серый - водород, синий - азот, черный - углерод, красный - кислород, желтый - сера.

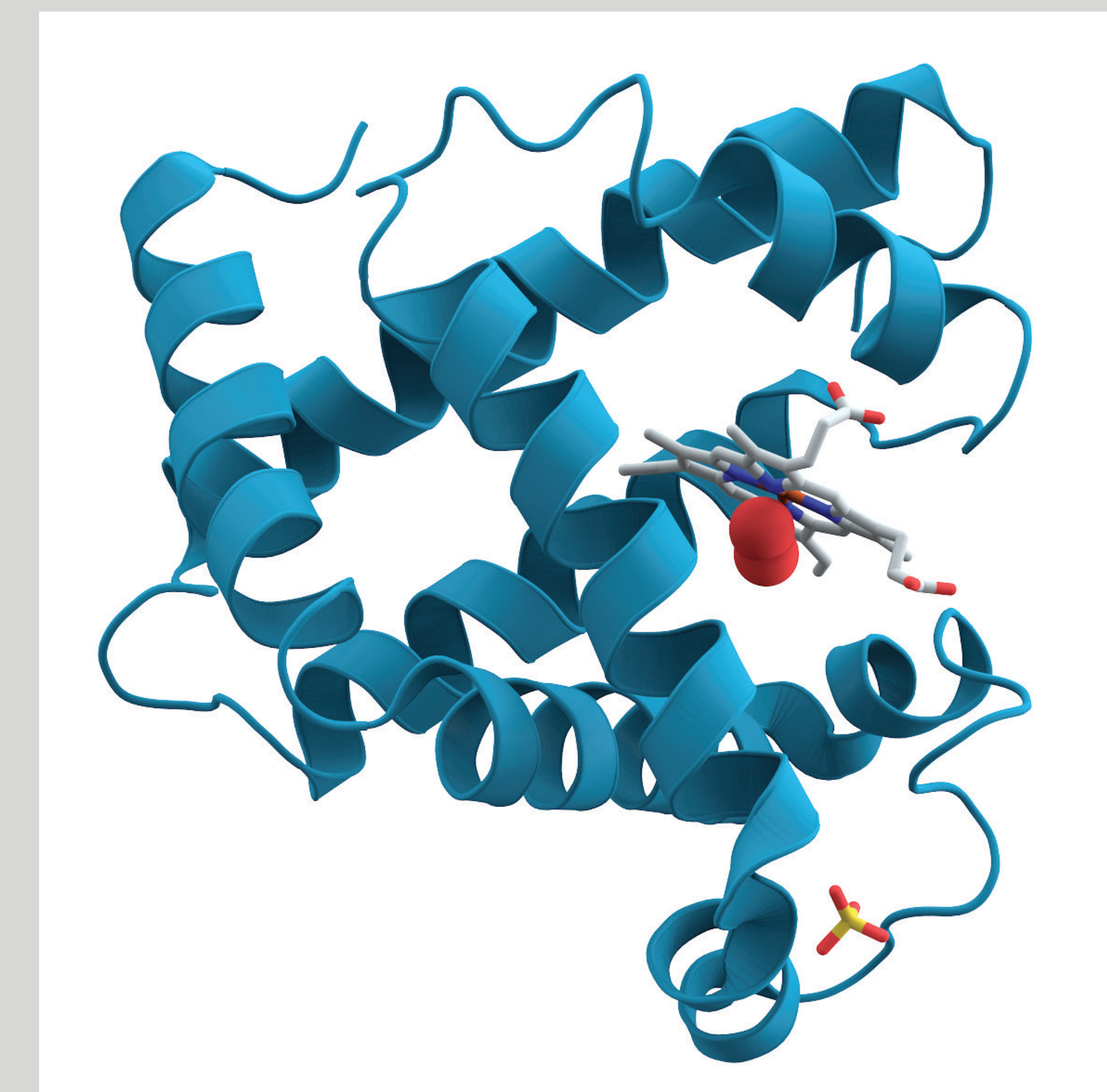
В целом, человеческий организм может самостоятельно синтезировать лишь 11 из 20 аминокислот, остальные 9 являются незаменимыми и должны содержаться в нашем рационе. Эти 9 кислот синтезируются только в растениях и микроорганизмах, именно поэтому очень важно постоянно контролировать дневное употребление овощей и фруктов.

Чаще всего белки делят на два обширных класса: глобулярные и фибриллярные. Фибриллярные белки, например коллаген в сухожилиях и соединительной ткани и миозин в мышечных тканях, состоят из пептидных (содержащих аминокислоты) цепочек вытянутых в длинные нити. Такие белки жесткие и нерастворимые в воде, именно поэтому они используются в природе в качестве строительных материалов. С другой стороны у нас есть глобулярные белки, которые чаще всего замотаны в компактные, почти сферические формы. Эти



Фрагмент коллагена. Три цепочки аминокислот вытянуты в длинные фибриллярные нити.

белки растворимы в воде и достаточно мобильны внутри клеток. Почти все ферменты в нашем организме являются глобулярными белками.



Молекула миоглобина - глобулярного белка

Вообще, с молекулярной точки зрения белки настолько огромны, что для них слово структура имеет четыре разных смысла. Первичная структура белка - это просто последовательность аминокислот. И вообще, в принципе, все белки по своей природе одинаковы - единственное, что их делает уникальными - это последовательность разных аминокислот в разном количестве и соотношении.

Вторичная структура описывает как различные цепочки из аминокислот складываются в какие-то закономерные структуры: например в альфа-спираль или в бета-складчатый слой. Альфа-спираль имеет форму правозакрученной винтовой линии состоящей из скелета белка, прям как винтовая лестница. Но что же такое правозакрученная? Помните мы рассказывали, что природа не любит симметрию? Так вот, у белков (и как позже выяснится у ДНК) тоже могут быть энантиомеры: правозакрученные и левозакрученные спирали. Очень легко этот момент прояснить на примере двух винтовых лестниц: чтобы подняться по одной нужно держаться за перила левой рукой, а на другой лестнице правой рукой. Интересно так же то, что каждый виток спирали содержит 3.6



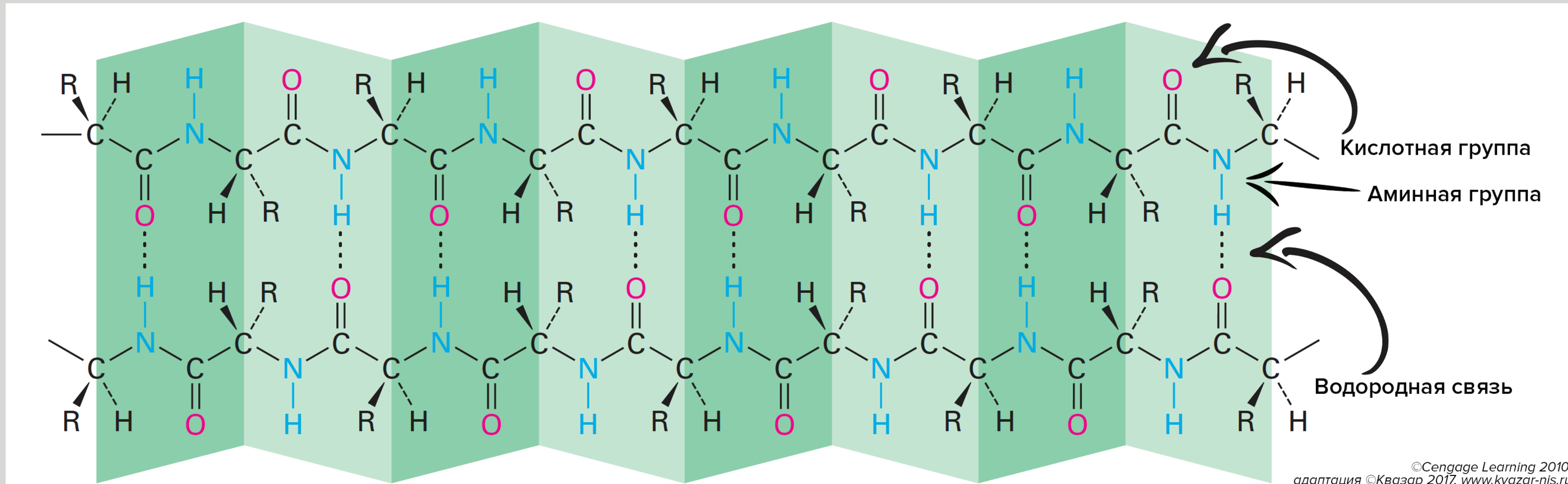
Два типа спиральных лестниц. Справа правозакрученная, слева левозакрученная

аминокислоты, а сама структура стабилизируется водородными связями между карбонильной группой (C=O) и амидной (N-H) группой через четыре аминокислоты. Почти все глобулярные белки, встречающиеся в природе, содержат спиральные фрагменты. Миоглобин - маленький глобулярный белок, содержащий 153 аминокислоты - самый распространенный пример.

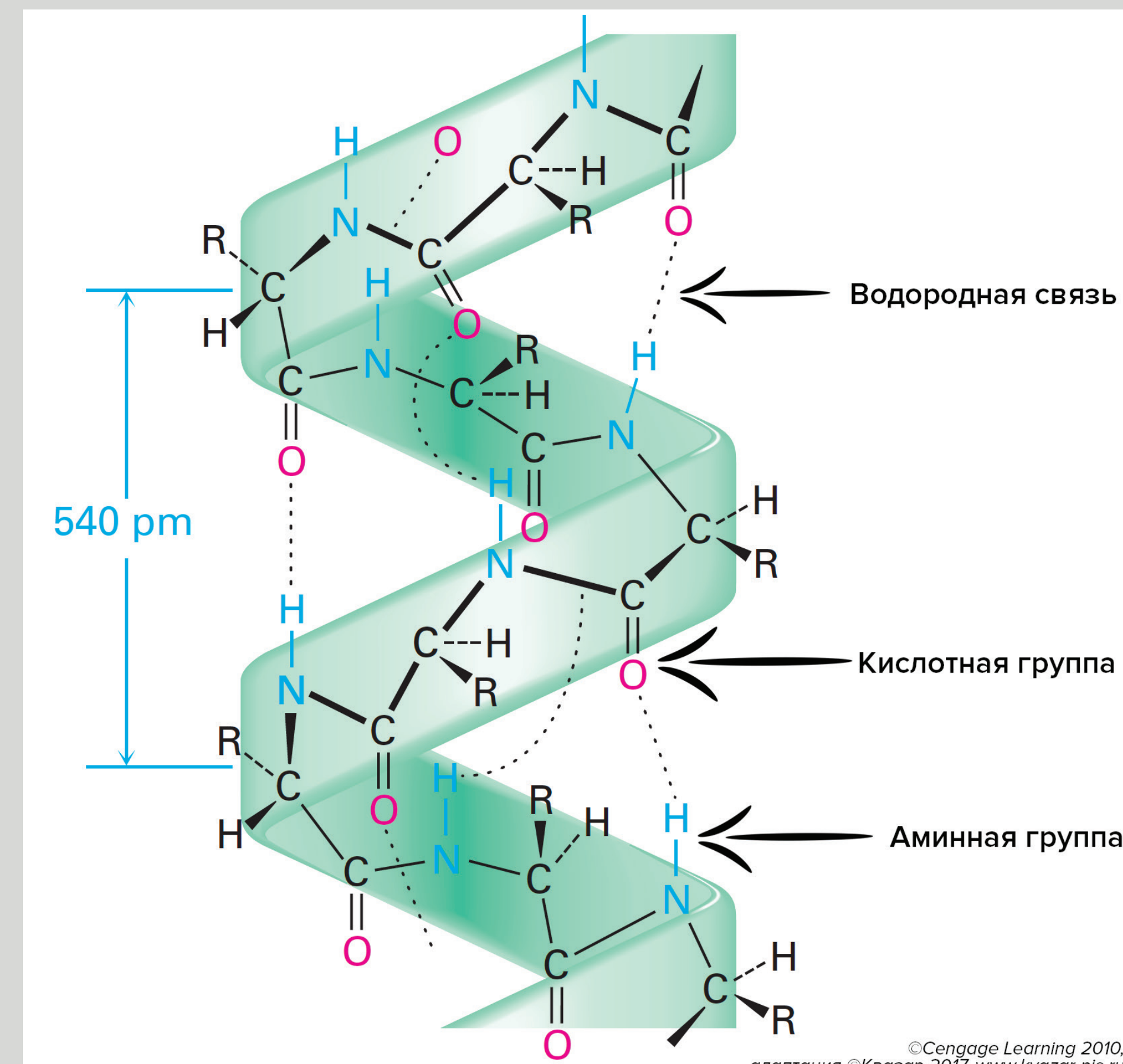
Бета-складчатый слой, или же просто бета-лист, отличается от спирали тем, что каждая цепочка из аминокислот полностью вытянута и водородные связи образуются между аминокислотами в разных цепочках, а не внутри одной, как, например, у спирали. Соседние цепочки могут либо идти в одну и ту же самую сторону (параллельно) либо в разные стороны (антипараллельно). Последний

вариант более распространен в природе, и как оказывается энергетически более выгодный. Конканавалин А - белок используемый нашими клетками для очистки поверхности клетки от остатков углеводов - представляет из себя две идентичные цепочки из 237 аминокислот, с обширными участками антипараллельных бета-листов.

Третичная структура описывает как целая молекула белка складывается в трехмерную структуру. В целом, третичная структура описывает то, как определенные участки тех же самых спиралей или листов складываются друг с другом в один обширный клубочек. Но зачем вообще это надо? Из 20 самых часто встречаемых аминокислот, можно выделить те, которые являются гидрофильными (то есть достаточно полярны и любят находить-



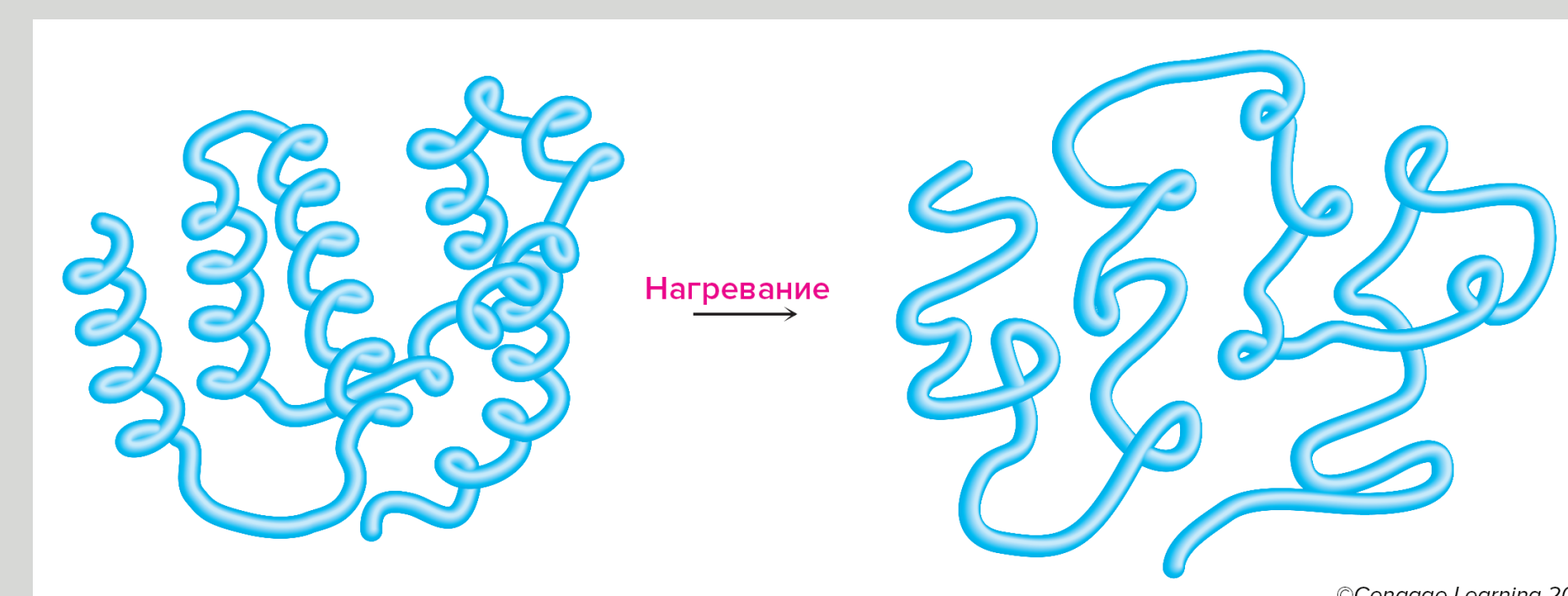
Схематичное представление бета-листа. В данном случае две цепочки направляются антипараллельно.



Правозакрученная альфа-спираль

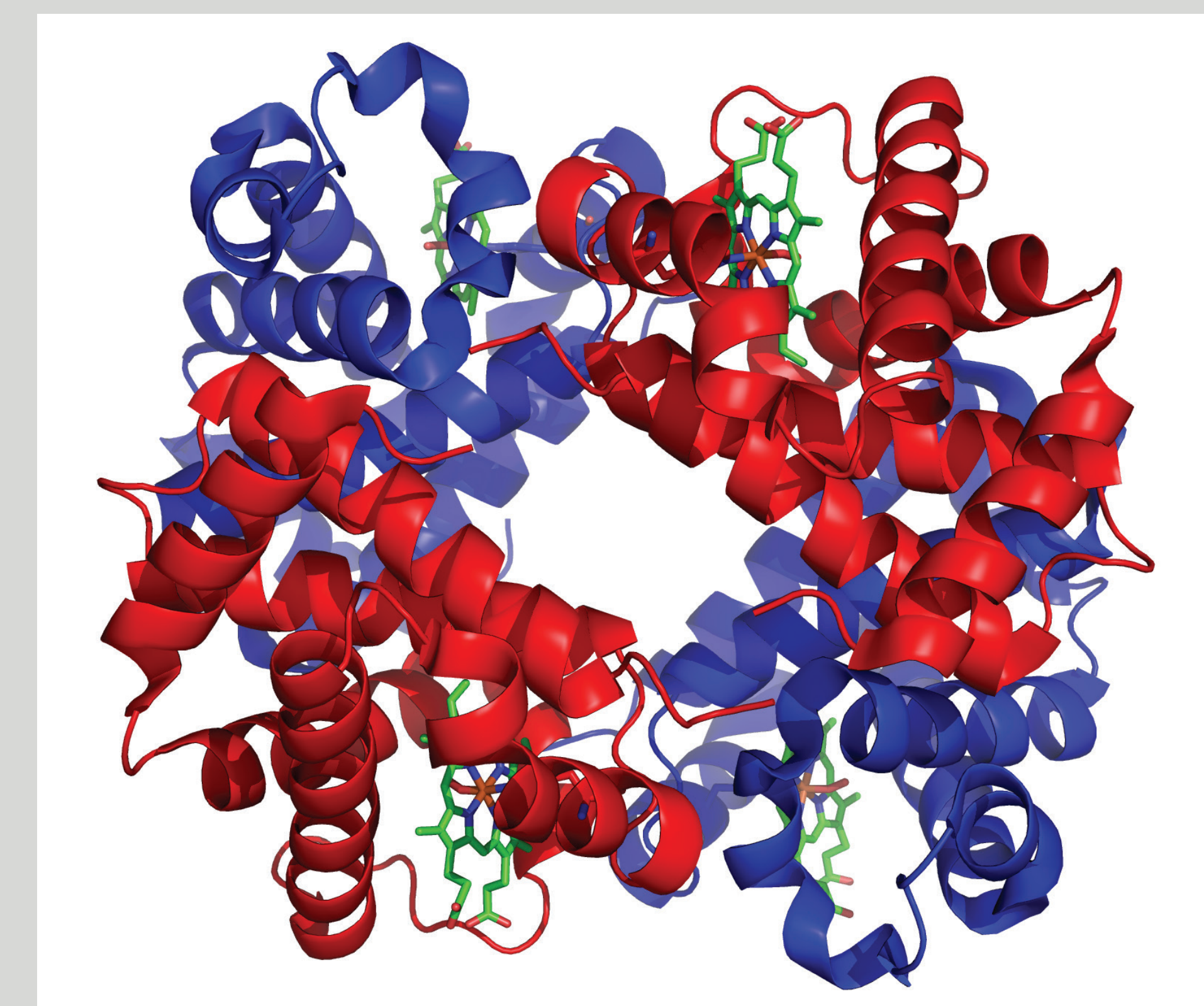
ся в воде), и те, которые являются гидрофобами (то есть те, которые хотят спрятаться от воды). Так вот, гидрофильные концы чаще всего оказываются на внешней части белка и контактируют с водой, обеспечивая растворимость белка в водной среде нашего организма. Ну как растворимость - они просто позволяют ему жить спокойно и не быть энергетически напряженным. Никому же не нравится жить в напряжении, так ведь? А те аминокислоты, которые гидрофобны, они прячутся внутри белка. В числе очень важных связей, которые создают третичную структуру есть дисульфидные связи. Такие связи образуются между молекулами цистеина (это одна из 20 аминокислот). Дисульфидная связь легко образуется при наличии какого-нибудь окисляющего вещества. Очень большое количество людей даже не задумываясь проводят эту реакцию почти ежедневно. Дело в том, что в белках, которые находятся в наших волосах, очень большое содержание цистеина, а когда мы пользуемся гелем, воском или лаком для волос, мы просто-напросто окисляем эти молекулы цистеина и заставляем их держать определенную форму, с помощью этих дополнительных дисульфидных связей. Вот такие вот дела.

На самом деле, третичная структура белка очень хрупка и легко подвергается внешним воздействиям, поскольку большую часть этой структуры создают солевые мостики (или ионные вза-



Денатурация

имодействия) между кислотными и основными аминокислотами. Эти взаимодействия происходят только между заряженными функциональными группами, а они таковыми являются только в узком диапазоне кислотности среды. Таким образом, если мы чуть-чуть изменим кислотность среды, то произойдет денатурация. То же самое будет если мы нагреем белок, поскольку водородные связи (которые также играют серьезную роль в формировании третичной структуры) довольно таки слабые и легко разрушаются при малейшем нагревании. Денатурация - это процесс разрушения формы белка с сохранением первичной структуры. Пожалуй самый знаменитый пример такого процесса можно наблюдать когда мы варим куриное яйцо в горячей воде. Изначально, белок из куриного яйца - альбумин - находится в жидком состоянии, но после термической обработки он становится твердым. Почему? Просто в аккуратной третичной структуре, альбумин растворим в воде, а если мы нарушим её, то он тут же начинает слипаться с остальными молекулами белка образуя твердую структуру. Помимо изменений в физических свойствах белков, при денатурации также наблюдается нарушение биологических функций. Например, ферменты перестают работать после нагревания, т.к. им необходимо наличие четкой структуры в активном центре - там куда приходят молекулы.



Молекула гемоглобина, собранная из четырех молекул белка (две красных и две синих единицы)

Ну а последняя, долгожданная четвертичная структура описывает как несколько молекул белка собираются в какие то огромные комплексы, как например четыре белка собираются вместе и образуют гемоглобин. Само название гемоглобин, состоит из двух частей: гем и глобин. Гем - это такая органическая молекула содержащая железо, а глобин - глобулярный белок. Функция гемоглобина - перенос кислорода по крови организма.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД

ВСЯ ЖИЗНЬ 4 МОЛЕКУЛЫ



Лишь малая часть людей знает как расшифровывается ДНК. Более того, большинство людей (и я не исключение) затрудняются прочитать полное название с первого раза. Хотите попробовать?

Дезоксирибонуклеиновая кислота.

Да уж, словечко не из самых приятных. Нуклеиновые кислоты, такие как дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) и рибонуклеиновая кислота (РНК) являются химическими переносчиками генетической информации клеток. В клеточной ДНК



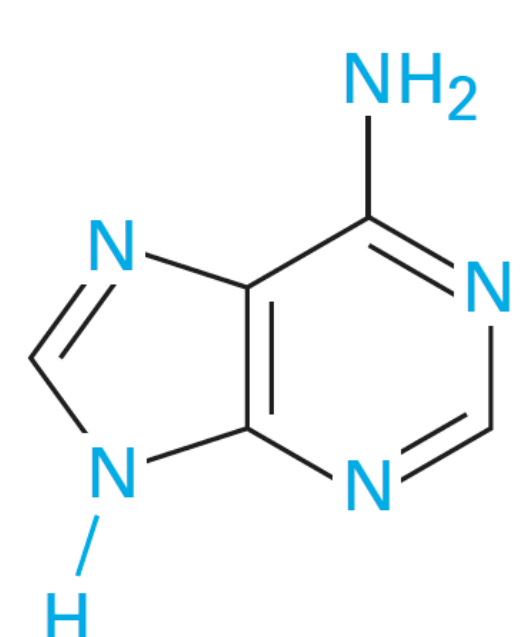
Эти золотистые ретриверы не просто похожи друг на друга - они являются генетическими клонами.

зашифрована информация, которая будет определять какую роль будет выполнять эта клетка, контролировать её рост и деление, и направлять биосинтез ферментов и белков, необходимых для жизни клетки. В дополнении к нуклеиновым кислотам в “чистом” виде, существуют еще производные нуклеиновых кислот, как например АТФ, которые выполняют не менее важные роли. АТФ являются этакой денежной валютой в мире молекул, поскольку именно она затрачивается при синтезе каких-нибудь сложных соединений.

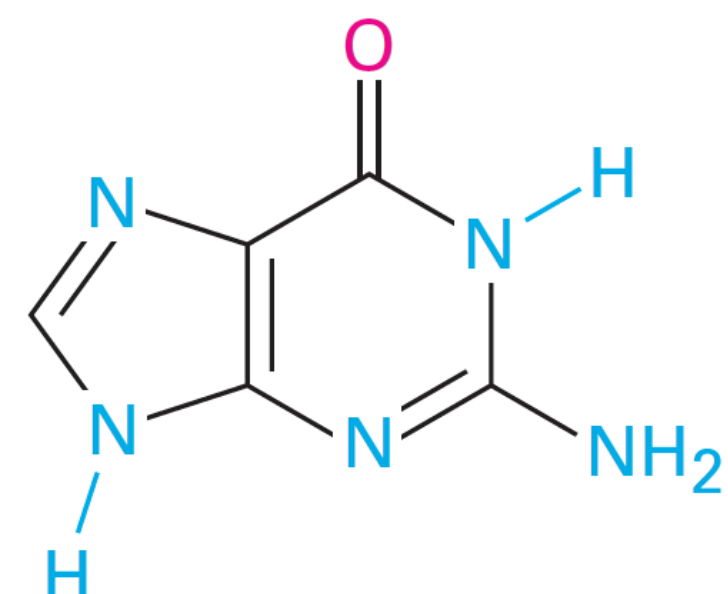
Нуклеиновые кислоты являются последним из четырех основных классов биологических молекул, о которых мы будем говорить. Возможно, каждый из вас слышал о такой загадочной молекуле ДНК, которая определяет все ваши физические особенности, но вряд ли многие из вас знают что это такое с химической точки зрения.

Так же как белки сделаны из маленьких частичек - аминокислот, нуклеиновые кислоты сделаны из нуклеотидов, соединенных в длинную цепь. Каждый нуклеотид состоит из трех основных частей: углевода, азотистого основания и остатка фосфорной кислоты. В РНК углеводом является рибоза (отсюда и название: рибонуклеиновая кислота), а в ДНК углеводом является производное рибозы, которые называется дезоксирибоза и отличается лишь тем, что в нем находится на один атом кислорода меньше (и отсюда же и название: дезоксирибонуклеиновая кислота). В ДНК содержится четыре основных азотистых основания: аденин, тимин, гуанин и цитозин. В РНК вместо тимина можно встретить довольно похожее основание, которое называется урацил.

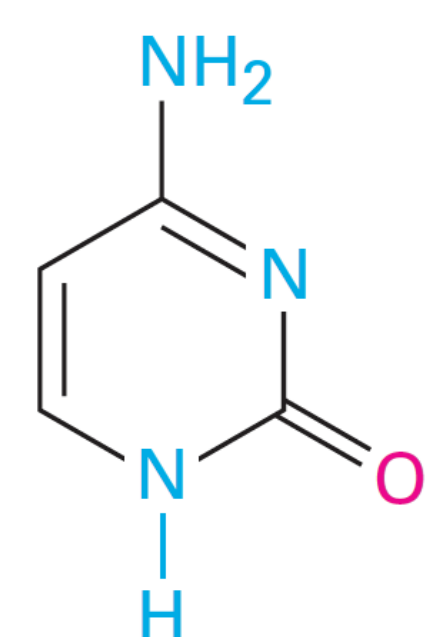
И хоть ДНК и РНК похожи с химической точки зрения, они значительно отличаются по размерам.



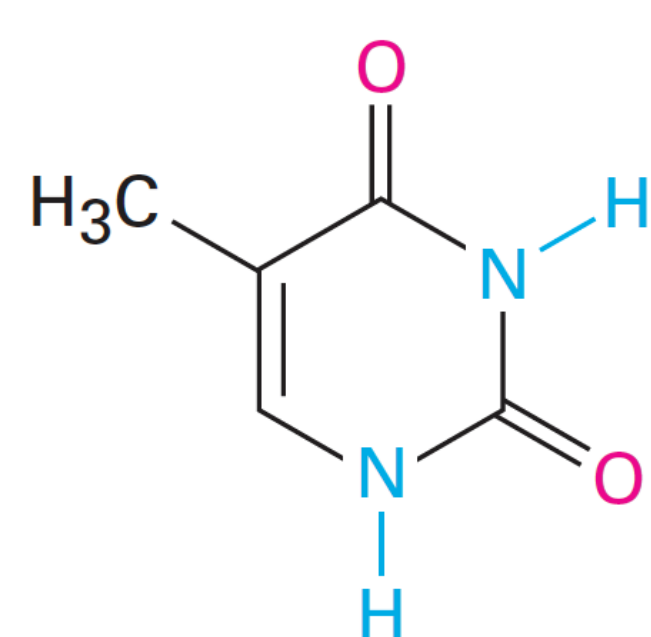
Аденин (А)
ДНК и РНК



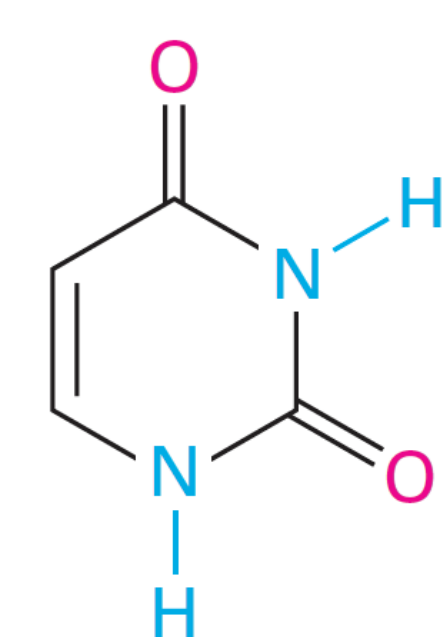
Гуанин (G)
ДНК и РНК



Цитозин (С)
ДНК и РНК



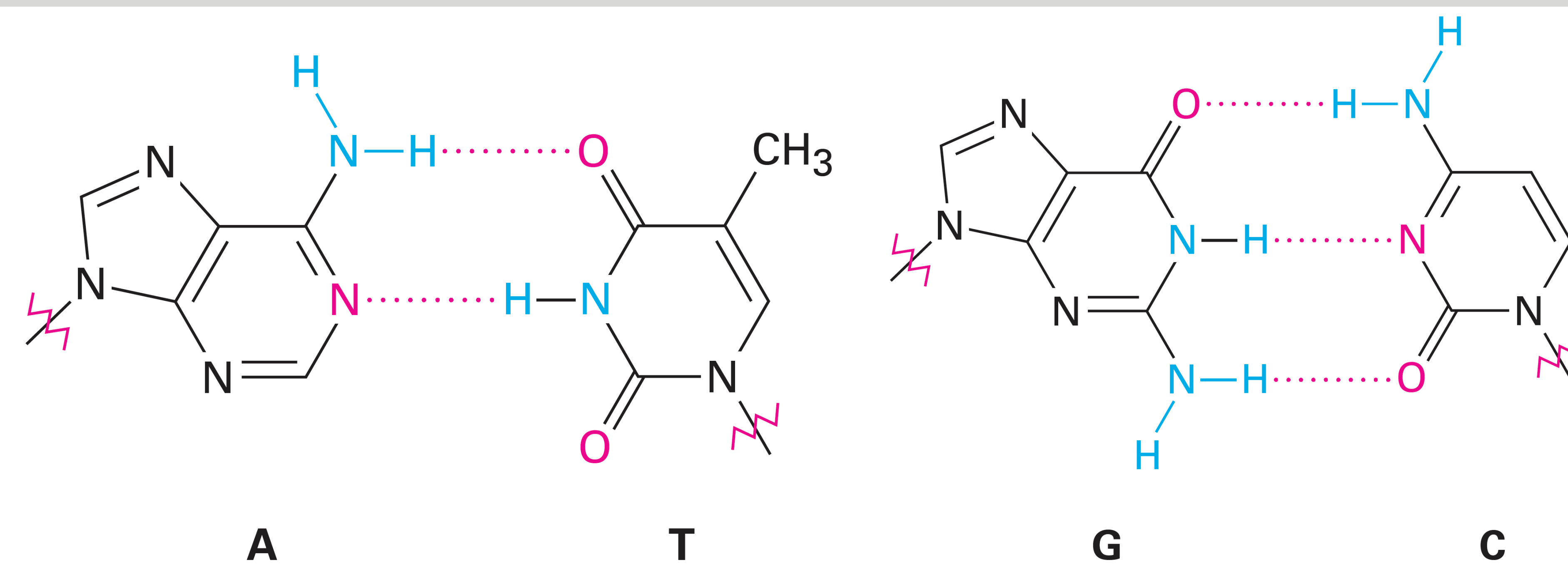
Тимин (Т)
ДНК



Урацил (U)
РНК

Формулы всех азотистых оснований встречающихся в ДНК и РНК

©Cengage Learning, 2010
адаптация ©Квазар 2017, www.kvazar-nis.ru



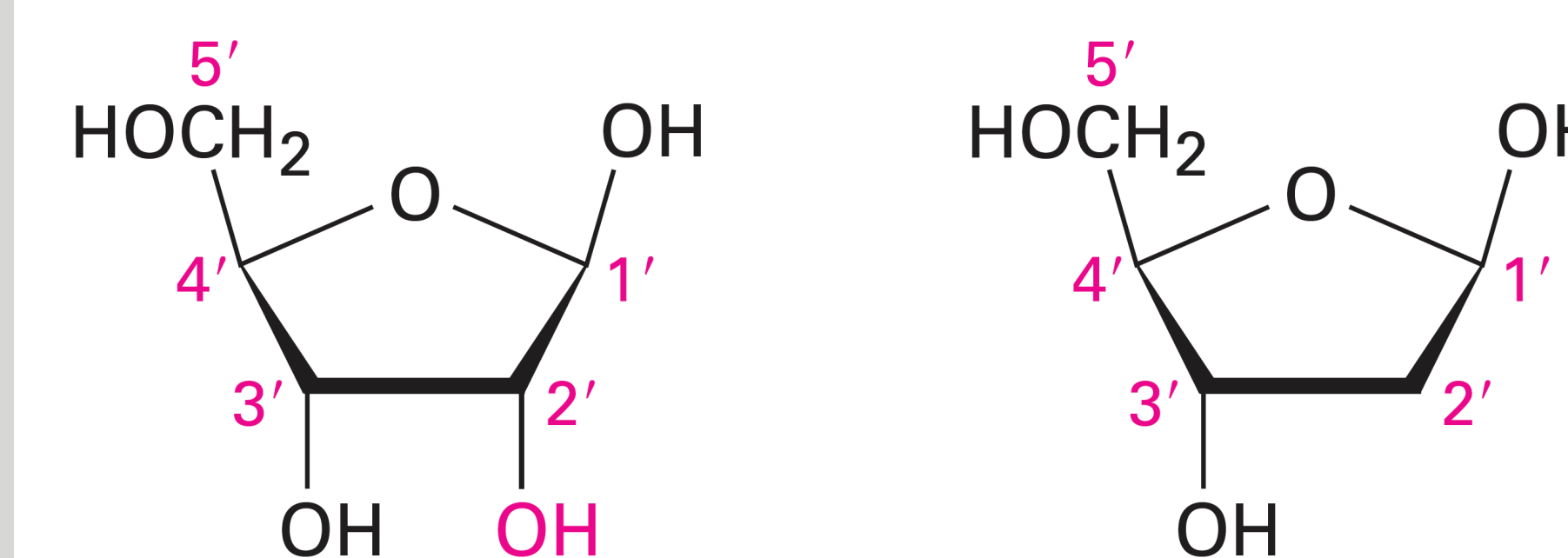
©Cengage Learning 2010.

Принцип спаривания двух нуклеотидов, лежащий в основе принципа комплементарности

Молекулы ДНК огромны и содержат около 245 миллионов нуклеотидов, а их молекулярная масса достигает 75 миллиардов грамм на моль. Молекулы РНК в сравнении гораздо меньше, самые маленькие содержат 21 нуклеотид и обладают массой в 7000 грамм на моль.

Несмотря на то, что клетки мозга и клетки кожи обладают совершенно разной структурой и выполняют совершенно разные биологические функции, они обладают совершенно одинаковым генетическим кодом, т.е. одинаковыми молекулами ДНК. При этом, примерно любая человеческая ДНК содержит по 30% аденина и тимина, и по 20% гуанина и цитозина. Более того, феномен равенства количеств тимина и аденина, гуанина и цитозина

не является уникальным для человеческого организма. Это повсеместное явление в природе. Но почему?



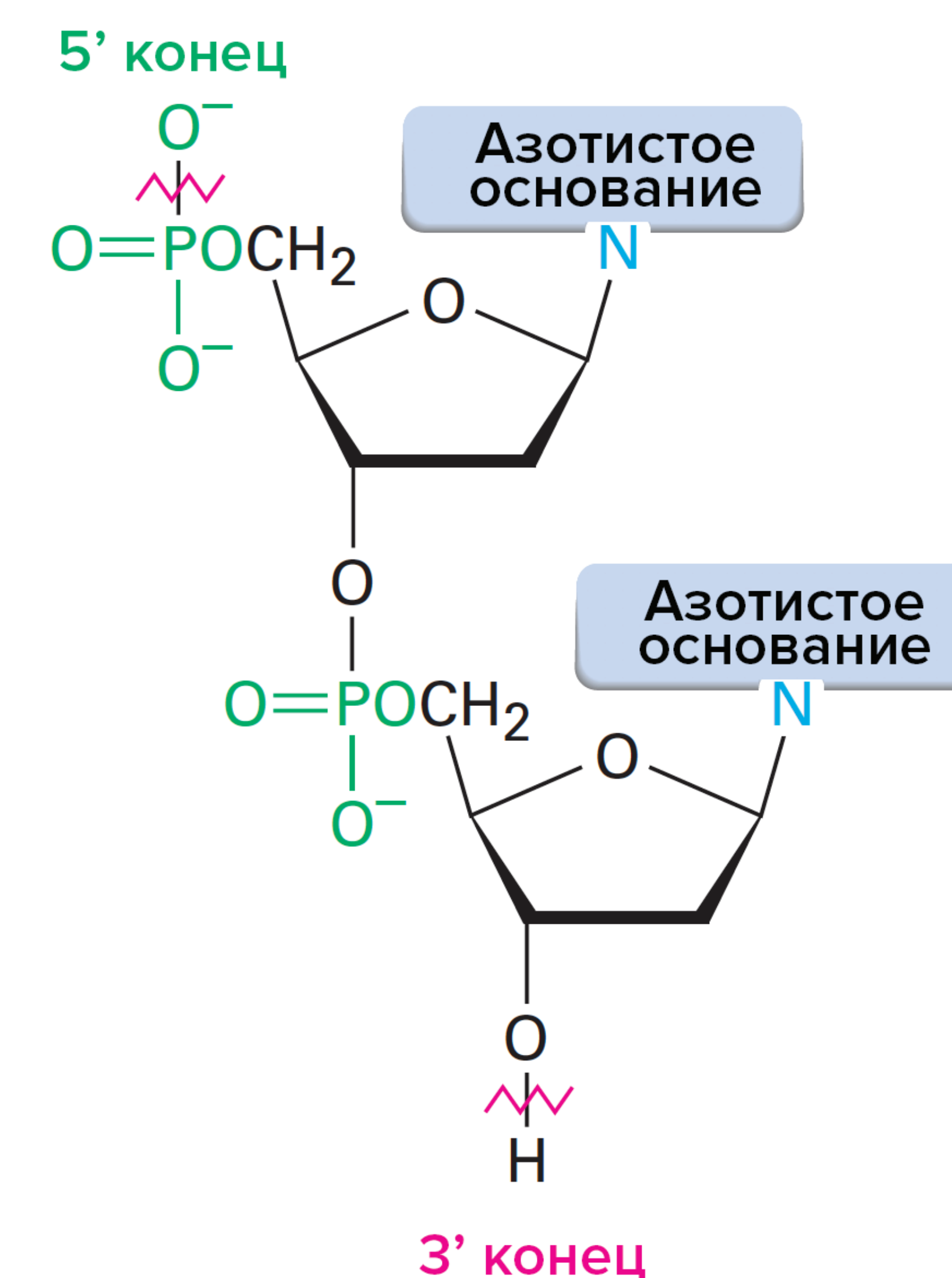
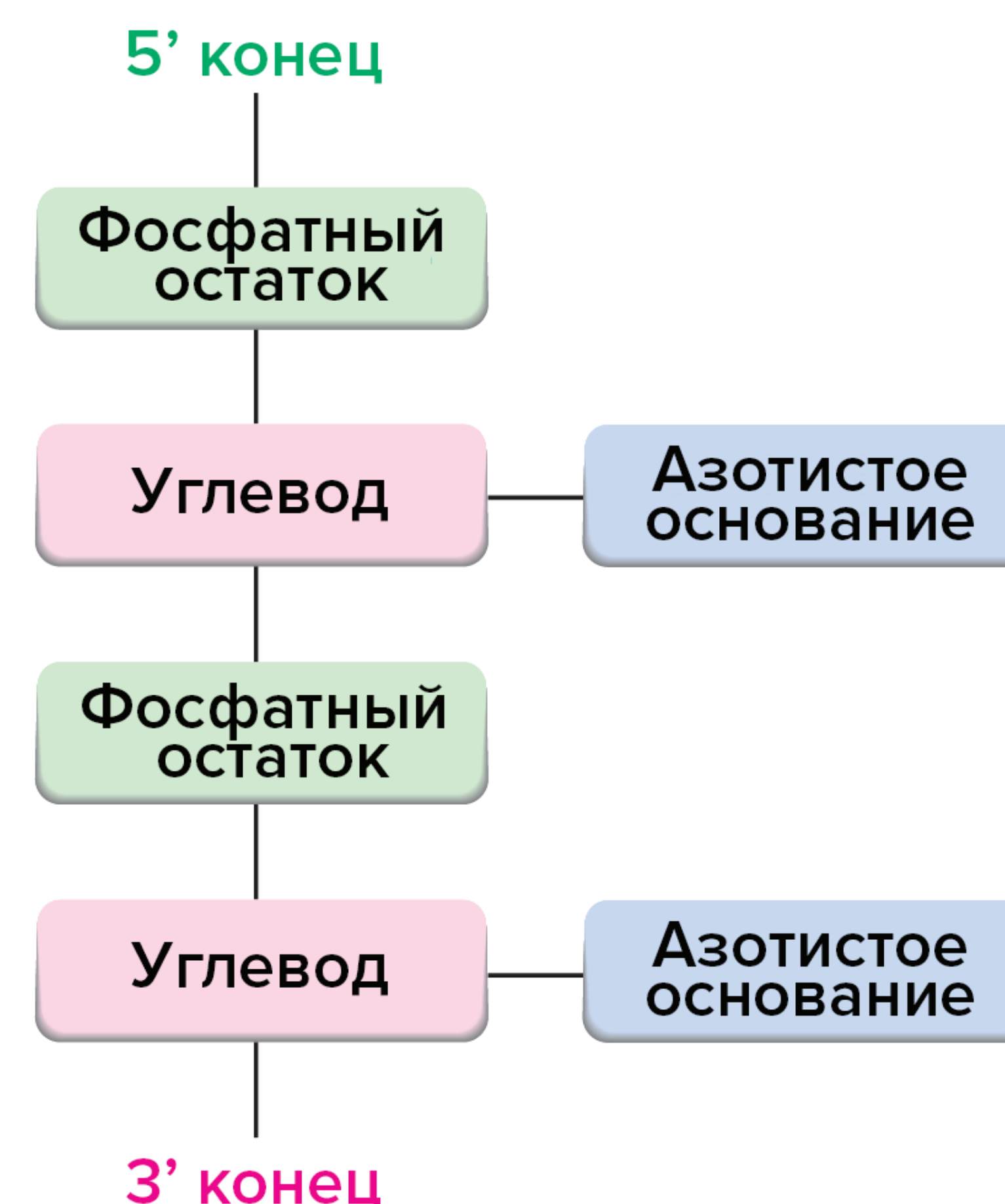
Рибоза

2-дезоксирибоза

©Cengage Learning, 2010
адаптация ©Квазар 2017, www.kvazar-nis.ru

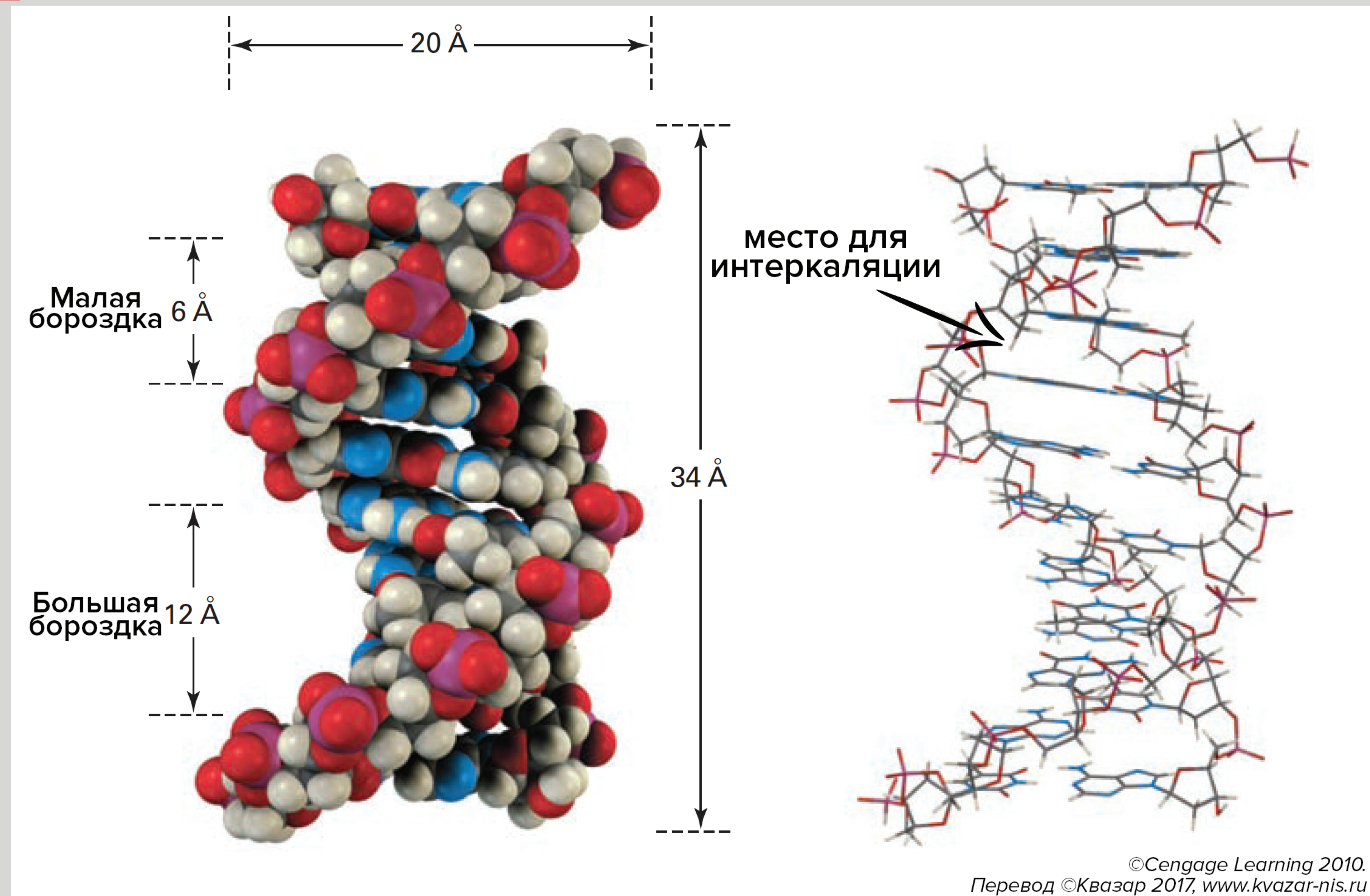
Два углевода, встречающихся в нуклеиновых кислотах

В 1953 году, Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик обнаружили истинную вторичную структуру молеку-



©Cengage Learning, 2010
адаптация ©Квазар 2017, www.kvazar-nis.ru

Схематическое представление конечной молекулы ДНК

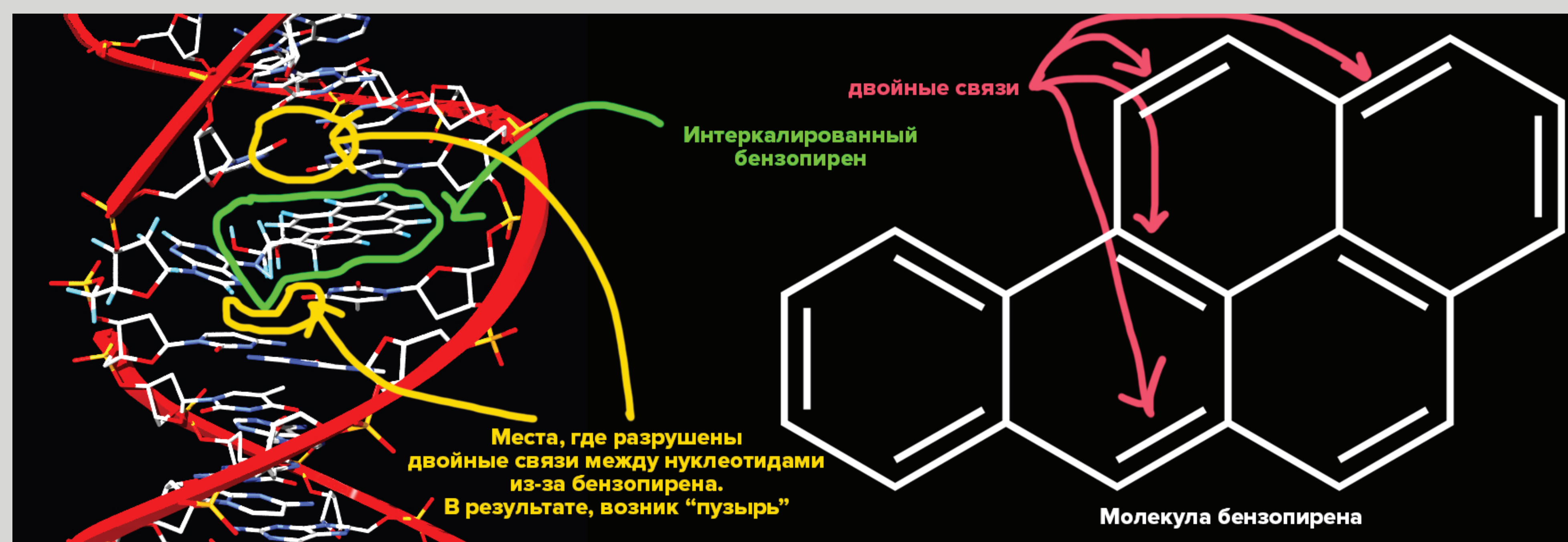


Фрагмент ДНК с наглядным изображением двух типов бороздок

лы ДНК. Согласно их модели, ДНК состоит из двух цепочек из нуклеотидов, которые сворачиваются в витки двойной спирали, также как винтовые лестницы. Две цепочки не идентичны, а комплементарны и удерживаются водородными связями. Каждый Аденин (А) связывается с Тимином (Т), а каждый Гуанин (G) связывается с Цитозином (С) и наоборот. То есть, каждый раз как в одной цепочке встречается А, в другой цепочке будет Т. Этот факт объясняет то, что мы видим одинаковые количества А и Т, G и С в любых живых организмах.

В среднем, каждый виток спирали ДНК содержит около 10 пар оснований (нуклеотидов). Как можно заметить из рисунка: две нити ДНК переплета-

ются таким образом, что образуются две разных по размерам бороздки: большая (12Å в ширину) и малая (6Å в ширину), где 1 Å в 10 миллиардов раз меньше метра. Большая бороздка немного глубже, и как мы видим на картинке, все азотистые основания складываются в хорошие такие параллельные линии. Все дело в том, что эти основания содержат шестичленные и пятичленные ароматические циклы, которые по форме являются шести- и пятиугольниками. Их называют ароматическими потому, что они а) плоские и б) содержат много двойных связей. Эти самые двойные связи и могут стабилизировать структуру ДНК если, например, две двойных связи с двух разных ароматических молекул находятся строго параллельно



Демонстрация воздействия бензопирена (сильнейшего канцерогена) на молекулу ДНК



Центральная догма молекулярной биологии

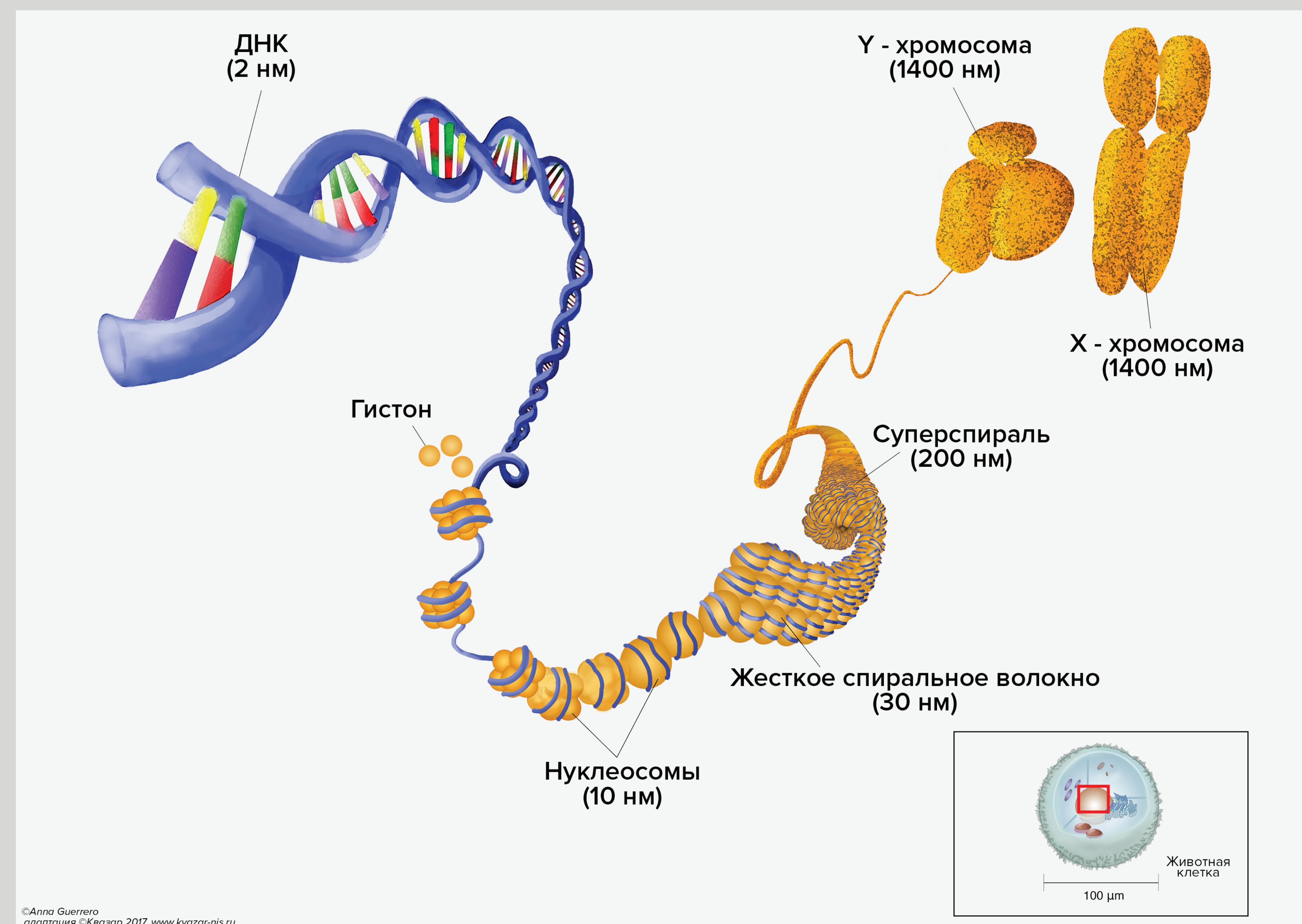
друг под другом. Именно так и происходит в реальной структуре и мы видим параллельно-лежащие молекулы и пространство между ними. Большое количество полициклических ароматических молекул может пролезать в эти пространства, или на научном языке интеркалировать. Многие канцерогены (вещества вызывающие рак) и лекарства от рака функционируют именно взаимодействуя с ДНК методом интеркаляции.

Генетическая информация организма хранится как последовательность нуклеотидов в цепочке ДНК. Все гены, которые определяют наш цвет глаз, наш цвет волос, наш цвет кожи, наши особенности, наш потенциальный рост, наши физические задатки - все это всего лишь последовательность четырех нуклеотидов А, Т, G и С. Ровно как все операционные системы - это лишь последовательно-

сти 0 и 1, точно так же ДНК это - последовательно-сти четырех нуклеотидов.

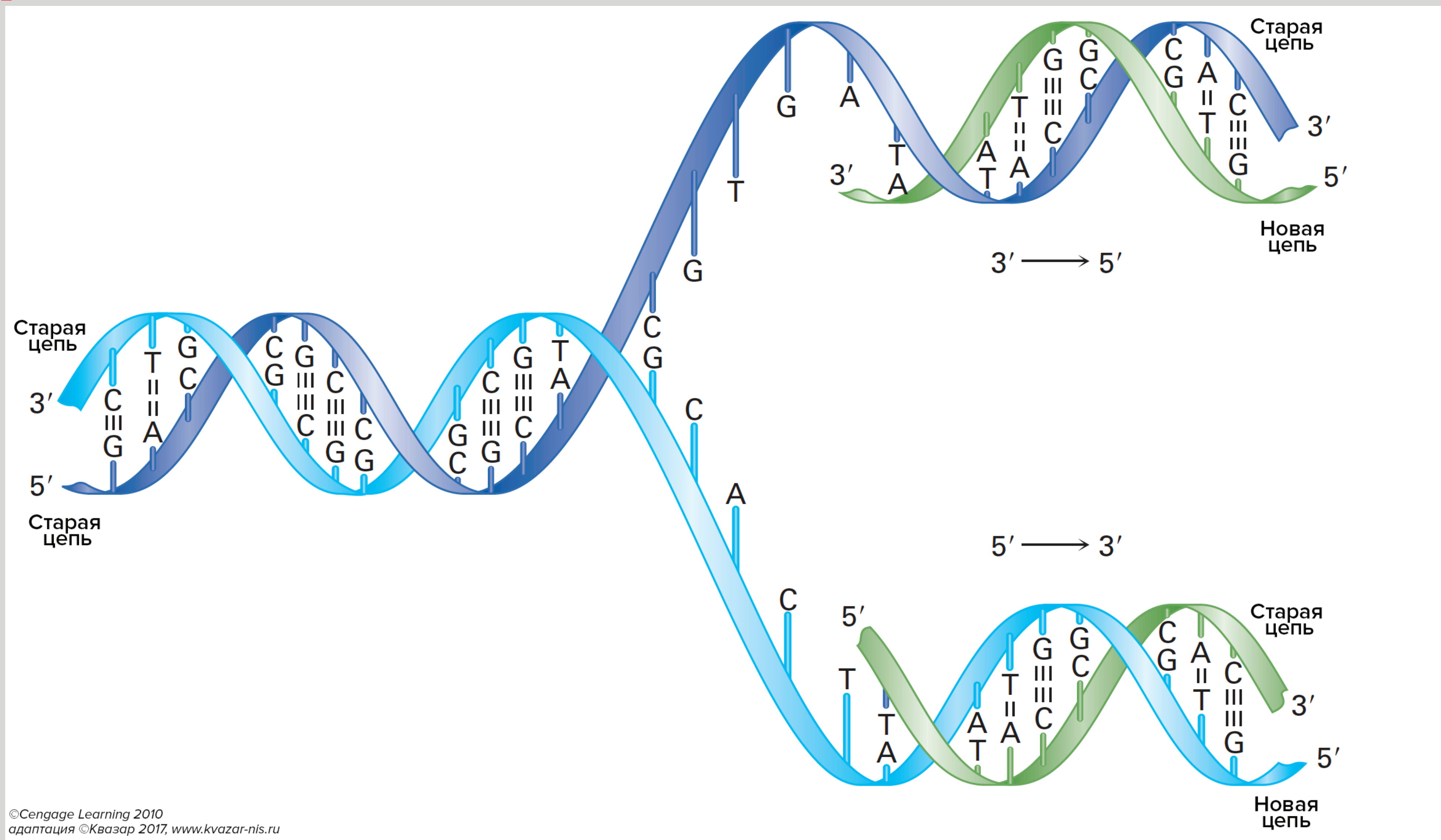
Для того чтобы сохранять генетическую информацию и передавать её следующим поколениям должен существовать механизм для копирования ДНК. Чтобы использовать эту информацию, должен существовать механизм для расшифровки и использования этого кода. Хорошая новость заключается в том, что эти механизмы более-менее изучены.

Однажды, Фрэнсис Крик сформулировал центральную догму молекулярной биологии, которая гласит: функция ДНК заключается в хранении и передаче информации РНК, а функция РНК заключается в чтении, дешифровке и использовании информации из ДНК для создания белков. И



©Анна Guerrero адаптация ©Квазар 2017, www.kvazar-nis.ru

Схематическое изображение компактной укладки ДНК в хромосомах



Схематическое изображение процесса репликации

хоть такой взгляд может казаться слишком упрощенным, он достаточно хорошо обобщает детали.

Существует три фундаментальных процесса:
Репликация - процесс по которому создаются идентичные копии ДНК с целью передачи информации потомкам.
Транскрипция - процесс по которому генетическая информация читается и переносится из ядра клетки к специальным станциям (рибосомам), где происходит синтез белка.
Трансляция - сам процесс синтеза белка в специальных станциях.

Репликация ДНК - это реакция, катализируемая ферментами, которая начинается с частичного раскручивания двойной спирали в некоторых местах молекулы ДНК. Раскручивание происходит под действием фермента хеликазы (от английского хеликс - спираль), иными словами приходит фермент и разрывает парочку водородных связей между азотистыми основаниями, тем самым образуя некий пузырь и выворачивая азотистые основания навстречу окружающей среде. При этом, рядом спокойно плавают разные нуклеотиды в свободном виде, и мимо проходя, они подходят к азотистым основаниям ДНК и образуют с ними водородные связи. Таким образом, к каждой из старых двух цепочек ДНК приходят новые нуклеотиды и образуется две молекулы ДНК, каждая из которых содержит по цепочке от начальной молекулы. Нуклеотиды выстраиваются по принципу комплементарности, и поэтому две новые копии

идентичны. Размах процесса репликации просто ошеломляет: каждое ядро любой нашей клетки содержит по две копии 22х хромосом и еще две половые хромосомы (всего 46). Каждая хромосома стоит из одной большой молекулы ДНК, компактно свернутой вокруг специальных белков, называемых гистонами. В целом, оценивается что во всех 46 хромосомах находится в сумме около 3 миллиардов пар оснований, или 6 миллиардов нуклеотидов. Несмотря на такой размер генома человека, процесс занимает всего несколько часов, а средняя скорость репликации ДНК составляет 50 нуклеотидов в секунду.

Но разве не опасно копировать нашу ДНК так быстро? Случайная ошибка и в ДНК встанет неправильный нуклеотид, а это уже будет означать мутацию всего гена! Если бы мы сознательно копировали нашу ДНК, мы бы перепроверяли каждое основание по несколько раз, никто же не хочет случайных мутаций? Чтобы убедиться в отсутствии ошибок, клетки тоже делают повторное чтение цепочки ДНК и при необходимости исправляют ошибки. В итоге, ошибка может встречаться лишь один раз на каждые 10-100 миллиардов нуклеотидов. При этом, учитывая то, что молекулы ДНК копируются при каждом клеточном делении, а клетки делятся на протяжении всей жизни, всего 60 случайных ошибок (мутаций) передается следующему поколению.

После того как ДНК полностью копируется, образуются две новые копии. Так происходит с каждой

хромосомой. В итоге, когда клетка делится на две новые, она передает одну копию одной клетке, а другую другой. Похожим образом происходит и образование половых клеток, которые участвуют в процессе передачи генетической информации от поколения к поколению.

Но как же организм может читать информацию зашифрованную в молекуле ДНК? Вернемся к РНК. Ранее мы говорили, что она структурно похожа на ДНК, но содержит рибозу вместо дезоксирибозы, и урацил вместо тимина. В нашем организме есть четыре основных типа РНК: матричная (информационная) - мРНК, рибосомальная - рРНК, транспортная - тРНК, и много маленьких РНК, также называемых функциональными РНК. Последние выполняют большое количество различных функций внутри клетки, например остановка процесса транскрипции или ускорение химической модификации других молекул РНК (катализ).

Генетическая информация в ДНК содержится в определенных сегментах, называемых генами, каждый из которых состоит из специфичной последовательности нуклеотидов, которые кодируют тот или иной белок. Да, да, именно так: все наши гены это просто последовательности нуклеотидов, которые кодируют синтез того или иного белка. При этом, по большей части ДНК хранится в свернутом виде, однако, в разных частях организма развернуты разные части ДНК, будто бы

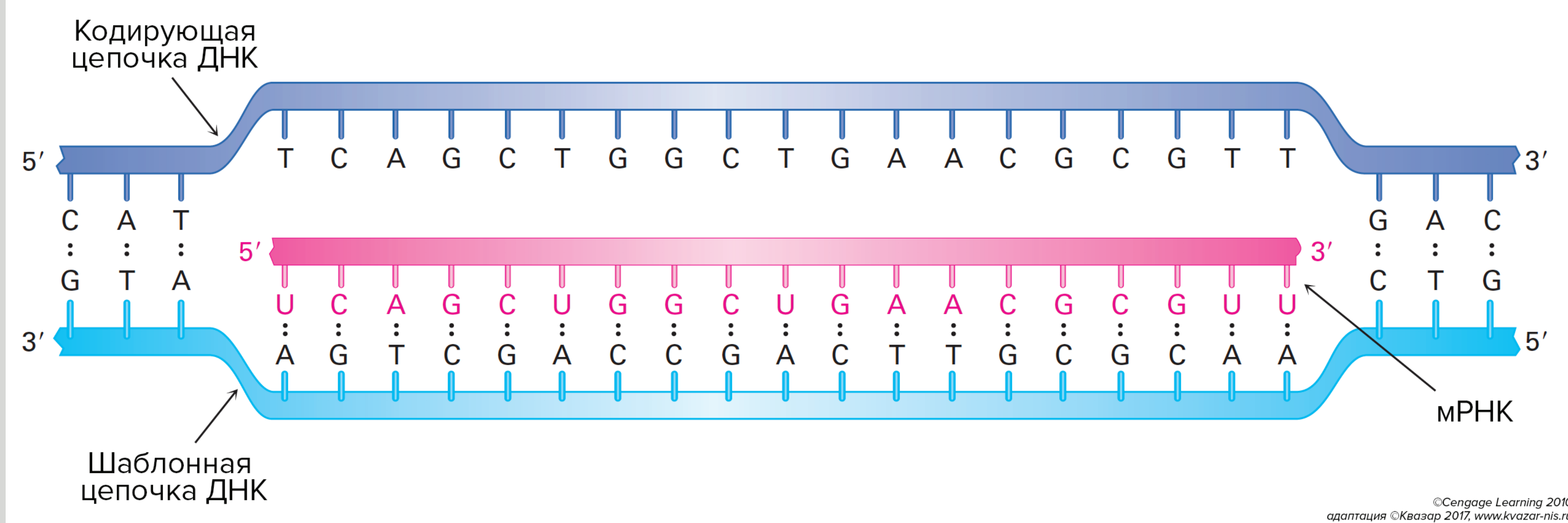
открыты разные страницы одной книги. Именно поэтому, клетки мозга, клетки крови, мышцы, железы обладают одной ДНК но такими разными функциями, которые определяются теми или иными белками в их составе.

Но как же происходит синтез белка? Во-первых, представим что есть определенная последовательность ДНК на цепочке №1, а цепочка ей комплементарная пусть будет №2. Во время транскрипции приходит специальный фермент и опять разворачивает небольшой участок молекулы ДНК. При этом, вместо того, чтобы позволять нуклеотидам присоединяться к обоим цепочкам, фермент удерживает первую (ее еще называют кодирующей), а рибонуклеотиды (именно те, которые входят в состав РНК) присоединяются ко второй цепочке (ее еще называют шаблонной), образуя матричную РНК, которая комплементарна цепочке №2, которая в свою очередь комплементарна цепочке №1. *Надеюсь вы еще не запутались.* В итоге, мРНК идентична кодирующей цепочке №1, за исключением лишь того, что вместо тимина везде находится урацил.

Очень часто в природе встречается следующая картина: последовательности ДНК, которые несут какой либо смысл (гены) начинаются в одном месте (называемом экзоном), но периодически прерываются бессмысленными вставками (в том плане, что они не кодируют белок) называемыми



Справа здоровая красная кровяная клетка (эритроцит), Слева эритроцит пациента больного серповидноклеточной анемией. Серповидноклеточная анемия вызвана “точечной” мутацией в гене, который кодирует молекулы инсулина. В частности, замена аденина на гуанин в шестом кодоне бета цепи инсулина приводит к тому, что вместо гидрофильной аминокислоты (глутаминовой кислоты) в белок встраивается гидрофобная аминокислота валин

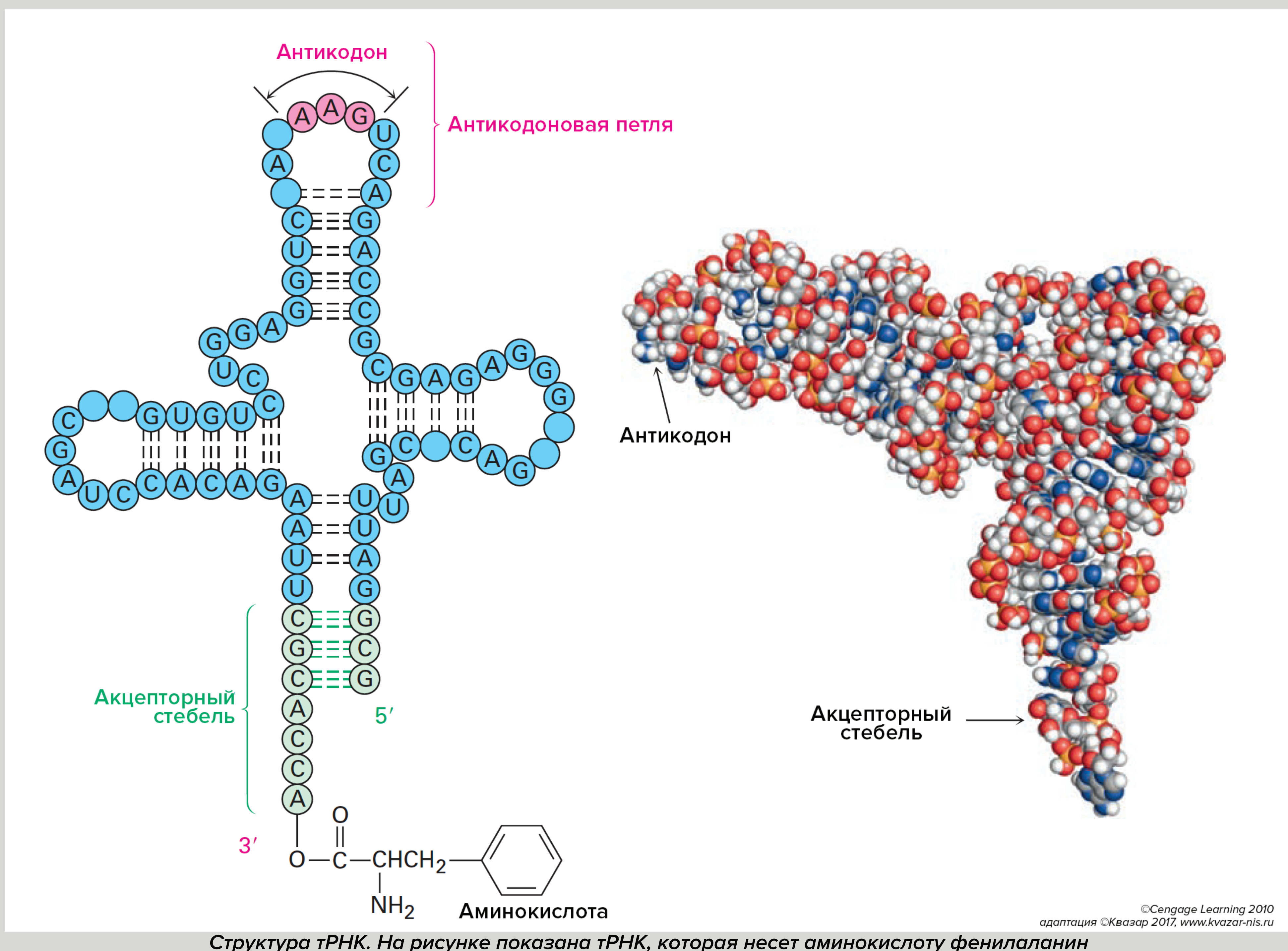


Процесс транскрипции. мРНК является копией кодирующей цепочки ДНК, но вместо тимина везде урацил

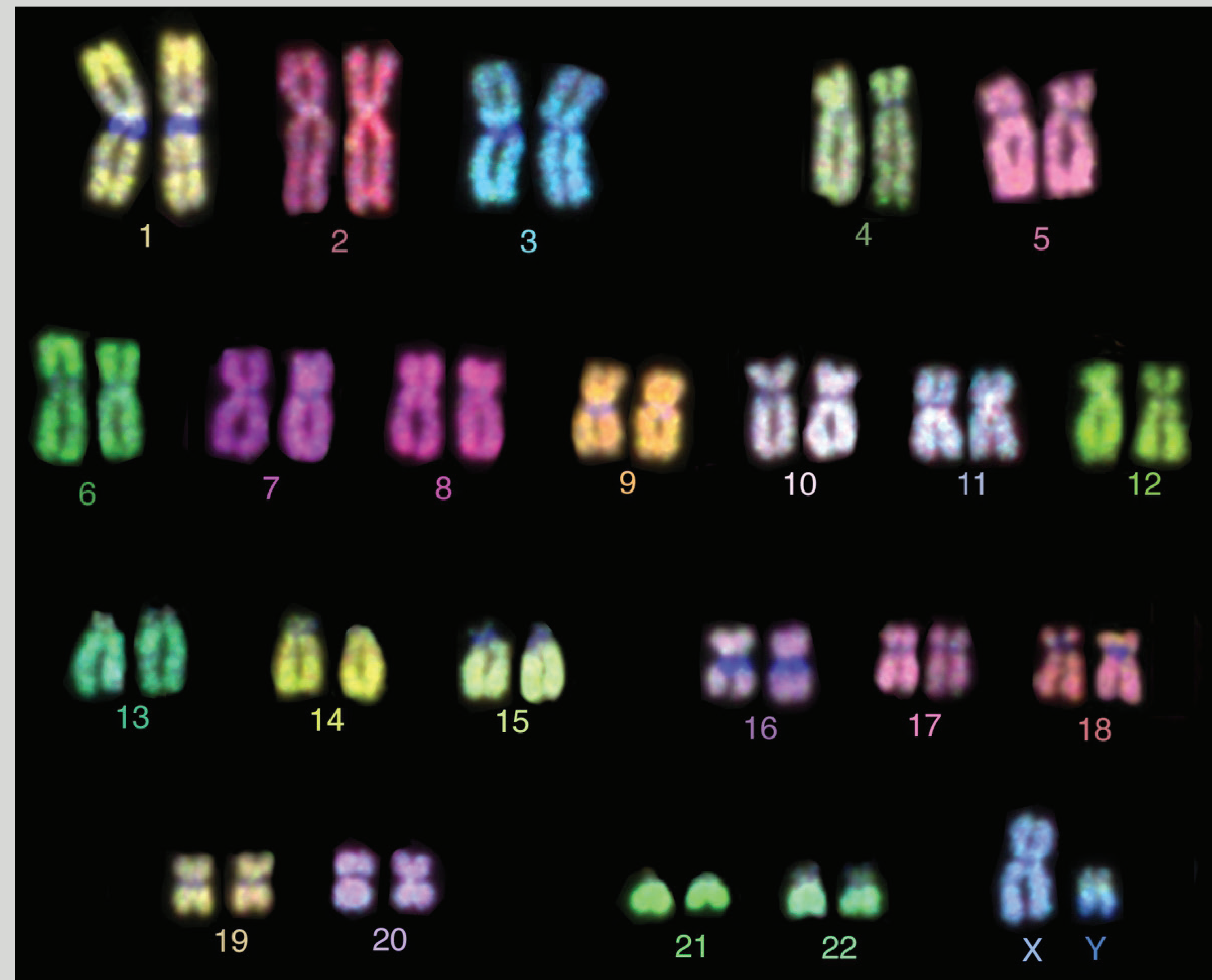
интронами. Финальная мРНК появляется только тогда, когда эти интроны вырезаются специальными ферментами, которые называются сплицеосомами. *Да, пожалуй к этому моменту вы уже убедились в том, что биологи любят придумывать разные термины.* Например, гены кукурузы, которые кодируют фермент триозофосфатизомеразу (отвечает за очень важную стадию в процессе метаболизма углеводов) содержат 8 некодирующих интронов, которые занимают примерно 70% от всей последовательности, и 9 кодирующих экзонов, которые занимают оставшиеся 30%.

Ну вот у нас есть мРНК, которая содержит кодиру-

ющую последовательность, но что дальше? мРНК приходит в рибосому (специальную станцию клетки для биосинтеза белка) и там встречается с другими ферментами, в том числе с разными тРНК. Каждые три нуклеотида в мРНК кодируют ту или иную аминокислоту. Например AAA кодирует аминокислоту лизин, а UGC кодирует цистеин. Но почему природа выбрала именно три нуклеотида, не больше и не меньше? Дело в том, что существует лишь 16 разных последовательностей из двух нуклеотидов (при выборе из А,Т,Г,С), а аминокислот как мы помним 20. Если добавить всего один нуклеотид, количество вариантов возрастает до



Структура тРНК. На рисунке показана тРНК, которая несет аминокислоту фенилаланин

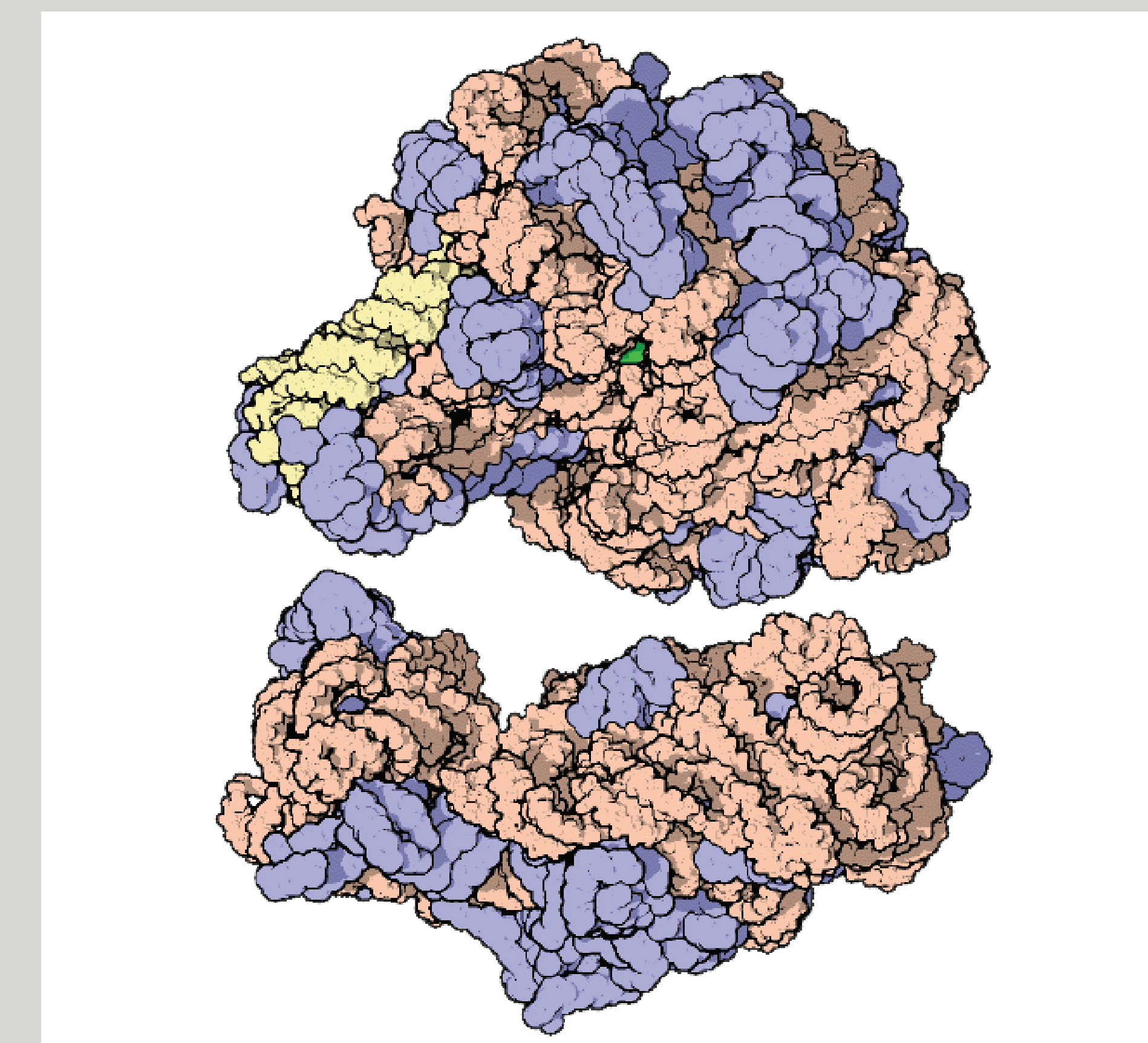


Фотографии всех хромосом человека. По парам расположены 22 аутосомных хромосомы, а в левом нижнем краю располагаются половые хромосомы X и Y. Y хромосома есть только у мужчин. В женском организме две X хромосомы.

64, но теперь одна и та же аминокислота может кодироваться разными последовательностями ДНК. Возвращаясь к кодированию аминокислот: замени хоть один нуклеотид - и ты получишь другую аминокислоту. А вдруг она играла критичную роль? Без нее организм уже становится мутантом.

Что мы имеем в итоге? ДНК состоит из последовательностей нуклеотидов. Гены - последовательность нуклеотидов. Три таких нуклеотида называют кодоном и они являются такой буквой в молекулярном мире. Каждая буква кодирует какую-либо аминокислоту. Но что же значит кодируют? Дело в том, что существует 61 тРНК, у которых есть участки комплементарные кодам, а каждая из этих тРНК несет на другом конце одну аминокислоту. В процессе биосинтеза белков, тРНК присоединяется к комплементарным участкам на мРНК, а ферменты соединяют аминокислоты, которые они несут с другой стороны. Но мы сказали что существует 64 кодона, а тРНК вроде как всего 61, где остальные 3? Остальные 3 тРНК останавливают процесс биосинтеза белка, т.е. в

конце любой генетической последовательности есть кодон который говорит организму остановиться. Вот такой вот сложный механизм обеспечивает всю нашу генетическую разнообразность.



Нет, это не какие то тряпки. Это схематическое изображение рибосомы - специальной станции клетки, на которой происходит биосинтез белка.



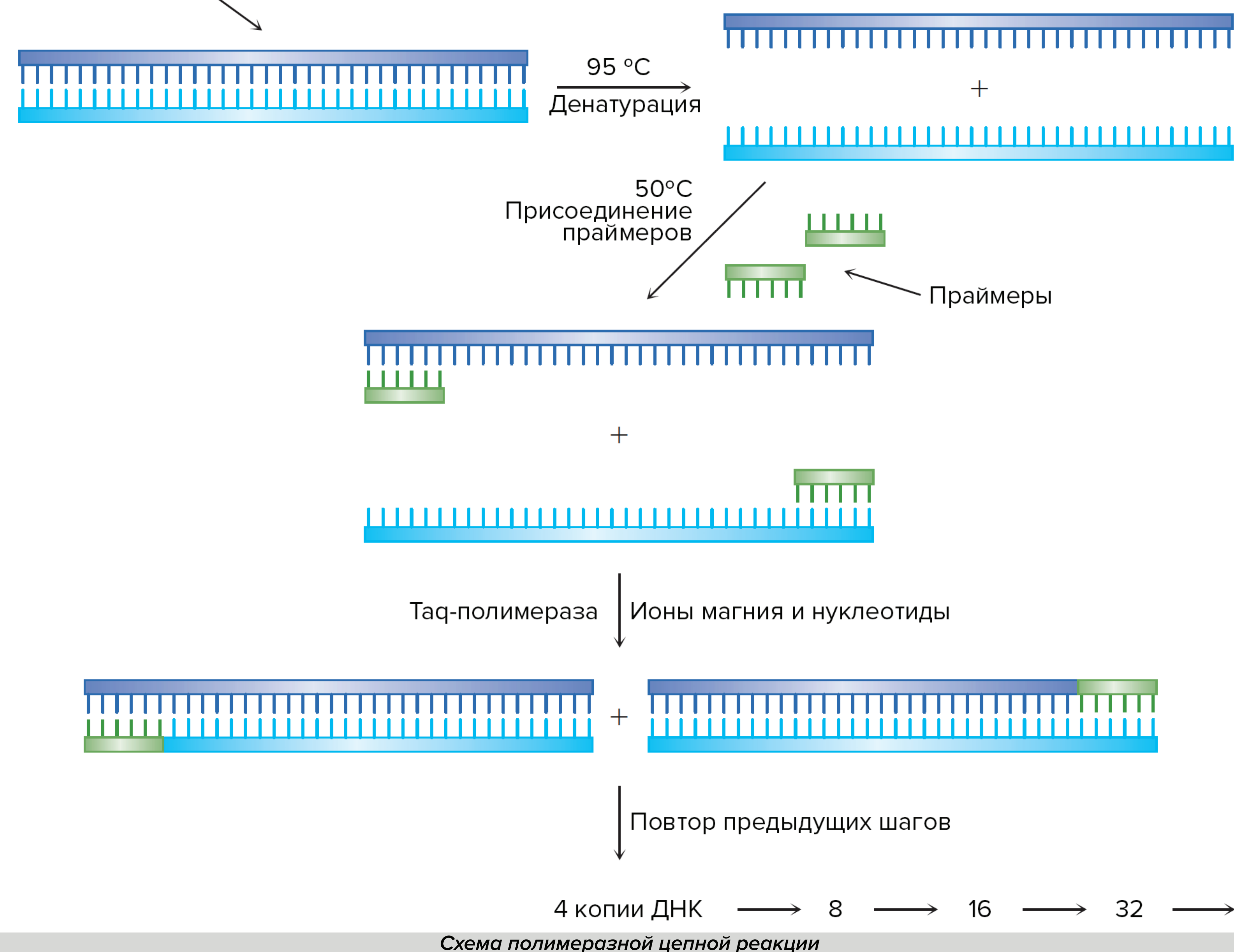
Фотография с выдержкой после двухчасовой съемки во время наивысшей активности метеорного потока Персеидов.
Озеро Свитязь, Украина. 12 августа 2016
Nikon D600 + Nikkor 17-35/2.8D @ 17mm, f/4, 20s, ISO 6400
Автор: Игорь Хомич



У вас есть
право хранить
молчание!
научка выведет вас на чистую воду!

Зачастую так случается, что только микроскопические количества ДНК могут быть получены напрямую, как например на месте преступления. В связи с этим, для проведения анализов необходимы методы, которые бы позволяли получать большие количества ДНК из малых. Изобретение полимеразной цепной реакции (ПЦР) в 1983 году Кэри Мюллисом многие сравнивают с изобретением печатного станка Гутенбергом смотря на то, какие радикальные изменения в нашем мире оно повлекло за собой. Так же как печатная машинка создает многочисленные копии книг, ПЦР производит многочисленные копии определенной последовательности ДНК. Начиная с одного пикограмма образца (в тысячу триллионных раз меньше грамма, около 10000 молекул), ПЦР позволяет получить около ми-

Целевая молекула ДНК

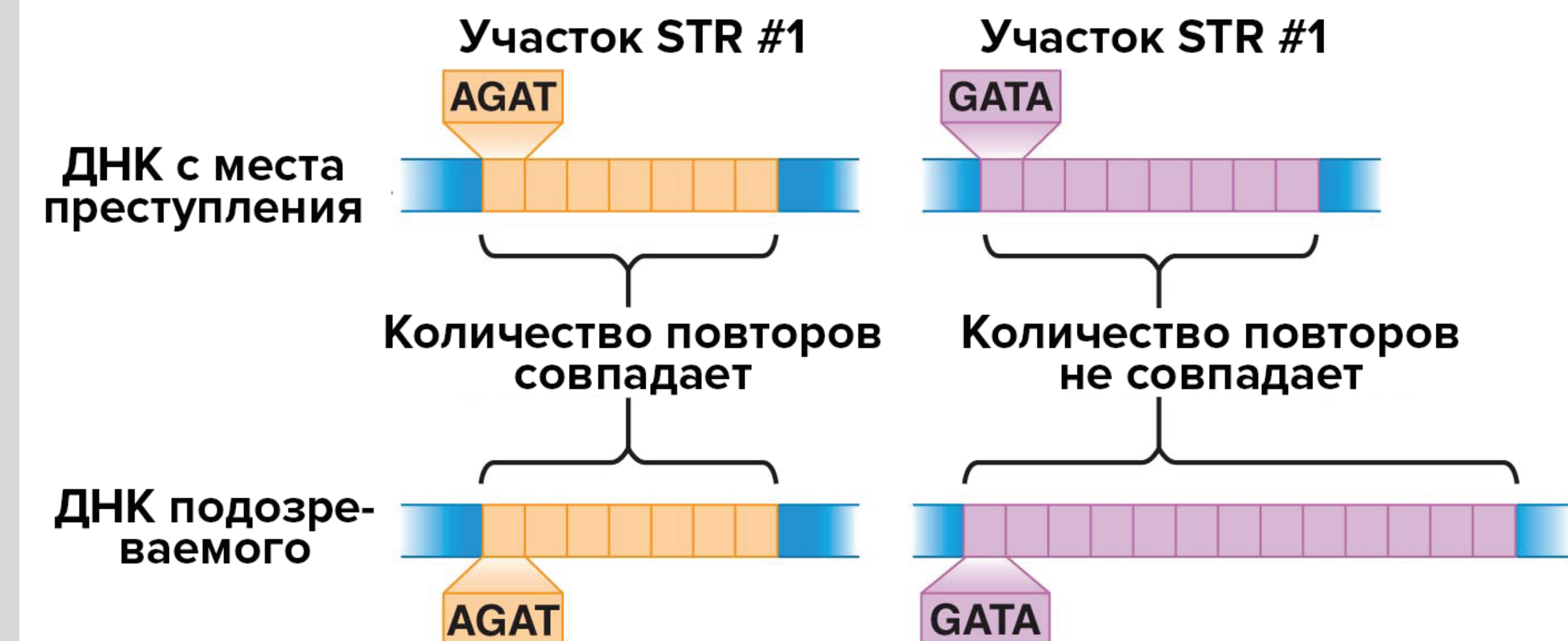


программа ДНК (в миллион раз меньше грамма, около 100 триллионов молекул) всего за пару часов.

По своей сути, ПЦР - это искусственная репликация молекулы ДНК. Как это происходит? Образец нагревается, происходит денатурация молекулы ДНК и двойная спираль разрушается. При небольшом охлаждении добавляются специальные праймеры - маленькие образцы ДНК длиной в 20-30 нуклеотидов, которые комплементарны конечным частям ДНК и необходимы для дальнейшего этапа. При температуре в 50 градусов Цельсия праймеры способны присоединиться к молекулам ДНК, но сама ДНК еще остается развязанной. В этот момент добавляется фермент Taq-полимераза, который получают из бактерии *Thermus aquaticus* живущей в горячих источниках Йеллоустонского национального парка. Благодаря тому, что бактерия приспособлена к жизни при высоких температурах, её белки и ферменты обладают повышенной устойчивостью к температурам и не денатурируют при 50 градусах. Taq-полимераза способна взять одну нить ДНК, к которой уже присоединен небольшой праймер, и достроить всю

вторую нить до конца. Весь процесс протекает в трех стадиях, как показано на рисунке. В последнее время, становятся доступными улучшенные термостойкие полимеразы, как например Vent или Pfu, оба из которых изолируются из бактерий живущих рядом с геотермальными источниками на дне океана. Оба этих фермента гораздо более аккуратные по сравнению с Taq. Сейчас ПЦР автоматизирована и около 30 циклов повторений трех предыдущих шагов может быть проведено в течение часа, теоретически выдавая увеличение количества молекул ДНК в 2^{30} раз, что примерно в триллион раз больше чем было изначально. На практике, к сожалению, эффективность каждого цикла чуть меньше 100% и экспериментальное увеличение количества молекул достигает миллиона или ста миллионов.

Многие из вас наверняка видели фильмы или сериалы, в которых преступников определяют по "отпечаткам" ДНК. И не только преступников, с помощью ДНК так же проводят тест на отцовство. Все эти тесты основаны на том, что ДНК содержит особые не кодирующие участки ДНК, которые повторяются определенное количество раз. Эти



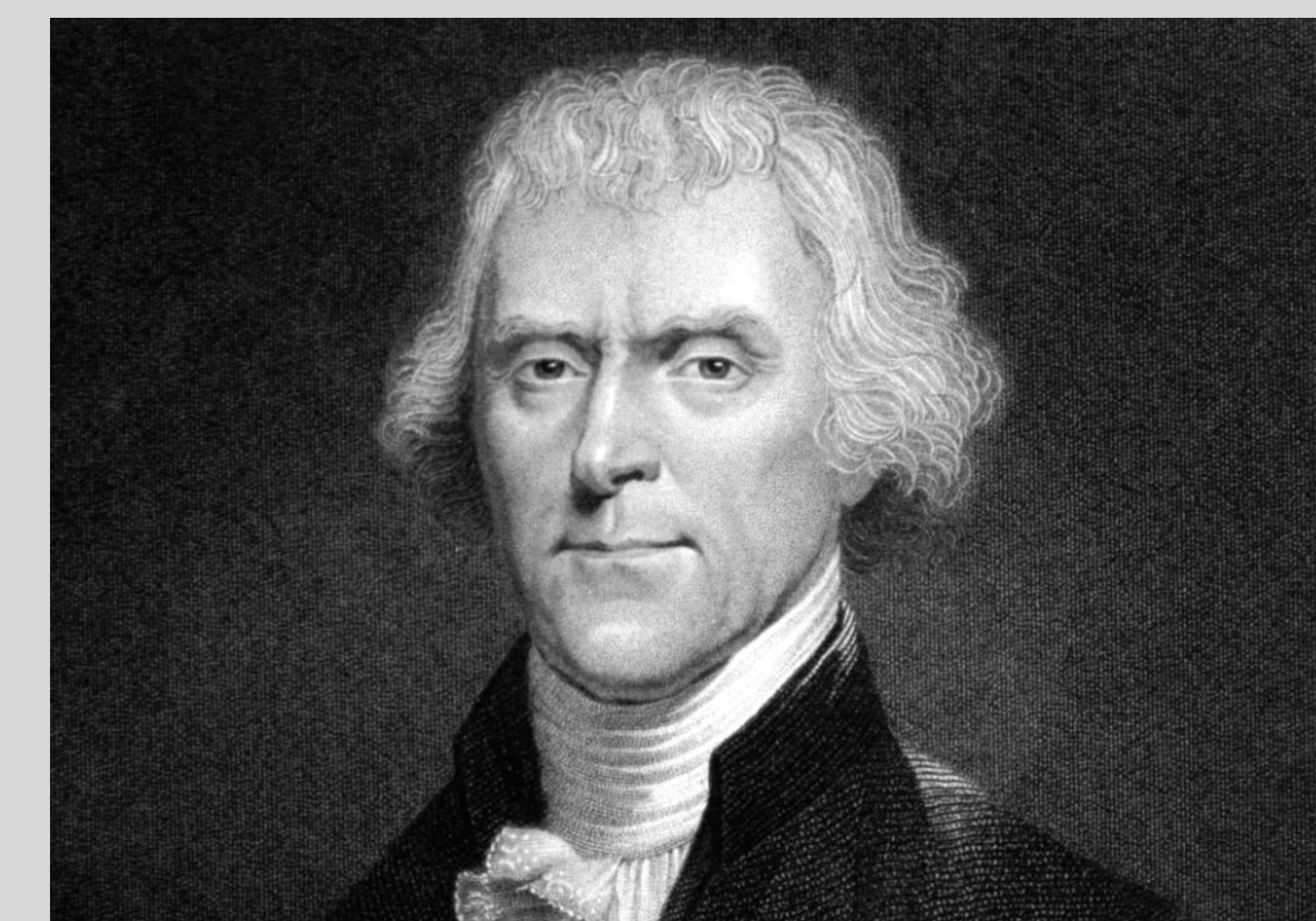
Пример сопоставления ДНК подозреваемого и образца взятого с места преступления. В данном случае, подозреваемый невиновен. В реальной практике, сравнение идет по 13 участкам STR

участки называются короткие тандемы повторы (STR). Более того, у каждого человека (за исключением близнецов) эти участки разные, поэтому их можно использовать для идентификации того или иного человека.

Судебно-медицинские лаборатории в США договорились использовать 13 участков STR для идентификации индивидуумов при расследовании преступлений. Была также создана единая база данных, содержащая последовательности разных людей в этих тандемных повторах. Когда образец ДНК обнаруживается на месте преступления, его подвергают реакции со специальными ферментами, которые вырезают STR участки. В дальнейшем, эти фрагменты увеличиваются в количестве с помощью ПЦР, и потом уже подвергаются анализу с целью расшифровки последовательности нуклеотидов и частоты их повторений.

Если последовательность в этих тандемных повторах ДНК для определенного человека из базы данных совпадает с той, которая была найдена на месте преступления, то с вероятностью в 82 миллиарда к одному можно утверждать, что ДНК принадлежит одному и тому же человеку. В тестах на отцовство, когда ДНК отца и ребенка похожи, но не идентичны, вероятность отцовства может быть определена с вероятностью ста тысяч к 1. Анализируя Y хромосому у мужских особей семьи, можно определить отцовство даже спустя несколько поколений. На Западе довольно таки знаменит один пример подтверждающий это утверждение. Однажды распространился слух, что у третьего президента США Томаса Джефферсона были любовные связи со своей рабыней Салли Хемингс. Никто не знал наверняка было ли это правдой до тех пор, пока не провели анализ ДНК. И хоть у

Джефферсона не было прямых потомков по мужской линии, Y хромосома потомков брата его отца почти совпадала с той, которую обнаружили у одного из 8 детей Салли - Эстона Хемингса. И хоть "смешивание" геномов однозначно, мужчина который ответственен за это не может быть определен с абсолютной точностью.



Томас Джефферсон - 3й президент США, один из авторов декларации независимости

Помимо всего прочего, анализ отпечатков ДНК широко используется для диагностики и обнаружения генетических заболеваний, как внутриутробно так и в новорожденных. Кислотный фиброз, гемофилия, болезнь Хантингтона, болезнь Тея Сакса, серповидноклеточная анемия, талассемия - и это еще не полный список всех тех болезней, которые могут быть диагностированы в самом раннем времени, позволяя применять своевременные методики лечения. Более того, изучая отпечатки ДНК людей с той или иной болезнью, можно постепенно найти закономерности связанные с её возникновением, и возможно найти ключ к её лечению.



Меркурий в утренней элонгации
Львов, Украина. 30 сентября 2016
Nikon D600 + Nikkor 80-200/2.8D @ 200mm (crop), f/4, 2.5s, ISO 1250
Автор: Игорь Хомич
P.S. Элонгация — одна из конфигураций планет, положение планеты, при котором её угловое расстояние от Солнца максимально (для земного наблюдателя)

БОМБАНУЛО!

А не врешь ли ты, Ким?

ВНИМАНИЕ!

Эта статья была написана до событий 3 сентября 2017 года, когда Северная Корея сообщила об успешном испытании водородной бомбы. Неизвестно, является ли эта информация правдивой или нет, однако, данная статья является полезной с точки зрения геофизических особенностей атомных бомб и средств регистрации ядерных испытаний.

Существует лишь несколько вещей, которые являются более ужасающими для человечества, чем надвигающаяся вероятность ядерной войны. Сейчас, у многих государств уже есть бомбы. У кого-то это всего лишь “простая” ядерная бомба, основанная на цепной реакции деления тяжелых ядер, а кто-то постиг науку гораздо более страшных устройств - термоядерных бомб, которые основаны на реакции термоядерного синтеза. В любом случае, не каждая страна открыто говорит, что у них есть на самом деле. Кто-то тестирует ядерные бомбы и при этом отрицает это, а кто-то утверждает, что у них есть ядерное оружие, когда у них даже нет возможности создать его. Но благодаря глубокому пониманию нау-



На фотографии запечатлено облако взрыва после сброса атомной бомбы на Нагасаки в 1945 году. Это был один из самых первых ядерных взрывов в этом мире. Спустя десятилетия “мира”, Северная Корея испытывает ядерное оружие
Image credit: Hiromichi Matsuda

ки, планеты Земля и тому как ударные волны распространяются по разным средам на ней, нам не нужны честные правители для того, чтобы узнать правду.



Фотография Ким Чен Ына, сделанная всего за пару недель до последнего ядерного испытания. На фотографии лидер нации находится на ферме сомов
Image credit: KNS/AFP/Getty Images

В Январе 2016 года, правительство Северной Кореи заявило о том, что они взорвали водородную бомбу, обещая использовать её против врагов в случае угрозы государственной безопасности. Тогда все мировые СМИ показывали фотографии ядерного гриба во время своих репортажей, несмотря на то, что в наше время, при ядерных испытаниях таких грибов уже не образуется. Фотографии скорее всего были взяты из архивов. Радиация от ядерного гриба распространяется по всей атмосфере, а это является прямым нарушением договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, который был принят генеральной ассамблеей ООН в 1996 году. Поэтому, когда государства хотят провести тестирования ядерного оружия, они это делают там, где никто не увидит - глубоко под землей.

В принципе, вы можете взорвать бомбу там, где вам угодно - в воздухе, под водой, или под землей.

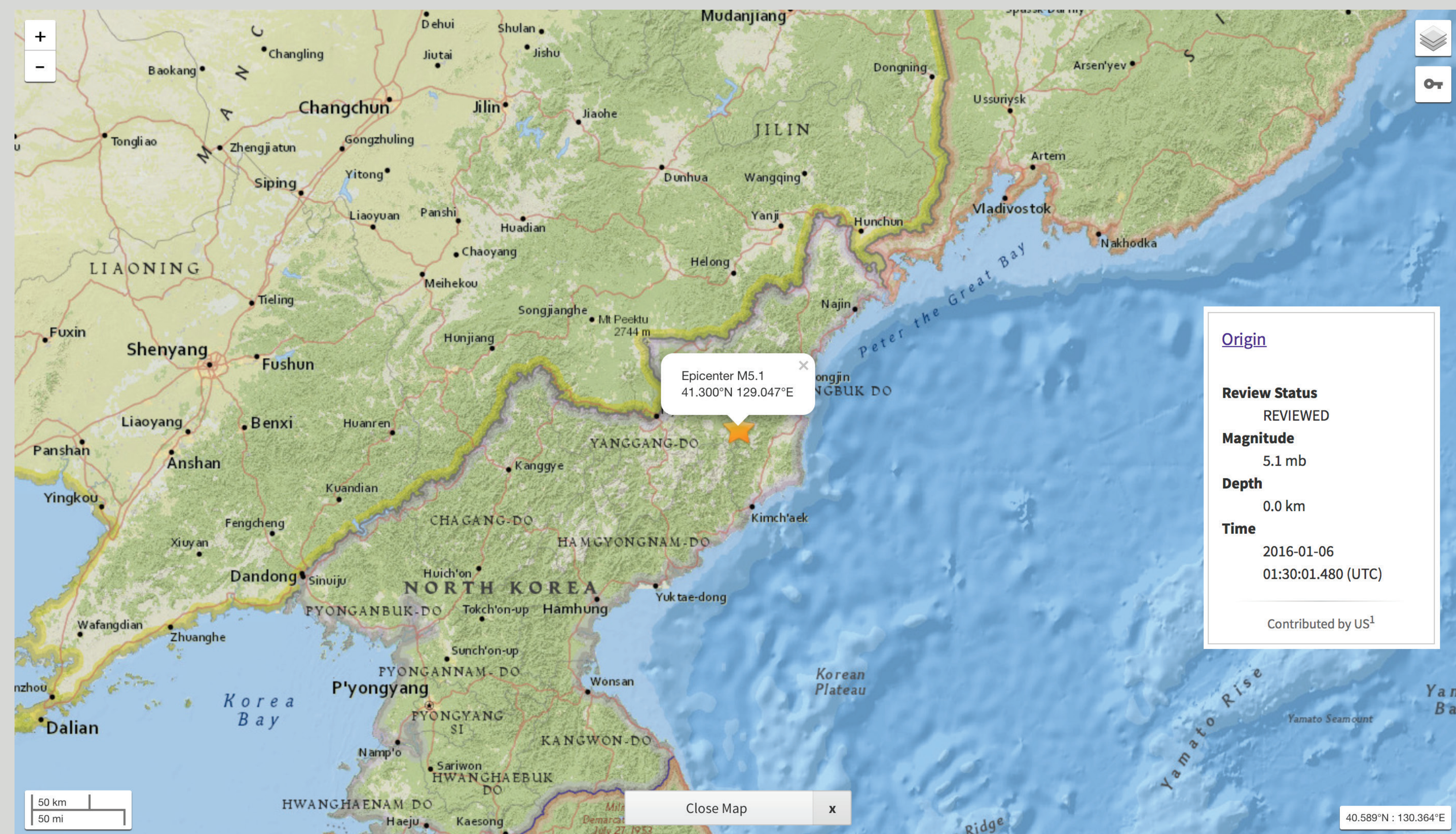


В репортажах об испытании на Южно-Корейских телеканалах хоть и ужасный сюжет, но фактически не точный. Кадрам ядерных грибов уже десятки лет и они не имеют никакого отношения к реальной жизни
Image credit: Yao Qilin/Xinhua Press/Corbis

Во всех трех случаях, ваши действия могут быть обнаружены, хотя и энергия взрыва может быть заглушена той средой, в которой она образовалась.

Воздух, являясь наименее плотной средой, глушит взрыв хуже всего. Гроза, извержение вулкана, запуск ракеты и ядерный взрыв - не только создают громкий звук, к которому наши уши чувствительны, но и еще инфразвуковые волны, которые обладают достаточной энергией для того, чтобы их зафиксировали датчики по всему миру.

Водная среда плотнее. И хоть звуковые волны путешествуют в более плотной среде быстрее, они также сильнее рассеиваются по мере отдаления от источника. Но если ядерную бомбу взорвали



Благодаря чувствительности детекторов, глубина, сила и местонахождение эпицентра ядерных испытаний 6 января 2016 года могут быть определены с высокой точностью. Image credit: United States Geological Survey, via <http://earthquake.usgs.gov/>



Международная система по наблюдению за незаконными ядерными испытаниями. На карте показано 5 основных типов сейсмических станций и местонахождение каждой из них. Всего на данный момент работает 337 станций
Image credit: CTBTO

под водой, энергия взрыва настолько велика, что настолько большое количество ударных волн, что гидроакустические детекторы, установленные многими державами по всему миру, тут же регистрируют их. К тому же, не существует какого-то водного явления, с которым можно было бы спутать ядерный взрыв.

Именно поэтому, если государство хочет спрятать от чужих глаз свое ядерное испытание, им нужно идти под землю. И хоть сейсмические волны, созданные во время ядерного взрыва являются очень сильными, природа может создавать еще более сильные волны во время землетрясений. Единственный способ различить их - это произвести триангуляцию точного местоположения эпицентра. Землетрясения очень, очень редко возникают на глубине менее 100 метров, тогда как ядерные



The 1961 Tsar Bomba explosion was the largest nuclear detonation ever to take place on Earth, and is perhaps the most famous example of a fusion weapon ever created. Взрыв Царь Бомбы в 1961 году по сей день являются самым мощным ядерным взрывом в истории и пожалуй самым знаменитым примером термоядерного оружия. Image credit: Andy Zeigert / flickr

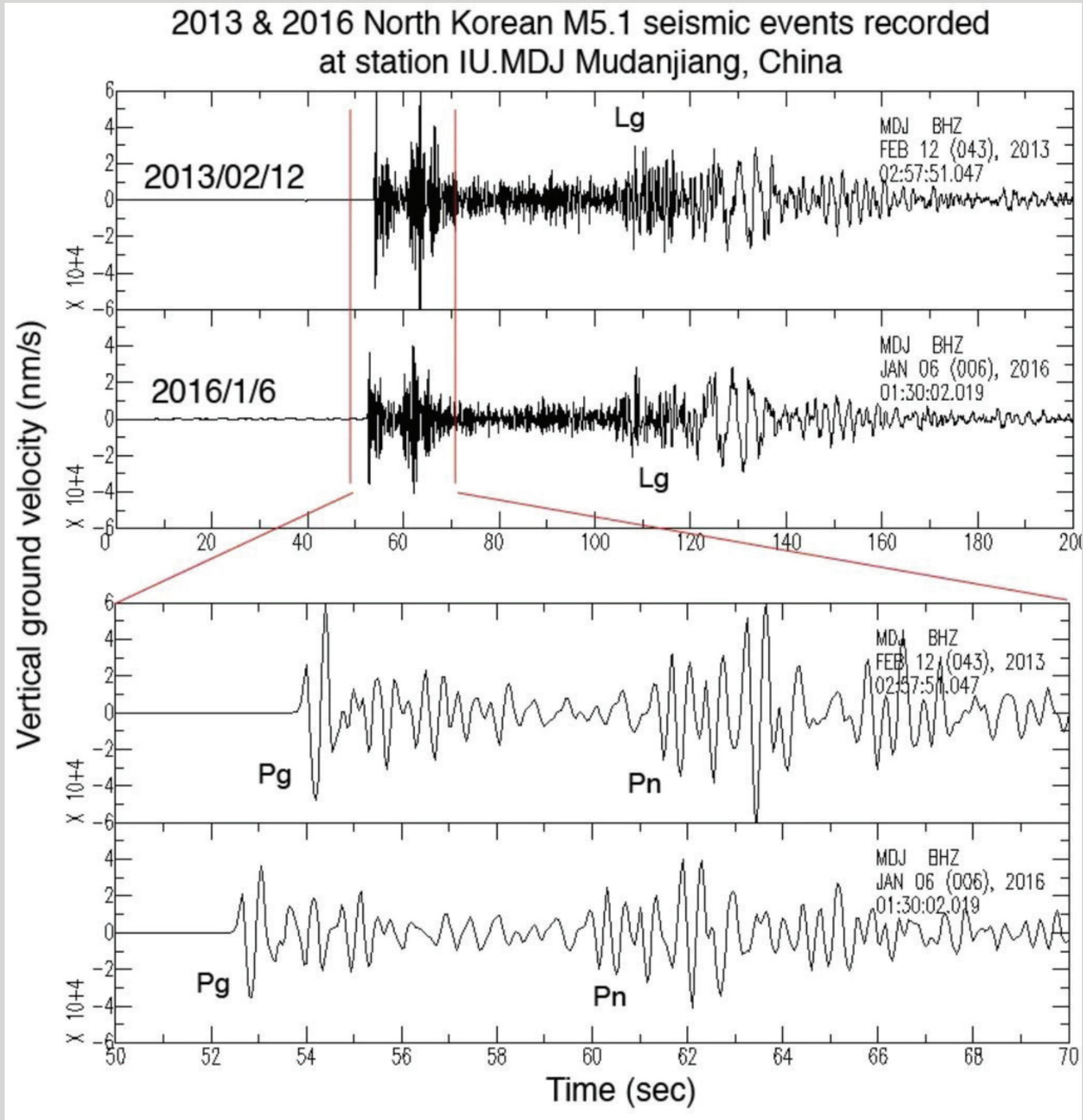
испытания (до сих пор) всегда проводились на не-
большой глубине.

На данный момент, страны, которые подписали договор о запрещении ядерных испытаний установили сейсмические станции по всему миру, чтобы в случае чего сразу же зарегистрировать любое ядерное испытание. Именно эти датчики позволяют нам делать какие то умозаключения касательно силы взрыва и точных значений всех трех координат эпицентра взрыва. Сейсмическое “событие” в Северной Корее 2016 года было зафиксировано действующими 337 активными станциями, которые зарегистрированы по всему миру и чувствительны к таким сигналам. Согласно данным геологической службы США, событие произошедшее на Северно-Корейском полуострове 6 января 2016 года было эквивалентно землетрясению величиной в 5.1 балл на глубине 0.0 километров. Основываясь на силе “землетрясения” мы можем прийти к выводу, что мощность взрыва была эквивалентна 10 килотоннам тротила, а анализируя сейсмические волны, мы можем определить было ли это ядерное испытание или нет.

Вкратце, существуют S-волны и P-волны, где S - означает вторичная или волна сдвига, а P - первичная или волна сжатия. Известно, что землетрясения создают гораздо более сильные S-волны нежели P-волны, тогда как ядерные испытания генерируют усиленные P - волны. Таким образом, анализируя относительную амплитуду двух типов волн, можно однозначно определить природу со-

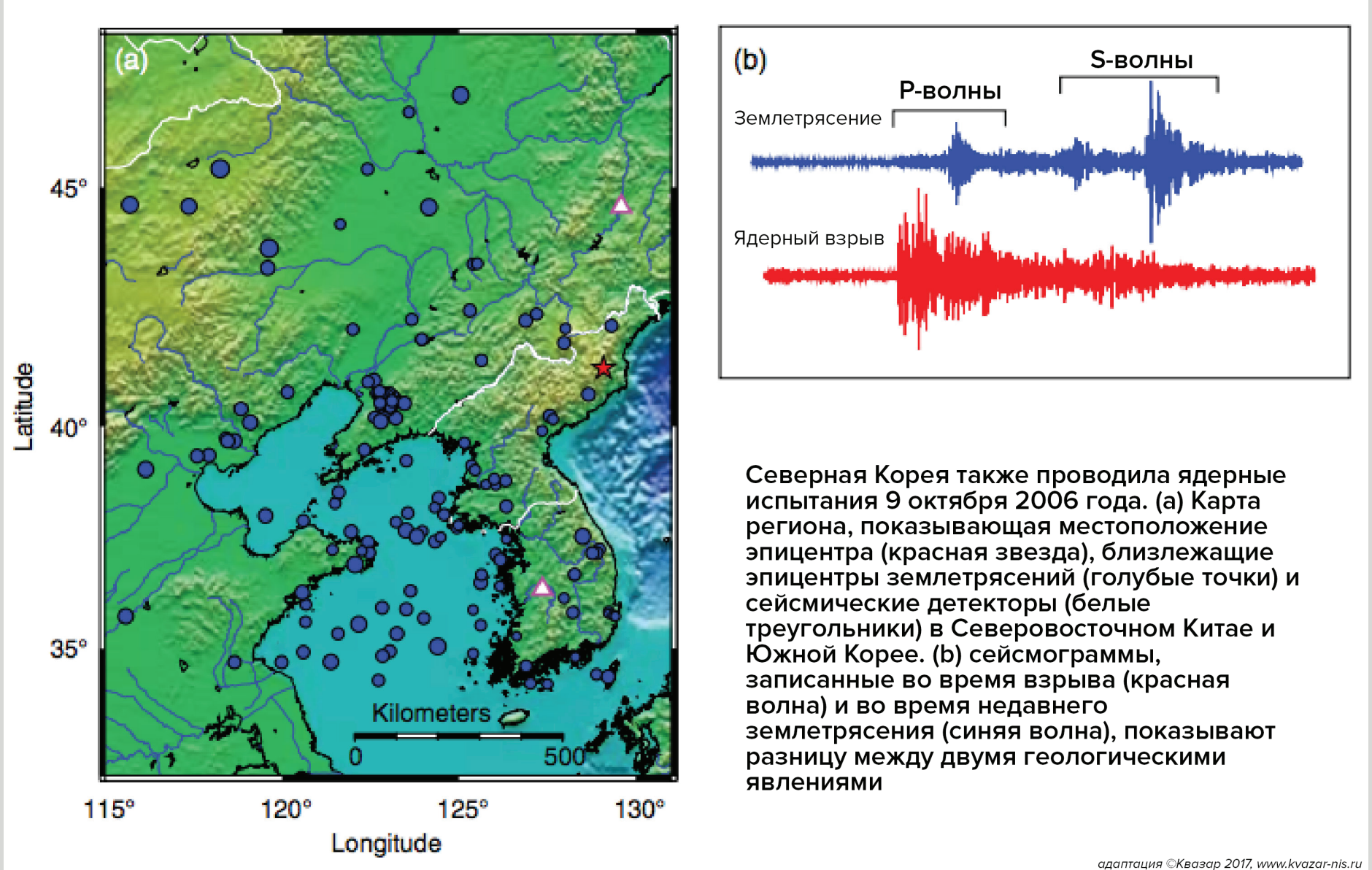
бытия.

Сейчас Северная Корея заявила, что это было испытание водородной бомбы, которая гораздо, гораздо смертельней атомной бомбы. В то время как энергия взрыва атомных бомб, содержащих уран или плутоний, обычно находится в диапазоне 2-50 килотонн тротила, водородная бомба может создать взрыв мощностью в тысячи раз выше. Рекорд по мощности взрыва до сих пор удержи-



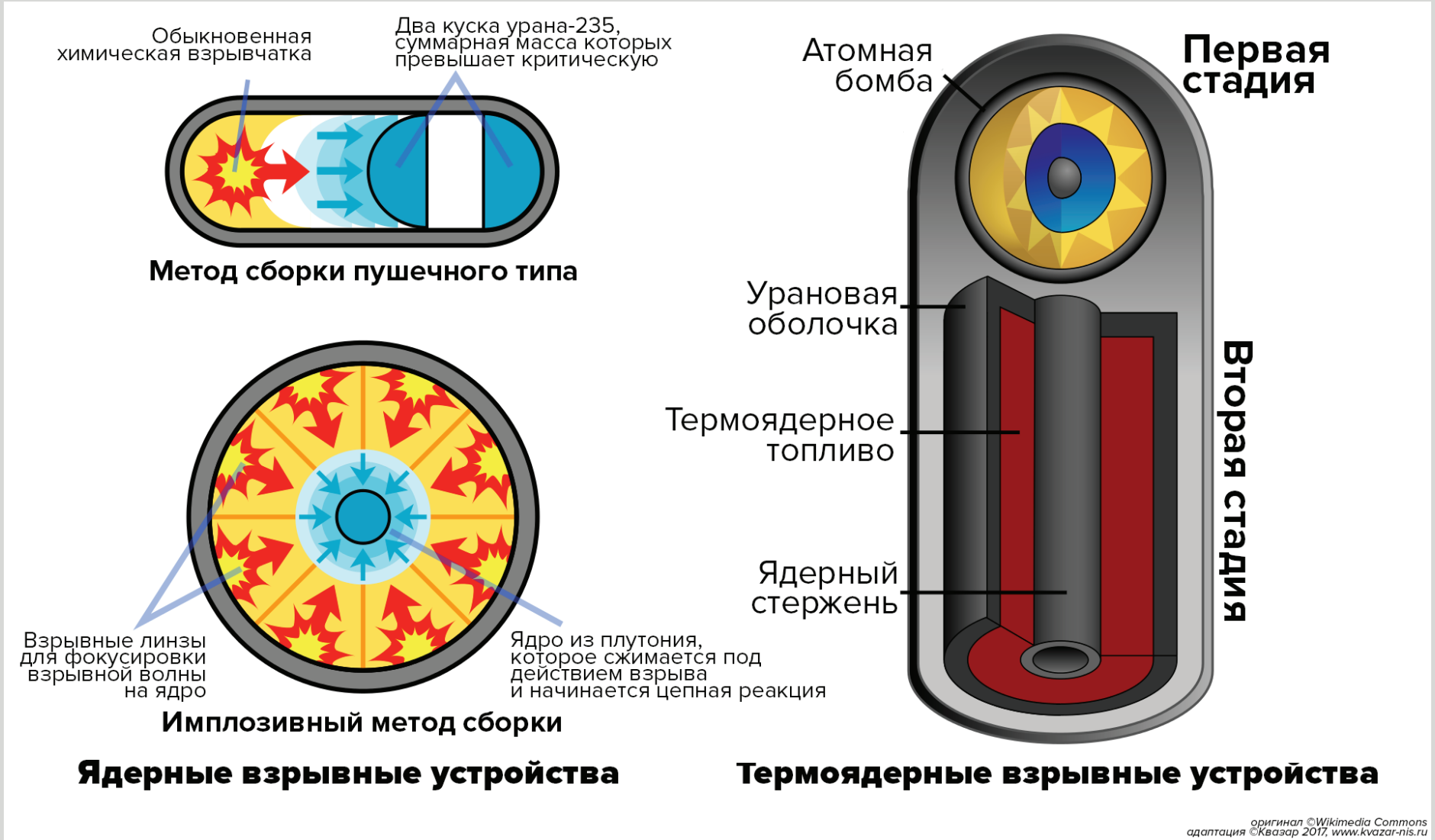
Сходство между предыдущим ядерным испытанием Северной Кореи (12 февраля 2013) и подозреваемым испытанием в 2016 году просто колоссальное.

вается за “Царь бомбой”, взорванной в 1961 году в СССР и обладавшей мощностью в 50 мегатонн тротила.



На примере испытаний 2006 года показывается разница в сейсмологических волнах двух явлений. Image credit: Sleuthing Seismic Signals; Science and Technology Review, March 2009

Анализ сейсмических волн указывает на то, что событие не было обычным землетрясением. Да, никто не спорит, что Северная Корея испытала атомную бомбу. Но была ли это ядерная бомба или термоядерная? Между ними существуют серьезные отличия.



Сравнение двух видов ядерного оружия

Ядерные взрывные устройства (атомные бомбы) берут крайне тяжелый элемент с большим количеством протонов и нейтронов, например определенные изотопы урана или плутония, и просто бомбардируют его нейтронами, надеясь, что какая-то часть нейтронов будет захвачена ядром. Когда происходит захват, ядро превращается в новый, нестабильный изотоп, который тут же распадается на меньшие ядра, испуская энергию и дополнительные свободные нейтроны, тем самым начиная цепную реакцию. Если установка создана правильно, ужасающее количество атомов может претерпеть такие превращения, трансформируя сотни миллиграммов или даже граммы материи в чистую энергию по уравнению Эйнштейна $E=mc^2$. Вам может показаться что один грамм это ничтожно малое количество, однако этот целый грамм, полностью превратившийся в энергию, сопоставим с 21.5 килотонн тротила.

Термоядерные взрывные устройства (водородные бомбы) берут легкие элементы, например водород, и под воздействием громадной энергии, температуры и давления заставляют эти элементы соединиться в более тяжелый элемент, такой как гелий, выделяя еще большее количество энергии. По сути, в термоядерной бомбе происходит тот же самый процесс, что и в ядре нашего Солнца, где на секундоочку температура достигает 15 миллионов градусов Цельсия. Такие температуры и давления настолько высоки, что единственный путь, которым мы можем достичь их в водородной бомбе, это путем создания атомной бомбы вокруг водородной бомбы. Только взрыв атомной бомбы может запустить реакцию термоядерного синтеза. В итоге, целые килограммы материи могут быть превращены в чистую материю по тому же самому уравнению.

Учитывая мощность взрыва, Северно-Корейские испытания никак не могли проводиться с водородной бомбой. В обратном же случае, это была бы водородная бомба с самым низким запасом энергии и с самой высокой эффективностью термоядерного синтеза, и при том еще созданной так, что даже теоретики не смогли бы объяснить ее существование. С другой стороны, существует достаточно доказательств того, что это была обычная атомная бомба. Например, сейсмические графики, опубликованные сейсмологом из Калифорнийского университета в Санта-Крузе Александром Хутко, на которых четко видна схожесть между взрывом 2016 года и ядерными испытаниями Северной Кореи 2013 года.

К чему ведет вся эта информация? Северная Корея испытывала именно атомную бомбу, без никаких намеков на термоядерные технологии. Не важно, было ли это потому, что термоядерный этап был запланирован, но провалился или потому, что информация о тестировании водородной бомбы была запланирована как элементарный инструмент запугивания, важно то, что Северная Корея испытывает ядерное оружие в нарушение всех международных законов. Но есть и лучик надежды, ведь силой науки и сейсмических датчиков мы можем понять, что никакого термоядерного синтеза Северная Корея произвести не в состоянии со своими технологиями из 1940 годов. В самом-то деле, термоядерная бомба - это самая ужасная вещь, когда либо созданная человеком. А что же касается заявлений Северной Кореи, можно сказать одно - даже когда мировые лидеры врут, наша Планета укажет нам правду.

Все права на публикацию статьи “Science Knows If A Nation Is Testing Nuclear Bombs” принадлежат компании “Forbes” и непосредственно ее оригинальному автору Ethan Siegel. Переведено с разрешения первоисточника.



Венера (справа), Марс и яркая звезда Фомальгаут (слева) во время вечерних сумерек. Марс находится на фоне созвездия Козерог, которое отчетливо видно на фото.
Карпаты, Украина. 22 ноября 2016
Nikon D600 + Nikkor 17-35/2.8D @ 17mm, f/4, 4x10s, ISO 3200
Автор: Игорь Хомич

Нейтронные звезды

они умерли дважды... ради того,
чтоб ты в нашем мире было золото

*«Не ищи прибыли от мира и не теряй свою душу;
Мудрость лучше, чем серебро и золото»
Боб Марли*

На протяжении всей человеческой истории не существовало более привлекательного элемента для людей, чем золото. Этот драгоценный металл многими воспринимался как символ богатства и красоты. Самые восхитительные украшения древности были сделаны именно из золота.



Золото древней цивилизации Этрусков, которая предшествовала римской империи и оказала на нее большое влияние.
Image credit: Image credit: National Etruscan Museum at Villa Giulia, of Etruscan Gold, via flickr user HEN-Magonza

При этом, золото расположилось достаточно высоко в периодической таблице элементов Менделеева - аж на 79 месте, становясь одним из самых тяжелых стабильных элементов, которые встречаются в природе. Честно говоря, только три более тяжелых элемента - ртуть, таллий, и свинец - тоже стабильны.

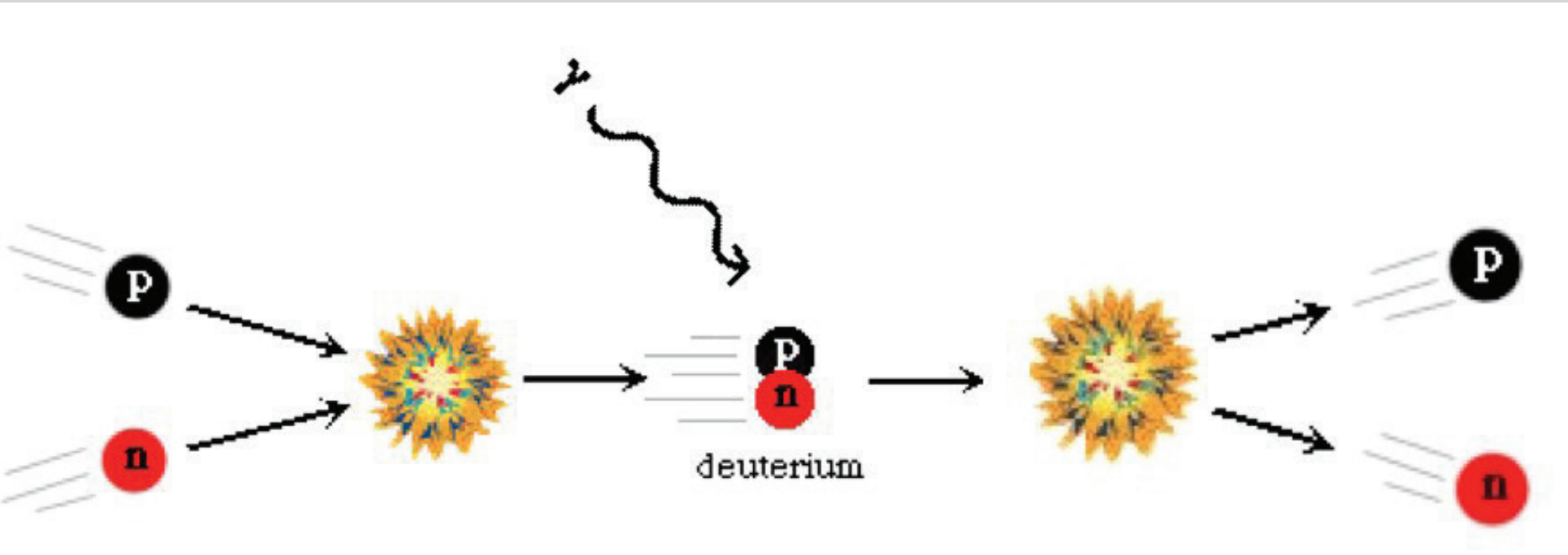
Мы уже говорили о том, что атомы водорода образовались во время Большого взрыва, а легкие элементы были созданы в ядрах первых поколений звезд, которые потом были выброшены в бездну Вселенной. Но как же образовались сравнительно тяжелые элементы, такие как золото? Ответ на этот вопрос крайне удивительный.

Абсолютное большинство атомов золота в нашей вселенной вероятней всего образовалась в результате именно того процесса, о котором мы сегодня поговорим. Но прежде, давайте же пройдемся по истории элементов в нашей Вселенной.

Примечание: более подробно мы рассказывали о синтезе элементов в нашем выпуске “История Звезды”

В те ранние времена, когда Вселенная ходила под стол пешком в ней было ничего кроме горячего,

плотного моря плазмы: материи и излучения, которое было настолько мощным, что никакие две частицы не могли соединиться друг с другом, поскольку они тут же разлетались в разные стороны. Даже если всего один протон связался бы с одним нейтроном, они бы тут же наткнулись на фотон, который обладал бы достаточной энергией, чтобы разлучить их обратно на составляющие частицы.



Схематическое представление слияния протона и нейтрона с образованиям атома дейтерия и дальнейший распад под действием электромагнитного излучения. Image credit: Ethan Siegel, modified from Lawrence Berkeley Labs

Со временем, пока Вселенная расширялась, она также охлаждалась, и это означало то, что формируемые ядра простейших элементов могли оставаться стабильными на протяжении долгого периода времени. Самые легкие элементы во Вселенной - водород и гелий в лице самых разных изотопов, а также небольшие количества лития - были образованы именно на том этапе.

Периодическая таблица элементов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18									
1 H Hydrogen 1.00794	2 He Helium 4.002602											3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182					5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797			
		C Solid				Metals				Nonmetals																
		Hg Liquid				Alkali metals		Lanthanoids		Transition metals		Poor metals		Other nonmetals		Noble gases										
		H Gas				Alkaline earth metals		Actinoids																		
		Rf Unknown																								
11 Na Sodium 22.98976928	12 Mg Magnesium 24.3050											13 Al Aluminium 26.9815386	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948									
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955912	22 Ti Titanium 47.887	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938045	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933195	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798									
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.96	43 Tc Technetium (97.9072)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.293									
55 Cs Caesium 132.9054519	56 Ba Barium 137.327	57–71										72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.222	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.966569	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98040	84 Po Polonium (209.9824)	85 At Astatine (222.0175)	86 Rn Radon (222.0175)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89–103										104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (292)	117 Uus Ununseptium (294)	118 Uuo Ununoctium (294)

For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.ptable.com/>

Ptable.com

57 La Lanthanum 138.90547	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92535	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.054	71 Lu Lutetium 174.9668
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.03806	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Периодическая таблица элементов. Элементы расположены по мере возрастания количества протонов в ядре элемента. Золото обладает номером 79 и символом Au. Image credit: ptable.com

В дальнейшем же, случалась гравитационная магия, которая сжимала материю в плотные молекулярные облака. Именно они в конце концов становились первыми звездами Вселенной. Сотканные в основном из водорода с небольшими примесями гелия, эти звезды стали известны как звезды из населения III.



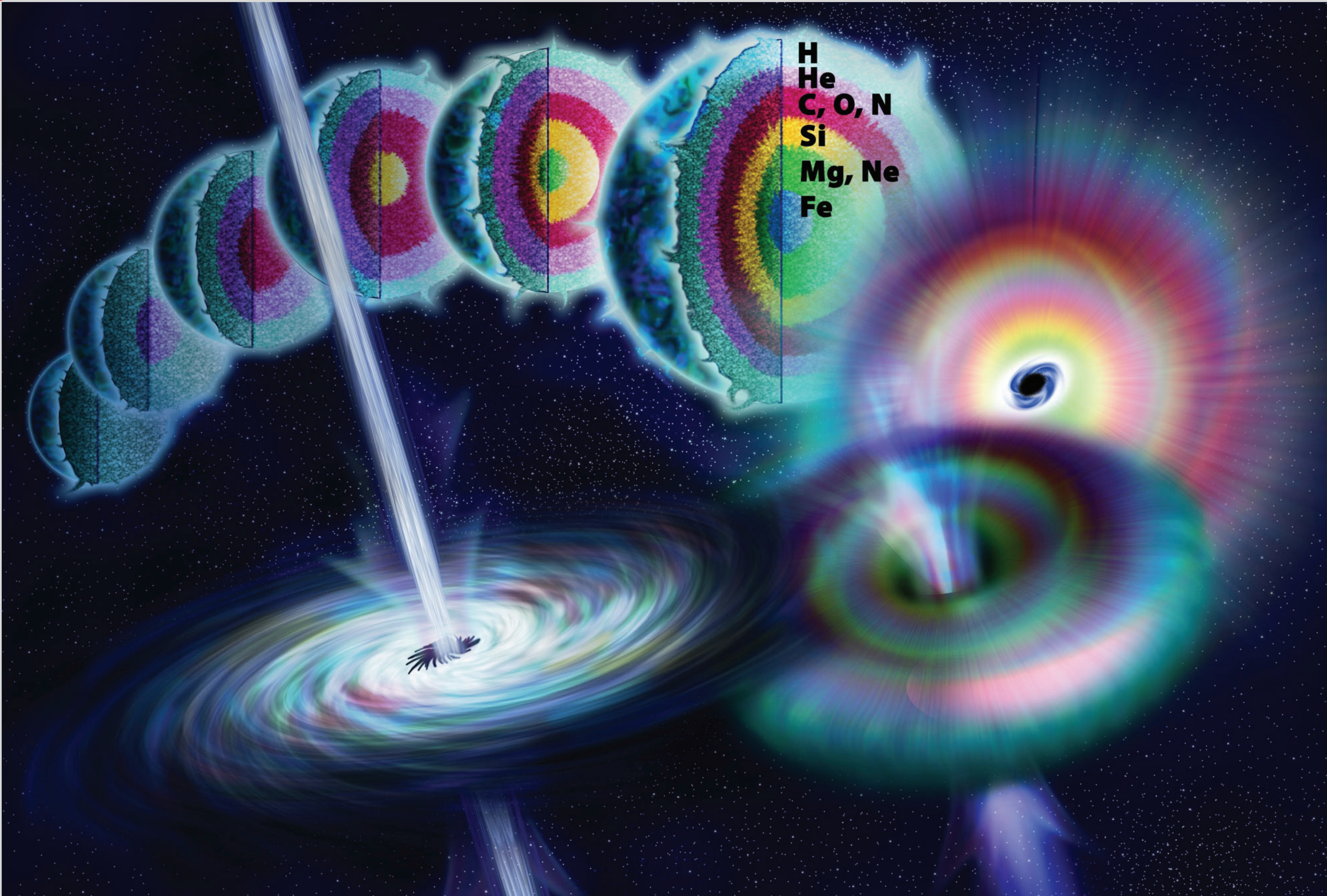
Постепенное сжатие газовых облаков под действием силы гравитации, которое позже приведет к образованию звезд. Image credit: Spitzer Space Telescope, NASA / JPL-Caltech.

И хоть в основном в ядрах этих звезд происходил термоядерный синтез гелия из атомов водорода, самые тяжелые представители населения «захо-

дили» еще дальше и начинали «сжигать» гелий, превращая его в углерод. А дальше начиналась цепочка реакций, в которых сплавлялись атомы углерода, кислорода, кремния и серы и образовывались атомы железа, никеля и кобальта. Процесс происходил в самых глубоких местах - в их ядрах. В конце концов, когда в них кончалось топливо, они сжимались, а затем взрывались как сверхновые второго типа.

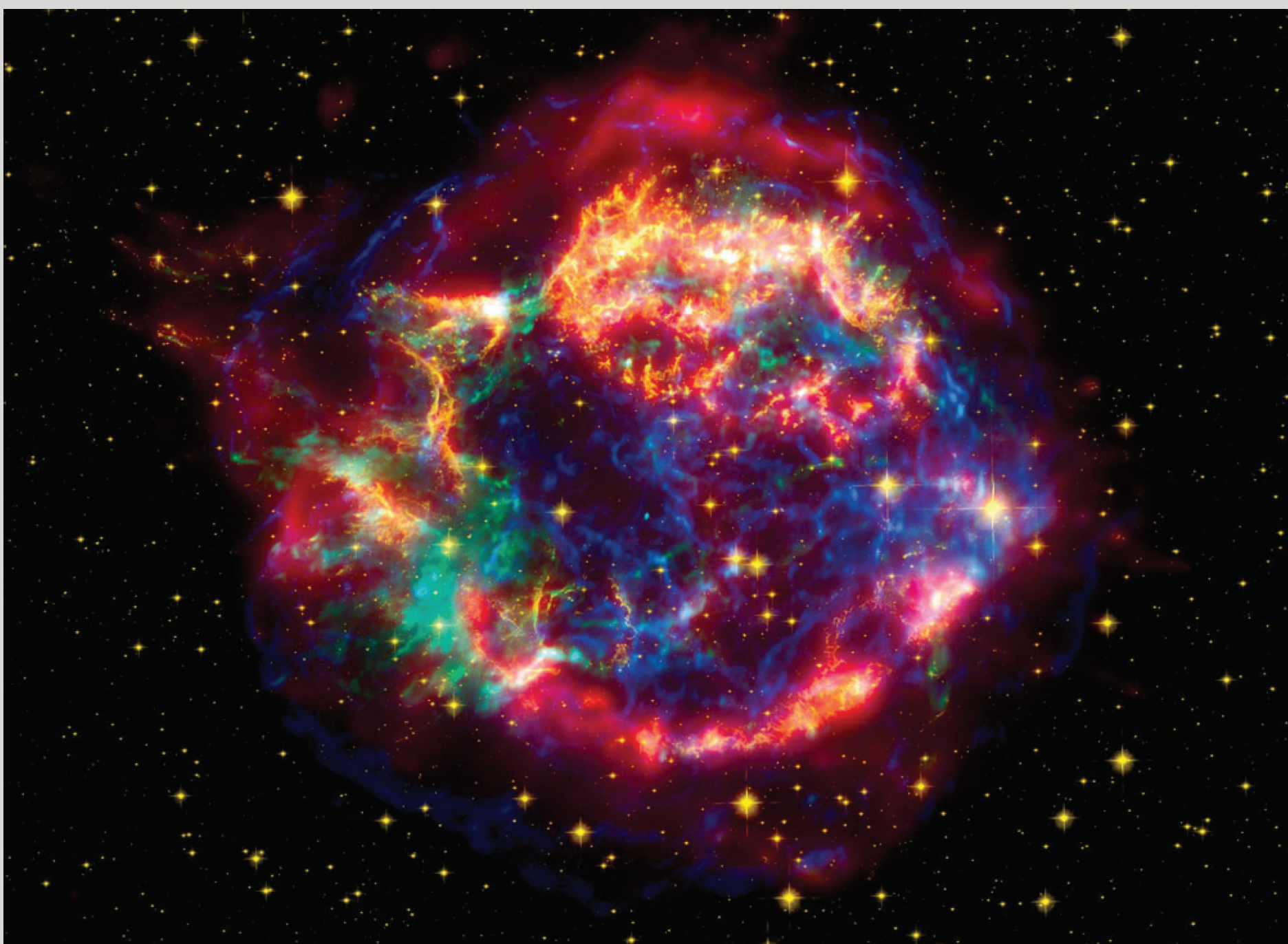
Ихоть во время взрыва сверхновой ядра этих звезд сжимались до той степени, когда они становились черными дырами или (чаще всего) нейтронными звездами, внешняя оболочка звезд «выбрасывалась» обратно во Вселенную. В этих оболочках обычно содержалось большое количество водорода, гелия, углерода, кислорода и некоторых других сравнительно легких элементов, которые в дальнейшем сжимались и превращались в звезды следующего поколения.

Еще более удивительно то, что тот же самый взрыв который концентрирует нейтроны в ядре одной звезды еще и выбрасывает огромное количество нейтронов в космос, открывая возможности для формирования гораздо более тяжелых элементов,



Пошаговый процесс образования пульсара начиная от звезды, содержащей только атомы водорода.
Image credit: Nicolle Rager Fuller / NSF.

чем железо, которые располагаются в самом верху периодической таблицы и теперь встречаются на нашей планете как нестабильные радиоактивные элементы.



Пространство, заполненное элементами после взрыва сверхновой. Image credit: Spitzer Space Telescope (red), Hubble Space Telescope (orange), Chandra X-ray Observatory (blue and green) / NASA.

Но когда мы пытаемся объяснить мироздание Вселенной, нам недостаточно просто объяснить образование тяжелых элементов. В дополнении, нам нужно еще объяснить их относительные количества, которые мы видим сейчас. Когда дело касается сравнительно легких элементов таких как углерод, кислород и кремний, их количество лег-

ко объясняется концепцией взрыва сверхновой и накопления элементов в межзвездном пространстве.

Но когда, например, мы смотрим на звезды населения II, которые образуются из Вселенной, насыщенной элементами после взрыва сверхновых, мы находим откровенный дефицит тяжелых элементах начиная от железа (которое всего лишь обладает номером 26) по сравнению с нашим солнцем. Наше Солнце также обладает еще большими количествами углерода, азота, кислорода и кремния по сравнению со звездами населения II.

Предыдущие наблюдения несомненно доказывают тот факт, что до Солнца были еще звезды, которые жили, сжигали свое ядерное топливо, взрывались как сверхновые и выбрасывали материю в межзвездное пространство еще до того как образовался наш мир. Таким образом, наше солнце относится к другому населению звезд: населению I. К этому же населению относятся многие другие звезды не только в нашей галактике, но и во всех других спиральных галактиках. Но в этих звездах гораздо больше тяжелых элементов - от железа до золота, олова и прочих - чем можно было бы предположить в результате одного взрыва сверхновой. Что-то еще должно происходить, что могло бы объяснить такой феномен. Что-то еще должно соз-

давать эти элементы, и оно должно создавать их каким-то необычайно другим способом.

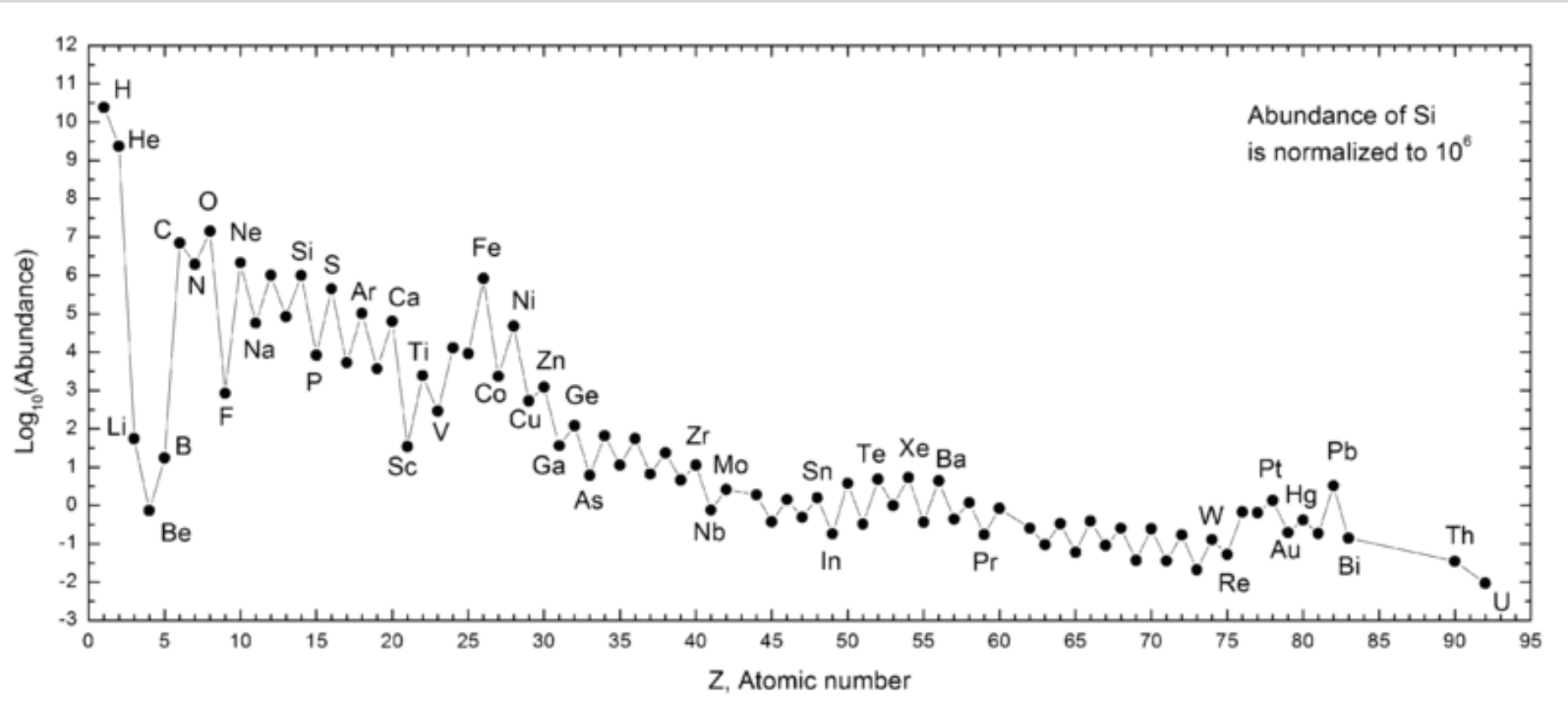
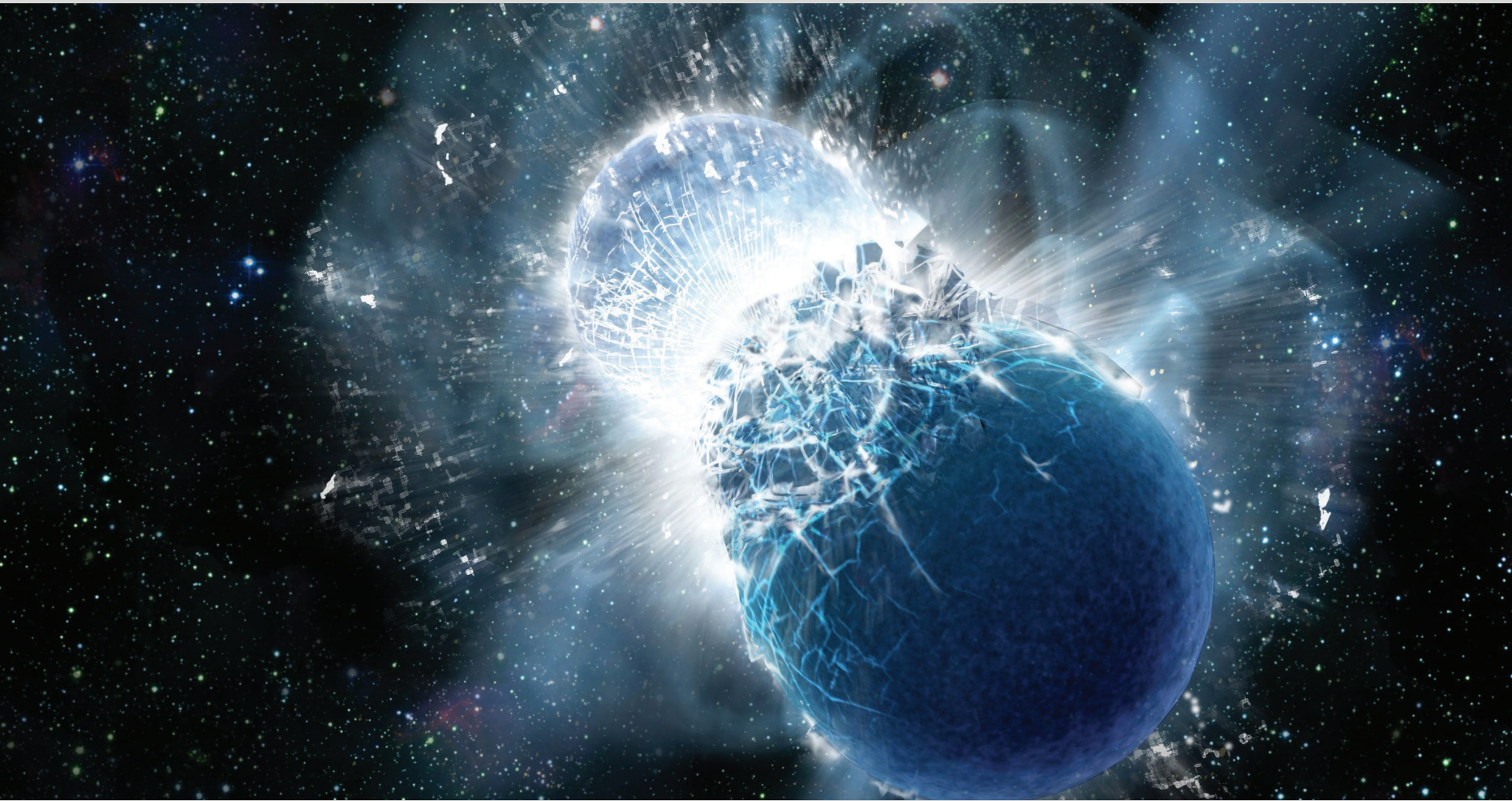


График распространенности химических элементов в зависимости от их порядкового номера (количества протонов). Image credit: Wikimedia Commons user 28bytes, via CC-BY-SA-3.0

До недавних пор, все что мы знали было лишь теорией.



Столкновение двух нейтронных звезд
Image credit: Dana Berry / Skyworks Digital, Inc.

Космос просто заполнен нейтронными звездами, которые остались от ультра-массивных звезд, сформировавшихся в ранние годы Вселенной. По скромным оценкам, буквально миллиарды таких тел блуждают по каждой существующей галактике размером сопоставимым с Млечным Путем. По большей части, эти нейтронные звезды являются единственными в своих звездных системах, но время от времени, они находятся вместе еще с одной или даже двумя преемниками достаточно массивные звезд, которые были способны превратиться в нейтронные звезды.

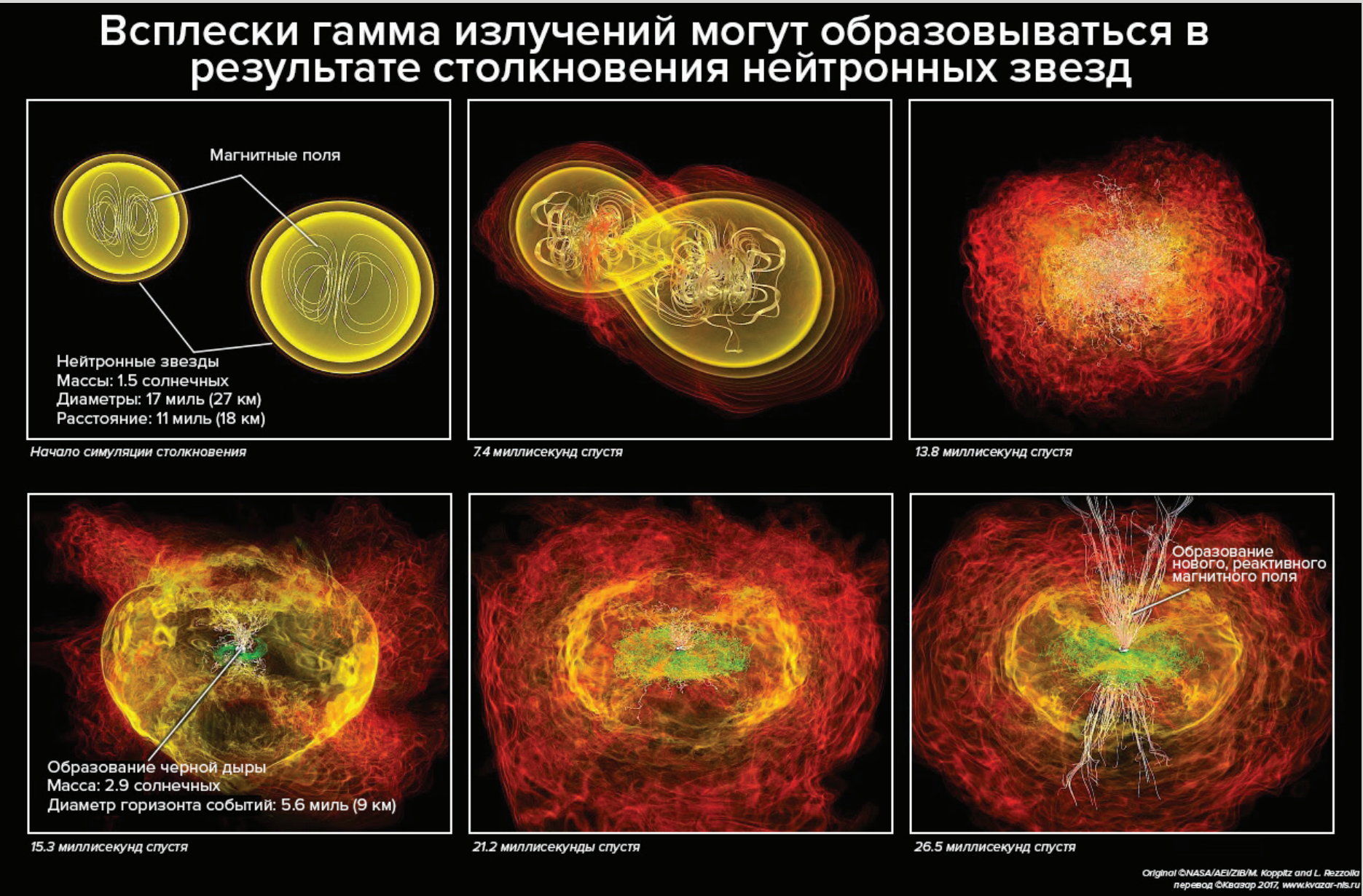
Мы знаем о таких системах благодаря тому, что некоторые нейтронные звезды излучают лучи радиоволн по мере вращения: другими словами, являются пульсарами. И прямо в нашей галактике, мы обнаружили доказательства бинарных систем, где было не просто две нейтронные звезды, но и они еще являлись пульсарами. В нашей же галактике, мы нашли двойной пульсар.

Благодаря Общей Теории Относительности Эйнштейна, мы знаем, что орбиты звезд в таких системах постепенно сужаются, и в конце концов, две звезды сталкиваются друг с другом.

И как вы думаете, что же произойдет, когда две

нейтронные звезды - два объекта массой с Солнце, но размером с городишко средних размеров и сделанные исключительно из нейтронов - сталкиваются друг с другом?

Результат просто катастрофичен! Да, они могут даже и не оставить черную дыру позади себя, но они точно образуют моментальный взрыв, который выбросит огромную грудую тяжелых элементов по массе сравнимых с массой тысячи планет Земли прямо в межзвездное пространство. Именно в таких взрывах берет свое начало большинство запасов золота, платины, ртути, свинца и урана во Вселенной. Что же касается Земных запасов этих элементов, так они и вовсе, практически все берут свое начало в таких столкновениях. Я думаю, не стоит и упоминать, что помимо всего прочего такие взрывы создают просто космические количества гамма излучения.



Симуляция процесса слияния двух нейтронных звезд с образованием черной дыры и гамма всплесков.
Image credit: NASA / Albert Einstein Institute / Zuse Institute Berlin / M. Koppitz and L. Rezzolla.

Таким образом, когда вы думаете о всех тех поколениях звезд, которые жили и умирали, чтобы создать элементы на Земле, не стоит забывать и о нейтронных звездах - звездах которые умирали дважды: один раз как сверхновые и один раз в мощнейшем взрыве описанном ранее.

По оценкам, в типичной галактике похожей на Млечный Путь, такое событие происходит каждые 10,000-100,000 лет. Это означает, что до момента образования Солнечной Системы произошло от сотни тысяч до миллиона таких слияний нейтронных звезд в нашей галактике, котоыре обогатили её тяжелыми элементами. И хоть мы еще не зарегистрировали ни одного столкновения нейтронных звезд, у нас есть все основания полагать, что они в действительности происходят.

Все права на публикацию статьи "Striking Cosmic Gold How was Earth's most well-known precious metal made?" принадлежат компании "Medium" и непосредственно ее оригинальному автору Ethan Siegel. Переведено с разрешения первоисточника.



Спустя несколько летних месяцев, Орион вернулся на ночное небо. Это созвездие появляется перед рассветом в ранних числах Августа.

Карпаты, Украина. 9 августа 2016

Nikon D600, Nikkor 50/1.4D @ f/2, 3x3s, ISO 6400

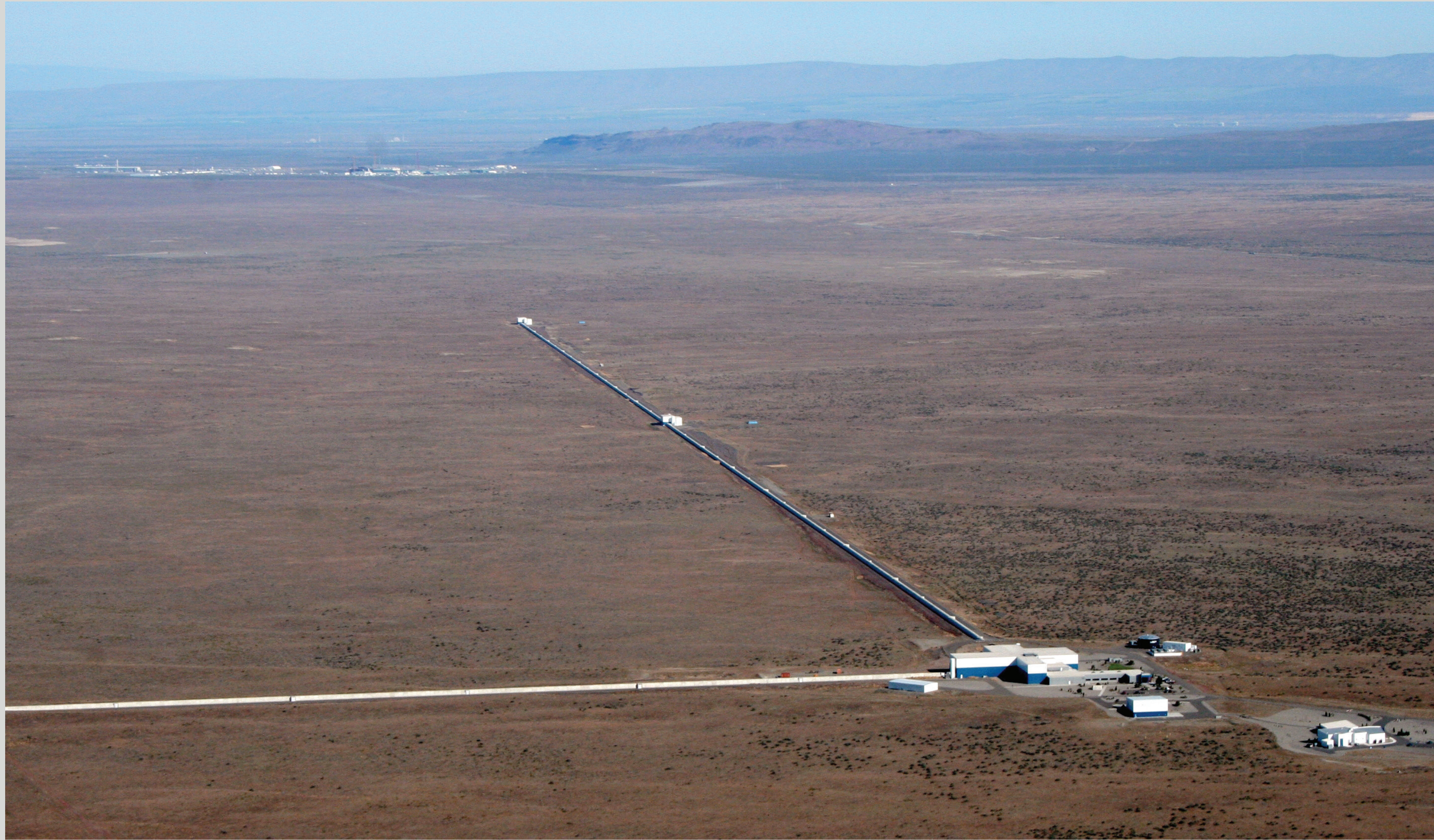
Автор: Игорь Хомич

ПОВИ ВОЛНУ 2!

О ЧЕМ ПОЛУЧИТ LIGO?

LIGO - лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория, добралась до одной из священных чаш Грааля физики: гравитационных волн. Об этом сообщали многие научные издания в прошлом году, в том числе и мы. Но это было не одно единственное событие, а первое в серии открытий, которыми LIGO продолжает нас радовать.

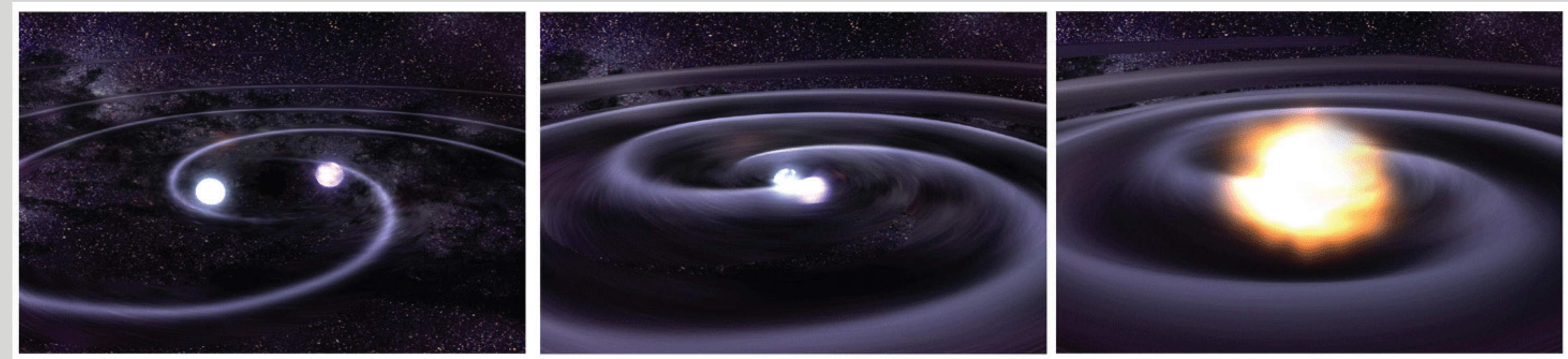
За время своей работы, LIGO обнаружило три важных сигнала, каждый из которых соответствовал слиянию двух массивных черных дыр. Каждое из этих слияний породило излучение достаточно мощных гравитационных волн для того, чтобы два интерферометра на Земле на расстоянии миллиарда световых лет были



Вид на обсерваторию ЛИГО в Хэнфорде, Вашингтоне. Image credit: ligo.org

бы способны зарегистрировать их. Сейчас же, мы столкнулись с вероятностью того, что LIGO (вместе с VIRGO - франко-итальянским детектором гравитационных волн) достигла следующего рубежа открытий в области гравитационных волн: открытия слияний нейтронных звезд.

Существует три ключевых отличия между слияниями нейтронных звезд и черных дыр. Поскольку нейтронные звезды обладают меньшей массой, но по размерам больше, гравитационные волны которые они излучают обладают меньшей амплитудой, но большим периодом. К счастью, это нам



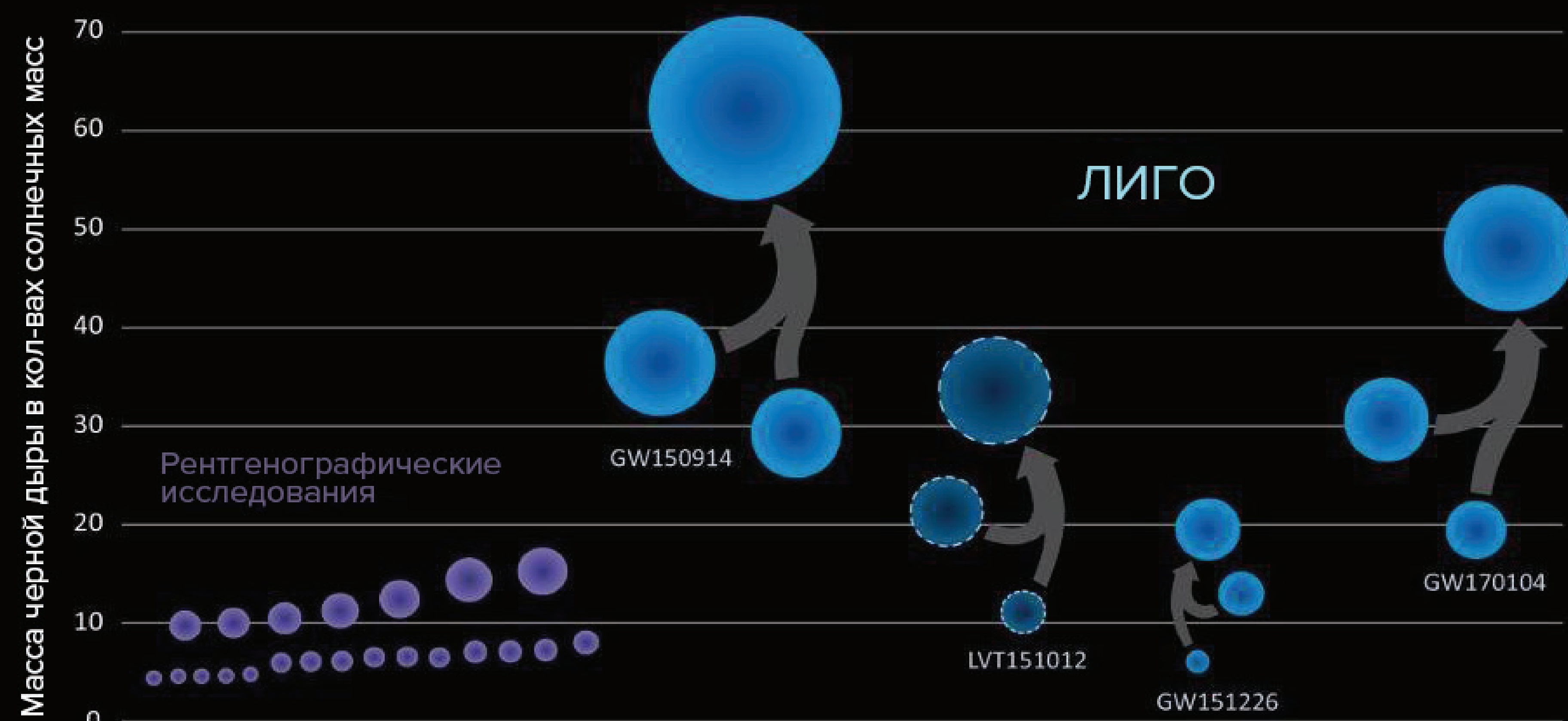
Столкновение двух нейтронных звезд должно производить не только крайне специфические гравитационные волны, но и еще электромагнитное излучение уникальное для события. Image credit: NASA

на руку, поскольку сигнал обладающий большим периодом гораздо проще зарегистрировать и анализировать, ведь он может длиться целые секунды, минуты или даже часы, по сравнению с кратковременным сигналом от массивных черных дыр, который длится меньше секунды. Это также означает то, что нам нужно быть гораздо ближе к нейтронным звездам, чем к черным дырам чтобы увидеть их слияния: а точнее, между нами должно быть расстояние меньше, чем пара сотен мил-

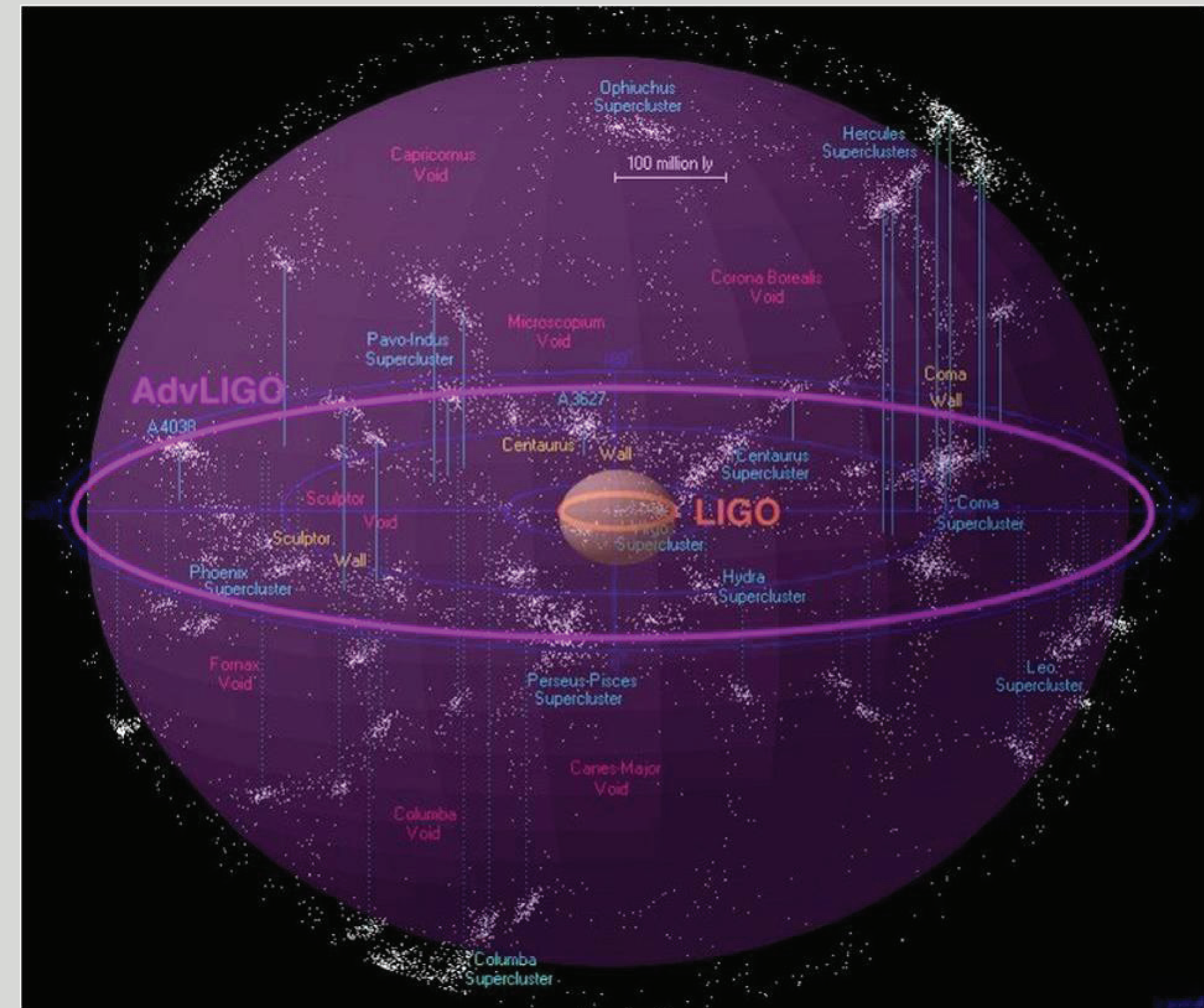
лионов световых лет. По крайней мере с нынешними техническими характеристиками установок LIGO/VIRGO. И напоследок, в отличие от черных дыр, в случае с нейтронными звездами должен быть также электромагнитный сигнал, появляющийся от слияния таких массивных, но компактных объектов.

На протяжении долгого времени ученые спекулировали о вероятности того, что слияния нейтрон-

Массы известных нам черных дыр



На графике показаны массы известных нам черных дыр, в том числе трех бинарных систем с сливающимися черными дырами и еще одной потенциальной, сигнал которой потенциально был зарегистрирован LIGO. Нейтронные звезды, в сравнении, должны в сумме давать не больше 3х солнечных масс. Image credit: LIGO/Caltech/Sonoma State (Aurore Simonnet)



На рисунке изображен диапазон чувствительности установок Advanced LIGO. Image credit: LIGO Collaboration / Amber Stuver / Richard Powell / Atlas of the Universe



Во время слияния двух нейтронных звезд должно выделяться чрезвычайно огромное количество энергии, тяжелых элементов, гравитационных и электромагнитных волн. Image credit: NASA/JPL

ных звезд могут быть источником гамма-всплесков - масштабных космических выбросов энергии взрывного характера, которые наблюдаются в отдаленных галактиках. По сути, гамма-всплески это одни из самых коротко-живущих, но в то же время высоко-энергетичных всплесков энергии во всей Вселенной. (напоминаем, что гамма излучение - это одна из разновидностей электромагнитных волн) Слияние двух нейтронных звезд должно приводить к сильному выбросу гигантских количеств энергии, и, как мы уже говорили, ядерной реакции в ходе которой образуется большинство Вселенских запасов тяжелых металлов.

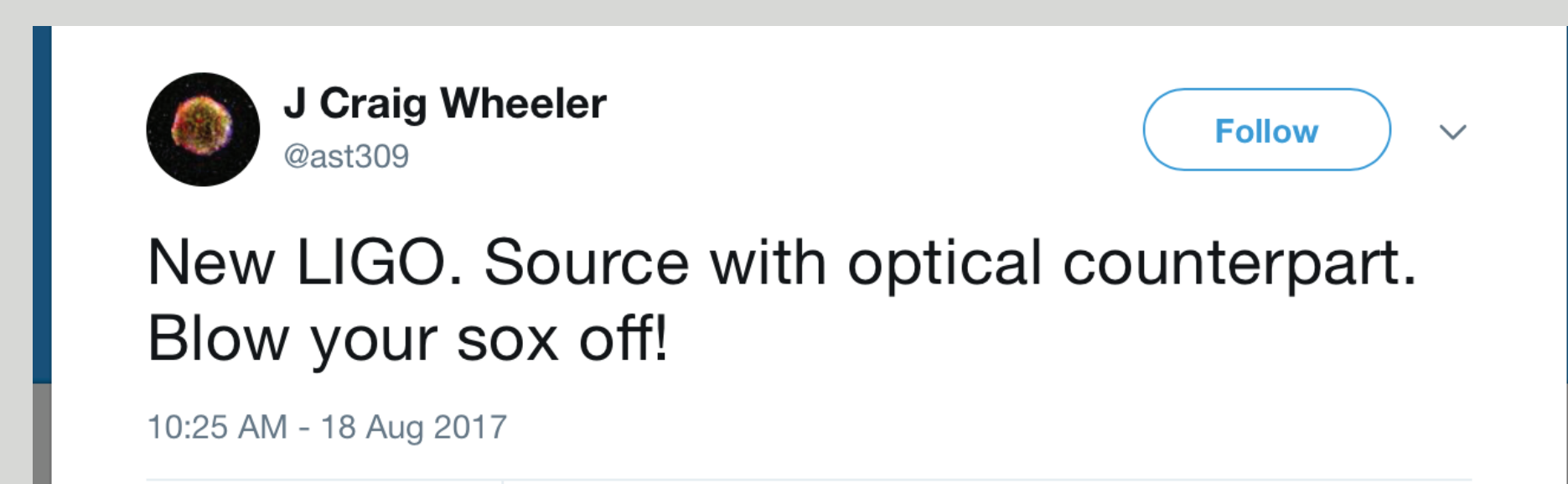
И хоть мы можем оценить примерную частоту таких слияний, мы не можем сделать точный расчет. Мы даже пока еще не знаем точные количества бинарных систем с черными дырами, поскольку гравитационно-волновая астрономия еще только-только начинает развиваться. Более того, если слияние нейтронных звезд обладает только десятой частью амплитуды сливающихся черных дыр, они должны быть в 10 раз ближе, а это значит, что объем пространства, в котором могут быть зарегистрированы нейтронные звезды в тысячу раз меньше, чем объем пространства в котором могут быть зарегистрированы черные дыры. (Объем сферы пропорционален кубу радиуса, если радиус в 10 раз меньше, то объем в $10^3 = 1000$ раз меньше). Чтобы существовал разумный шанс заметить сливающиеся нейтронные звезды, они должны сливаться в сотни, если не тысячи, раз чаще!

К счастью, скорее всего так и происходит в реальности. К еще большему счастью, нам не нужно делать никаких излишних усилий для того, чтобы обнаружить их до тех пор, пока работают гравитационные обсерватории LIGO и VIRGO. Более того, все расчеты связанные с этой областью достаточно просты (хоть и существует необходимость оперирования достаточно сложными числами). Именно поэтому исследования таких слияний являются лишь небольшим вопросом времени извлечения сигнала из “сырой” информации полученной в обсерваториях. С тремя обсерваториями, LIGO/VIRGO не только становится более чувствительным к сигналам, но также становится способным триангулировать (определить) местонахождение сигнала.

При этом, как мы помним, детекторы должны зафиксировать не только всплески гравитационные волны, но и электромагнитные, будь то гамма-лучи, ультрафиолетовые, видимые, инфракрасные или радио- волны. И хоть после всех этих условий, вся затея может казаться розыгрышем в лотерею, она, тем не менее, имеет право на существование.

18 августа 2017 года, знаменитый астрофизик Крэйг Уилер из Техасского Университета в Остине сделал твит, который намекал нам на открытие чего-то совершенно нового в обсерваториях LIGO.

Может ли это быть первым доказательством слияния двух нейтронных звезд? Конечно, это всего лишь слух/утечка, и никак не официальное за-



Твит, который зародил спекуляции по всему миру.
Перевод: “Новое открытие в LIGO. Источник с оптической составляющей. Приготовьтесь к отвалу башки!”
Image credit: J. Craig Wheeler / Twitter, via <https://twitter.com/ast309/status/898596613328740352>

явление самой обсерватории, но когда всемирно знаменитый (в своих кругах) физик делает какое-то заявление в своей сфере, стоит рассматривать возможность того, что это окажется правдой. Если был обнаружен какой-то оптический сигнал, то как мы уже говорили, это скорее слияние нейтронных звезд, нежели слияние черных дыр, а это действительно что-то гораздо более увлекательное.

В подтверждение того, что это не просто спекуляция или выдача желаемого за правду служит тот факт, что докладчик LIGO David Shoemaker не опроверг слухи или не отменил вероятности того, что новые данные не похожи на то, что когда-либо получали ранее. В подтверждение также служит событие, которое произошло спустя всего 4 дня после твита Уилера.

22 Августа было обнаружено потенциальное столкновение двух нейтронных звезд в галактике NGC 4993. Есть ли в этой фотографии что-то, на что сто-

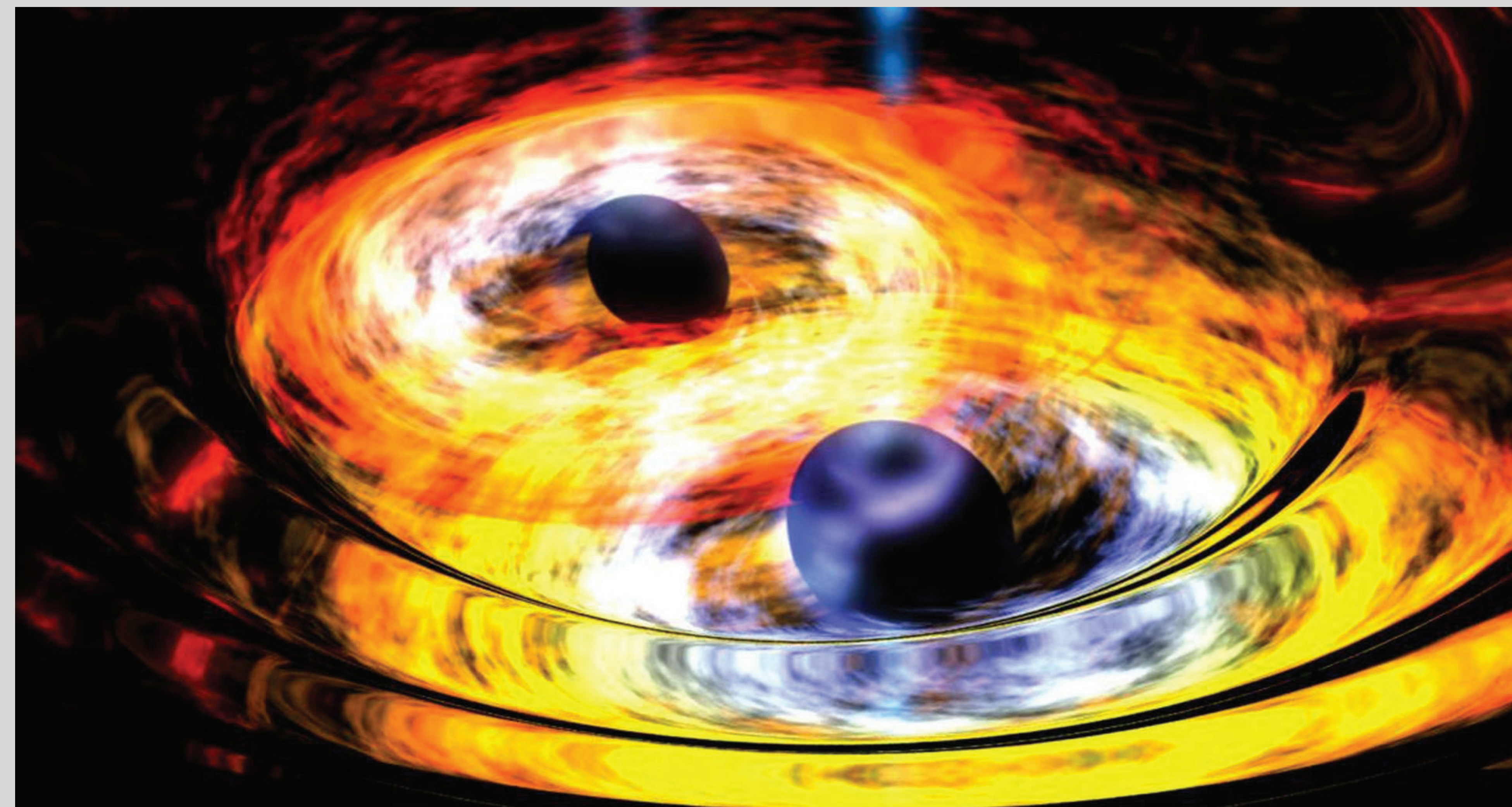
ит обратить внимания? Является ли это первым свидетельством слияния двух нейтронных звезд? Успешно ли мы сопоставили гравитационные волны и световой источник впервые за всю историю?



Снимок полученный телескопом Хаббл.
Image credit: Digitized Sky Survey / STScI

Мы живем в удивительное время: на наших глазах рождается гравитационно-волновая астрономия. В ближайшие десятилетия нам предстоит открыть целую серию первых в истории открытий, в том числе первое слияние нейтронных звезд, первое обнаружение точного источника гравитационных волн и первая взаимосвязь между гравитационными и электромагнитными сигналами. Если природа добра к нам, и слухи правдивы, мы, возможно, открыли все три сразу.

Все права на публикацию статьи “Beyond Black Holes: Could LIGO Have Detected Merging Neutron Stars For The First Time?” принадлежат компании “Forbes” и непосредственно ее оригинальному автору Ethan Siegel. Переведено с разрешения первоисточника.



Несмотря на то, что при слиянии двух черных дыр образуется аккреционный диск, электромагнитный сигнал созданный при этом событии не может быть зарегистрирован. Если есть электромагнитный сигнал в дополнении к гравитационному, он должен быть вызван двумя нейтронными звездами.
Image credit: NASA / Dana Berry (Skyworks Digital)



Пейзаж с Млечным путем, летними созвездиями и Сатурном (в центре).
Побережье Черного моря со стороны Бессарабии, Укриана.
19 июля 2017
Nikon D600 + Nikkor 17-35/2.8D @ 17mm, f/4, 8x30s, ISO 6400
Автор: Игорь Хомич

КАЧАЕМ ВОДУ ИЗ ВОЗДУХА

ВСЕ ЧТО НАМ НУЖНО... ЭТО КОМПЛЕКСЫ



Технология захвата воды из атмосферы при низких значениях относительной влажности (ОВ) является необходимой для производства питьевой воды в засушливых регионах, а также переноса и хранения тепла. В этом году, ученые из Массачусетского Института Технологий сообщили о создании пористого материала, который способен захватывать до 820 грамм воды на килограмм материала при значениях ОВ ниже 30%, показатель, который почти в два раза больше, чем у ранее существовавших материалов.

По оценкам ООН, спрос на пресную воду будет расти даже быстрее спроса на энергию, создавая серьезный дефицит в ближайшие десятилетия. Прилагательное



В некоторых регионах нашей планеты до сих пор нет инфраструктуры, подающей питьевую воду

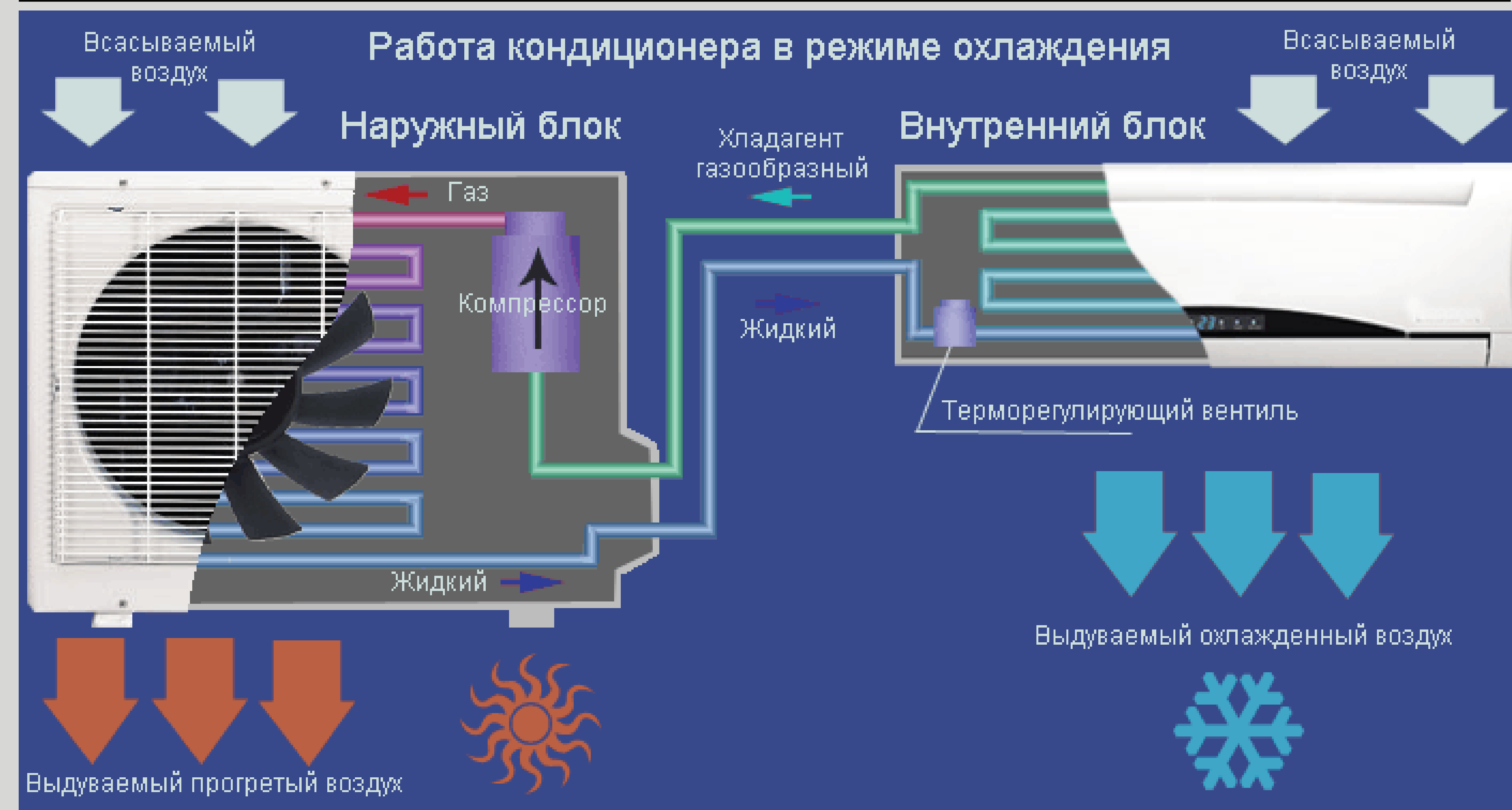
серьезный не является преувеличением, поскольку предполагается, что к 2020 году дефицит будет составлять около 2000 миллиардов кубометров (1 кубометр = 1000 литров), что будет занимать более 20% от мирового спроса на воду к тому времени. Наличие дефицита не значит, что на нашей планете мало воды. Она просто непригодна для питья либо потому, что она слишком соленая, либо потому, что она «заперта» во льдах. И хоть процесс опреснения воды (удаления соли) позволяет производить сравнительно дешевую пресную воду, он требует наличия громадной инфраструктуры и серьезных капиталовложений. Потенциальной альтернативой является технология захвата воды из атмосферы, которая позволяет создавать воду в местах её дефицита или её загрязненности. Существующие на данный момент генераторы атмосферной воды (AWG - Atmospheric Water Generators) либо охлаждают воду до температур ниже точки росы (точка при которой пар находится в равновесии с жидкостью и льдом), либо выпаривают саму воду из морской воды. Оба варианта требуют серьезных затрат энергии. Альтернативой выступают твердые сорбенты (вещества, поглощающие что-либо), которые, основываясь на природной разнице температур и значений ОВ днем и ночью, позволяют захватывать и выделять воду из атмосферы без дополнительных затрат энергии.

Сорбенты с высокой поглотительной способно-

стью воды могут также помочь в решении экологических проблем связанных с переносом тепла при их использовании в адсорбционных тепловых насосах (АТН). Иными словами, это поможет сделать кондиционеры более «зелеными».

Сделаем небольшое лирическое отступление и разберемся в принципах работы кондиционеров.

Вообще, охладительная система основывается на том факте, что вещества при испарении поглощают тепло, а при конденсации его выделяют. Как мы уже говорили ранее, молекулы в жидкой фазе сдерживаются с помощью межмолекулярных сил притяжения, поэтому чтобы выпустить их на свободу, связи нужно разорвать. Любой разрыв связи требует затрат энергии, именно поэтому мы нагреваем воду чтобы её вскипятить. Так вот, кондиционеры состоят из двух блоков - наружного и внутреннего. В наружном блоке всасываемый воздух проходит через конденсатор, в котором хладагент (жидкость циркулирующая через всю систему) охлаждается и конденсируется, при этом воздух нагревается и выходит теплым. Охлажденный хладагент идет во внутренний блок, в котором он забирается тепло у всасываемого воздуха для испарения, тем самым охлаждая воздух, выходящий к нам в комнату. Газообразный хладагент идет обратно в наружный блок, по пути ускоряясь компрессором.



Устройство кондиционера

Чтобы охладить воздух, необходимо отвести тепло. Тепло - это энергия. А энергия, как известно, не может исчезнуть бесследно. Именно поэтому кондиционер состоит из двух блоков и функционирует так как мы описали выше. Переносчиком тепловой энергии в кондиционере (как и в холодильнике) является специальный хладагент, роль которого зачастую играет фреон. Таким образом, кондиционер не производит холод, а просто переносит тепло из помещения на улицу.

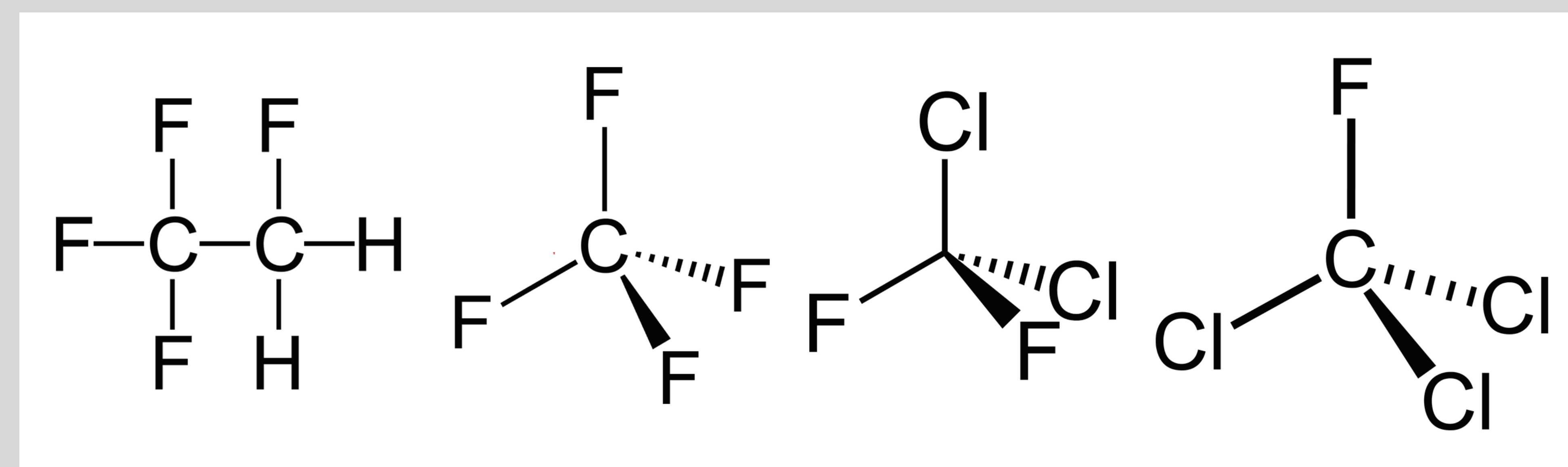
Возвращаемся к тепловым насосам. Стоит отметить, что эти насосы создают температурные градиенты (например между охлажденным и теплым воздухом) используя отработанное тепло, например из выхлопной трубы автомобиля, и хладагент с высоким значением теплоты испарения. В свете соглашения 2016 года о постепенном прекращении использования фреонов, АТН становятся потенциальными альтернативами. К сожалению, уменьшение размеров АТН и их широкомасштабное производство ограничены тем, что современ-

ные сорбенты обладают слишком низкой способностью к накоплению воды.

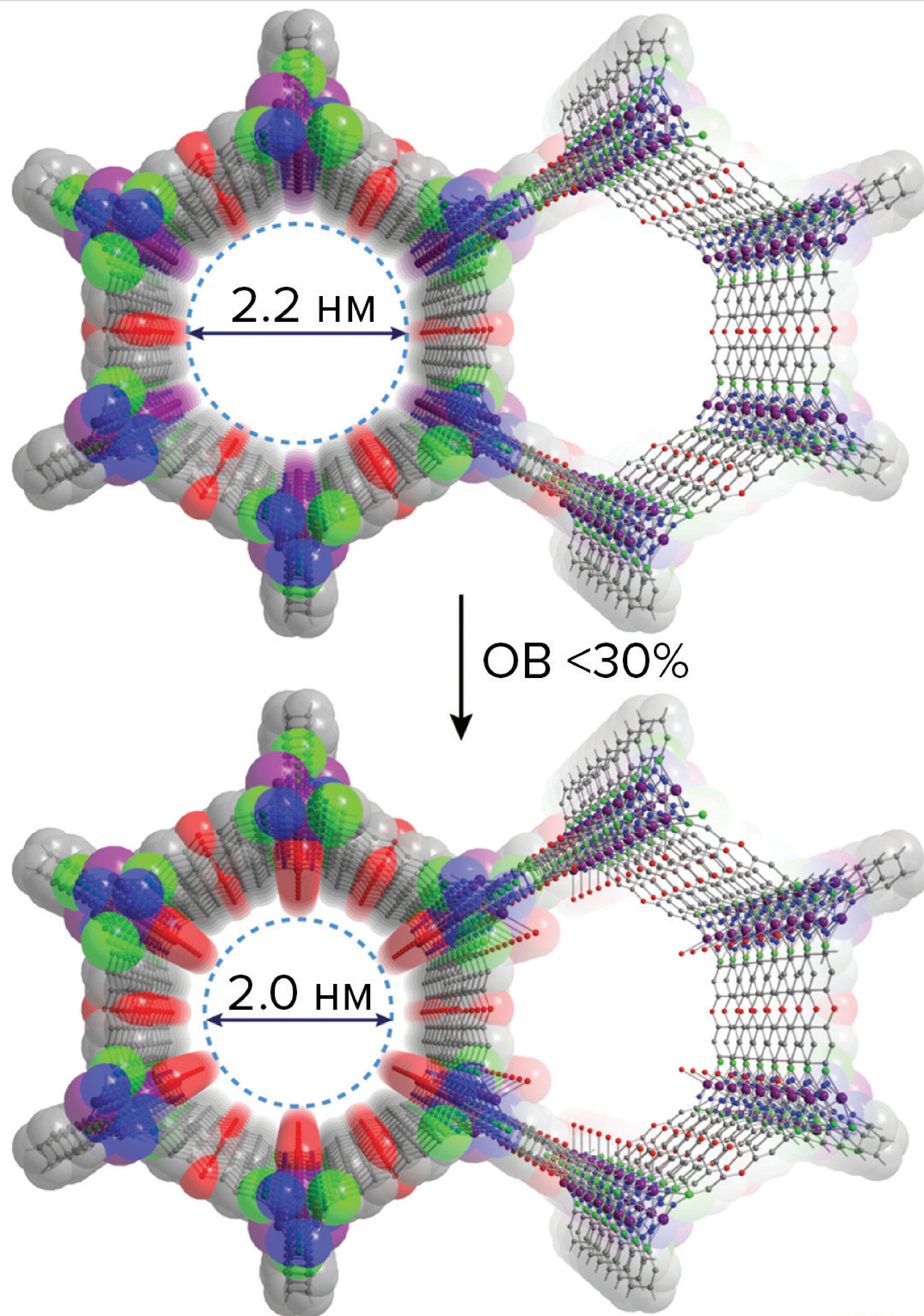
Справка:

фреоны это фторо-, хлоро- и бромо- производные углеводородов, которые являются серьезной угрозой для нашей атмосферы. Те соединения, который содержат хлор, разрушают озоновый слой, поскольку связь углерод-хлор легко разрушается под действием ультрафиолетового излучения, образуя радикалы (этакие скинхеды в мире молекул), которые легко разрушают молекулы озона (этакий еврей для радикалов «скинхедов»). Связь углерод-фтор может поглощать большое количество инфракрасного излучения, которая идет на вибрации связей в молекулах. Особенностью вибраций является то, что они тем сильнее, чем более полярна связь, а как мы помним фтор самый электроотрицательный элемент, тем самым связь углерод-фтор очень полярна.

Конец справки.



Структуры самых широко распространенных фреоны



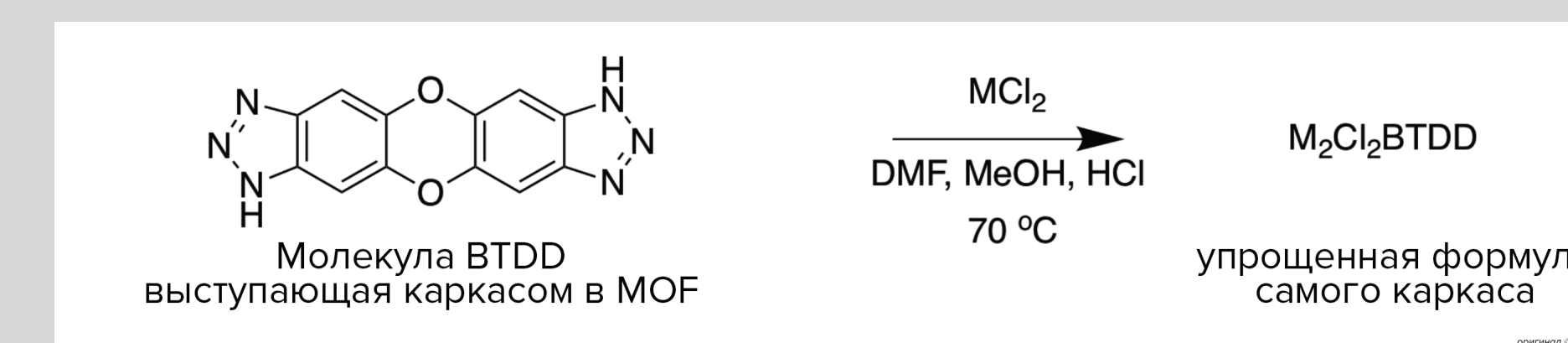
оригинал ©MIT & ACS
адаптация ©Квазар 2017, www.kvazar-nis.ru

Рисунок 1. Структура комплекса кобальта с BTDD. Атомы кобальта помечены фиолетовым, углерода серым, азота синим, кислорода красным, хлора зеленым. Атомы водорода были удалены для лучшей ясности картинки. При низких значениях ОВ, вода абсорбируется на свободных координационных местах у атомов кобальта. При определенном значении ОВ, диаметр поры уменьшается от значения чуть выше критического диаметра, до значения чуть ниже критического диаметра, тем самым начиная процесс активного поглощения воды.

Именно поэтому фторосодержащие соединения обладают парниковой активностью в 1300-8500

раз превышающую таковую углекислого газа, тем самым способствуют глобальному потеплению.

Новый пористый материал является металл-органической каркасной структурой (MOF). Вкратце, MOF - это какие либо материалы, в которых металлы и органические молекулы связываясь в комплексы образуют те или иные формы. При выборе оптимального сорбента учитываются следующие критерии: стабильность, гидрофильность (способность связываться с водой) и диаметр пор. MOF уникальна тем, что она подходит идеально сразу по трем критериям - явление, которое крайне не характерно для единственного материала.



Реакция образования MOF из BTDD

Хорошим примером является серия комплексов металла с такой органической молекулой как BTDD. Эти материалы представляют из себя мезопористые каналы с диаметром в 22 ангстрема (1 ангстрем в 10 миллиардов раз меньше метра), крайне близким к критическому диаметру воды, который равен 20.76А. Чем больше диаметр поры, тем больше эффективность материала, однако, если же диаметр поры будет выше критического диаметра жидкости, будет высока вероятность феномена гистерезиса. Такое страшное слово оз-

начает ситуацию, когда образуется разница в путях адсорбции и десорбции жидкости. Если будет слишком высокий диаметр поры, тогда образуется очень большое количество сильных связей между молекулами, и придется затратить гораздо больше энергии на десорбцию, чем выделилось при адсорбции.

Справка: В химии есть такой обширный класс соединений, которые называются комплексами. Их образуют так называемые переходные металлы, например: титан, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, серебро, золото и ртуть. Если представить, что молекулы со свободными электронными парами это пользователи смартфонов, то такие металлы для них являются розетками. Нет, даже удлинителями, поскольку они могут держать рядом с собой от 2 до 8 молекул. При этом, в химии таких элементов есть один закон, который гласит, что стабильное состояние достигается тогда, когда все свободные розетки (координационные места) заняты молекулами. Чаще всего, этих мест шесть, а геометрия такого комплекса представляет из себя октаэдр.

Если же не все координационные места заполнены, как например в случае с кобальтом в мезопористом материале, то очень легко может при-

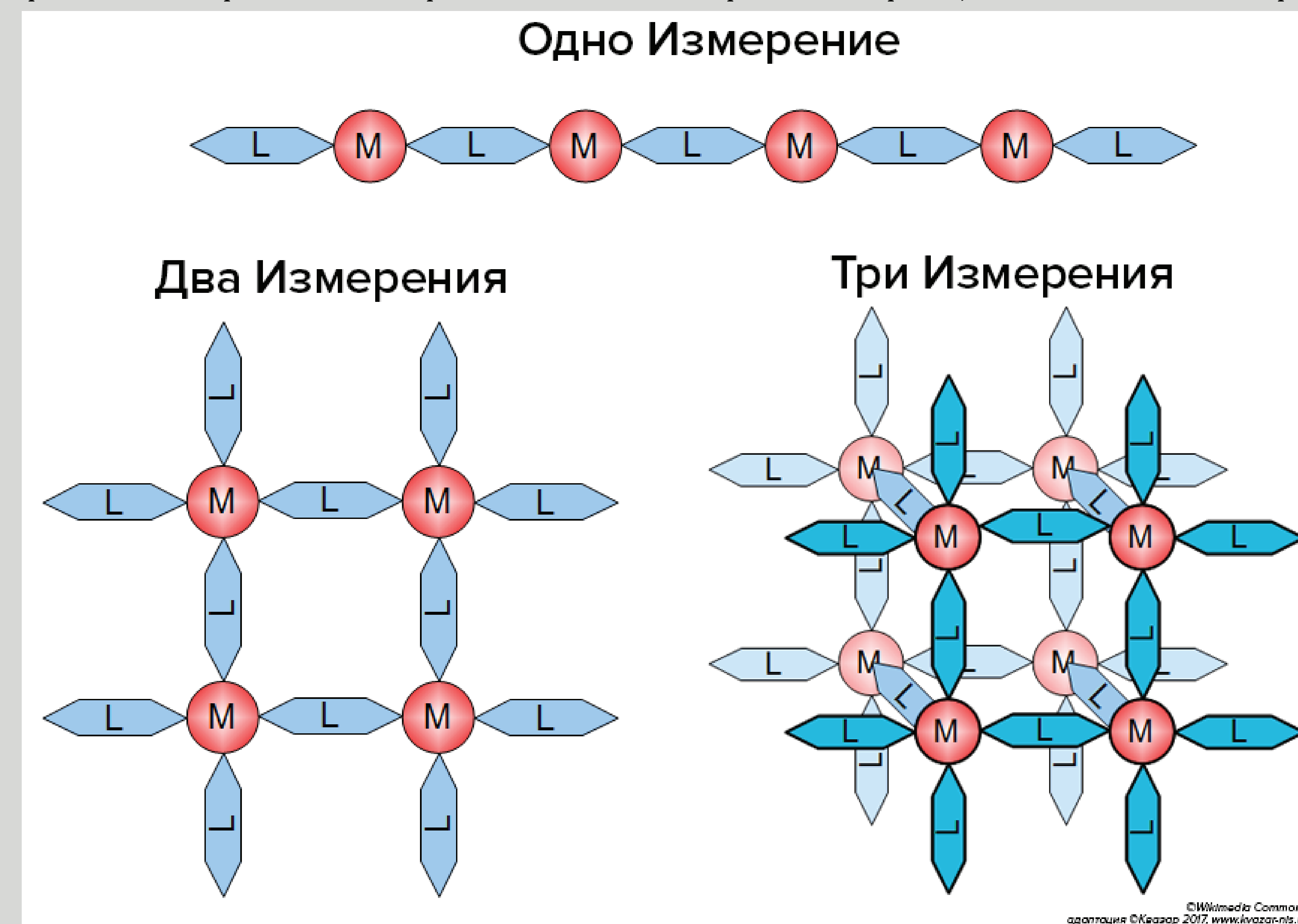
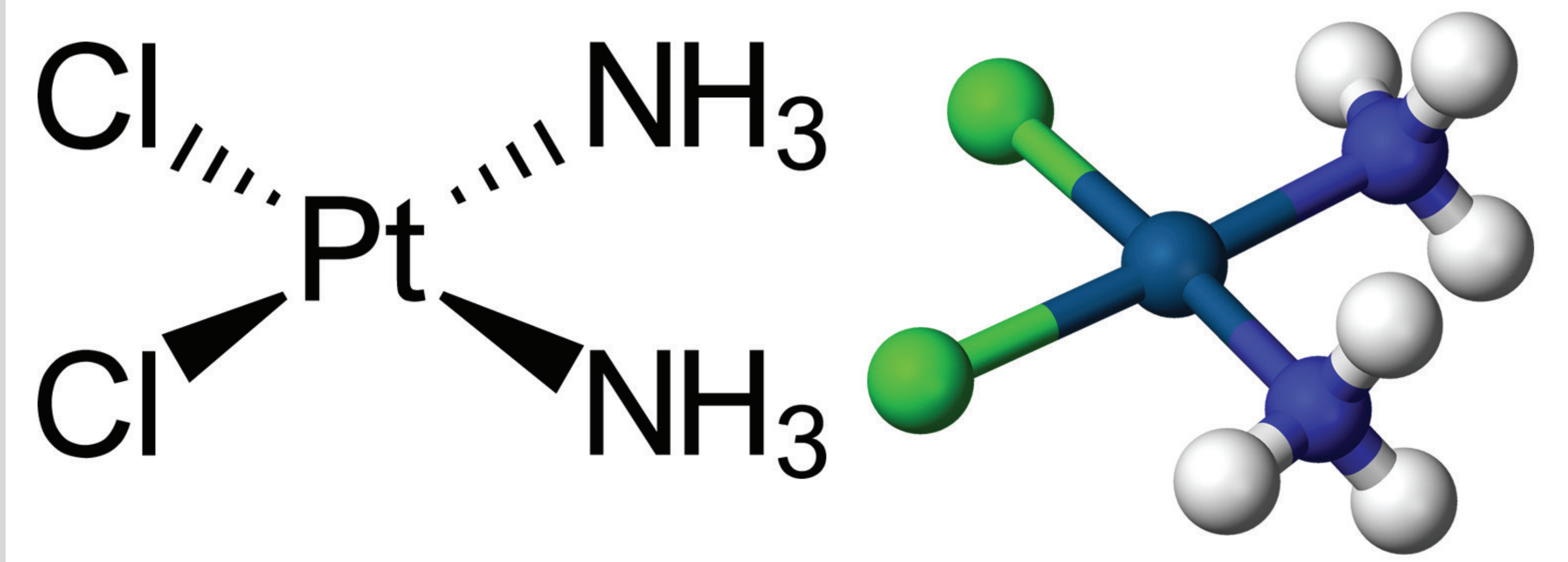


Иллюстрация показывающая образование одно, двух, и трехмерных структур при помощи металла (M) и специальных молекул, которые также называются лигандами (L)

©Wikimedia Commons
адаптация ©Квазар 2017, www.kvazar-nis.ru



Структура цисплатина

соединиться молекула воды, хоть и только при достижении определенной концентрации.

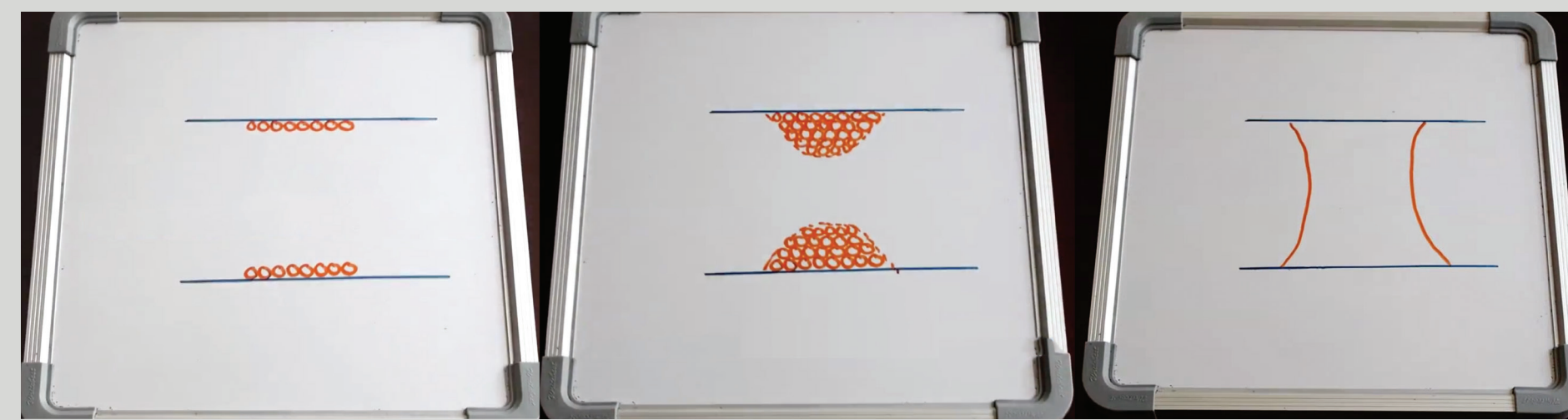
Стоит отметить, что комплексы полезны не только для удовлетворения потребностей в воде в развивающихся странах. Возьмем, к примеру, цисплатин - комплекс платины с двумя молекулами хлора и двумя молекулами аммиака. Цисплатин является одним из самых известных и мощных цитотоксических препаратов, использующихся для борьбы с раком. Просто прочитайте список разных раковых заболеваний при которых применяют этот препарат!

«Герминогенная опухоль яичка или яичников, рак яичников, рак тела матки, саркома матки, рак шейки матки и фаллопиевых труб, рак почечной лоханки и мочеточников, рак мочевого пузыря и уретры, рак простаты и полового члена, остеогенная саркома, саркома Юинга, нейробластома, ретинобластома, саркома мягких тканей, лимфома, хорионкарцинома матки, медуллобластома, рак кожи, меланома, опухоль головы и шеи, рак пищевода, рак легкого, рак желудка, рак толстой кишки, злокачественная тимома, мезотелиома». Впечатляет, не правда ли?

Механизм действия заключается в нарушении функций ДНК, вызванном химическим повреждением оснований ДНК. Химическое повреждение ДНК («платиновый аддукт») образуется путём образования координационных связей между атомом платины и двумя основаниями ДНК (преимущественно гуаниновыми), в результате чего в ДНК образуются внутри- и межнитевые сшивки. На клеточном уровне цисплатин вызывает нарушение репликации и транскрипции, что ведёт к задержке клеточного цикла и смерти самой клетки.

Кстати, цисплатин создает аддукты именно методом интеркаляции, о котором мы говорили в на-

шей статье про ДНК. *Конец справки.*



Механизм капиллярной конденсации.

Image credit: Arati Banu via <https://youtu.be/mJVN4jxvbhs>

Активное заполнения воды в порах MOF следует называть капиллярной конденсацией, поскольку процесс происходит при давлениях воды значительно ниже давления насыщенного пара. Этот процесс проще всего описать следующим образом: постепенно, к стенкам сосуда прилипают молекулы воды, образуя маленький слой. К этому слою опять прилипают молекулы воды. Такие действия происходят по всей внутренней поверхности сосуда. В конце концов, все слои объединяются и образуется мениск воды.

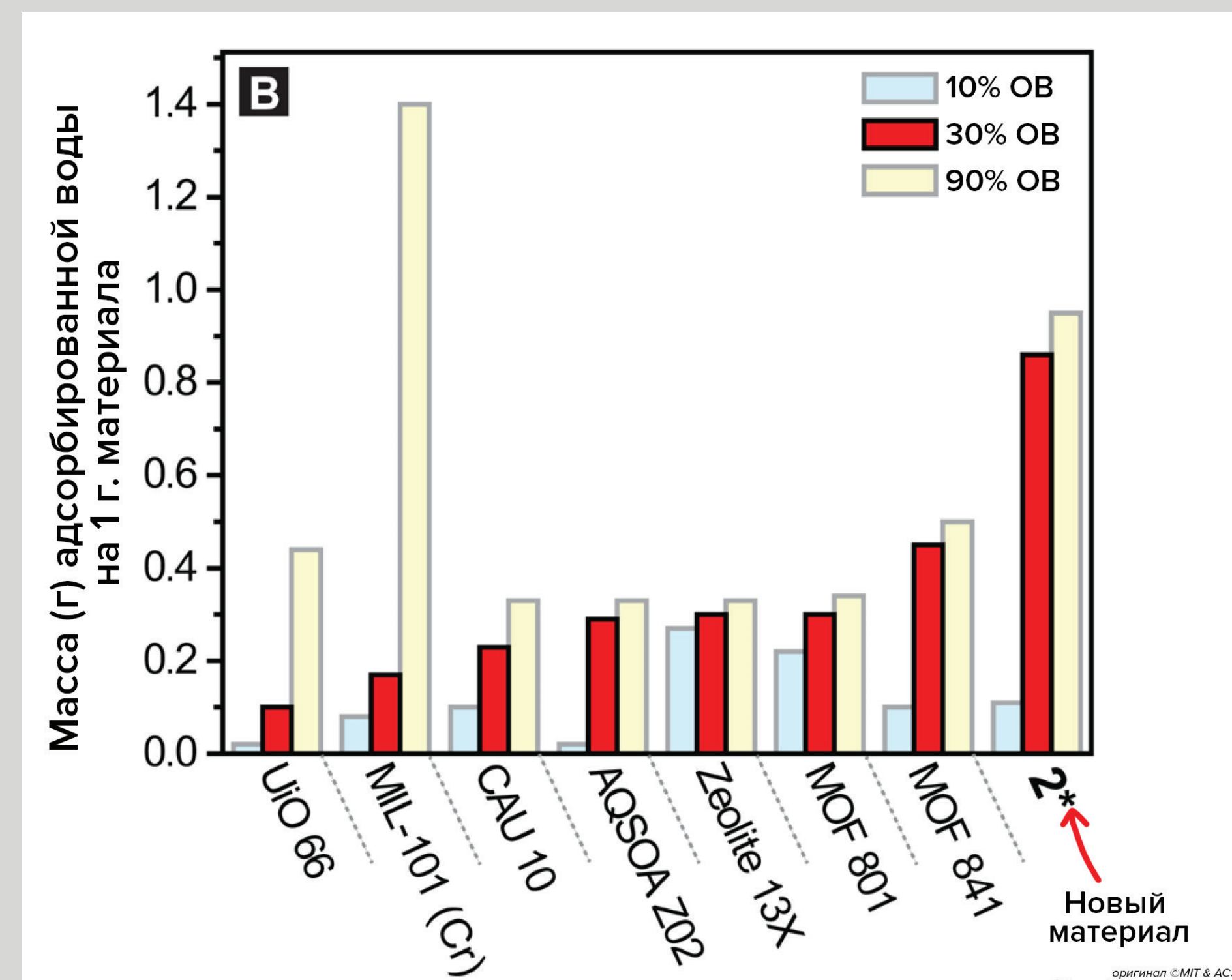
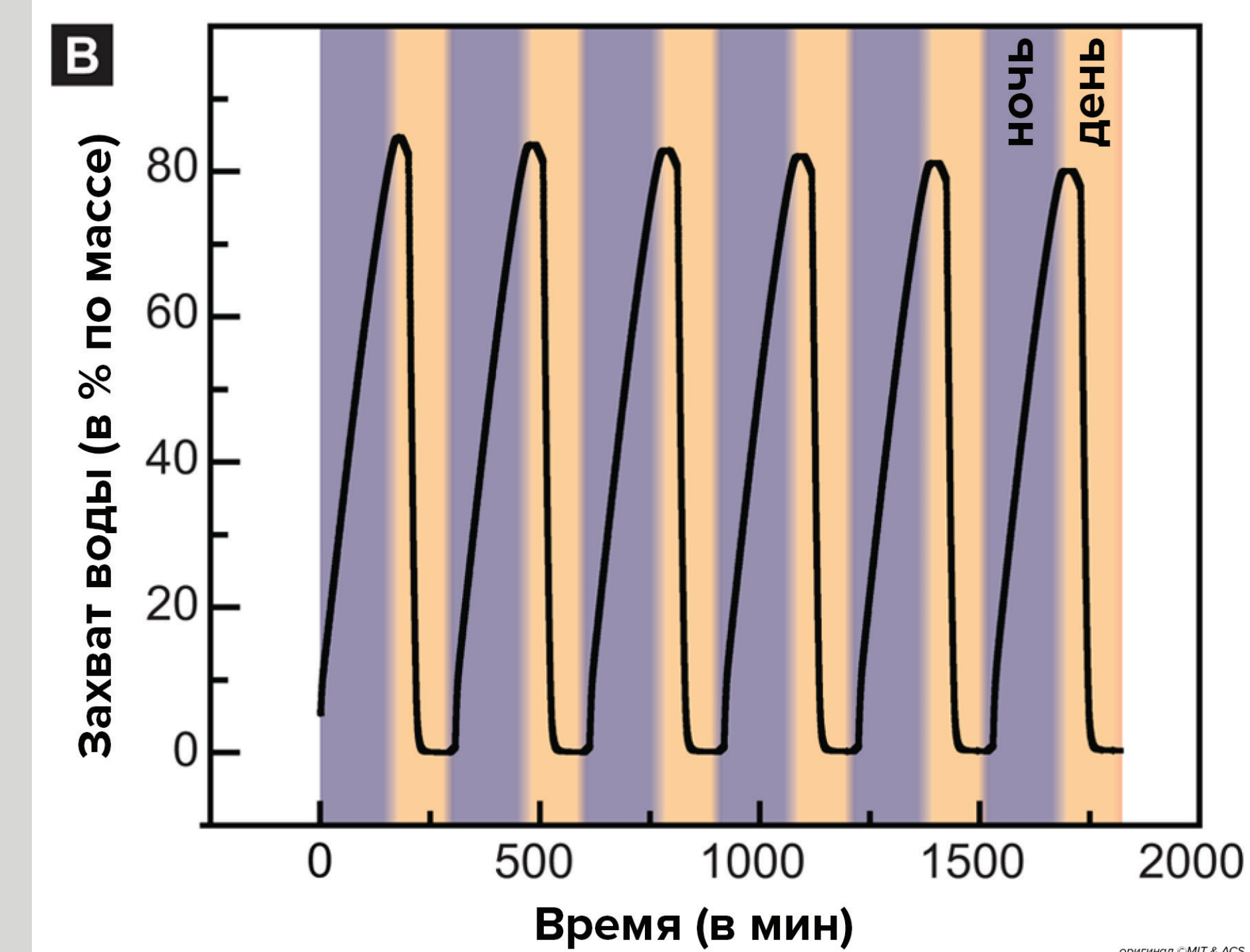


Рисунок 2. Сравнение разных материалов по их способности адсорбировать воду.

Для нового материала, порог значения ОВ при котором начинается резкий захват воды равен 28%. При этом лишь кобальт и никель являются подходящими металлами, поскольку, например, с ма-

териалом содержащим марганец происходит разрушение пористых структур при таких значениях ОВ. При ОВ равной 94%, материалы из кобальта и никеля поглощают до 968 и 766 грамм на килограмм материала соответственно. Практическую значимость имеет процесс захвата воды в диапазонах ОВ между 10% и 30%, поскольку именно в этих значениях работают тепловые насосы. Также, материалы работающие в этих диапазонах гораздо проще регенерировать.



Захват воды в AWG во время симуляции пустынных условий (45°C и ОВ 5% днем, 25°C и ОВ 35% ночью)

Потенциальная возможность генерации питьевой воды материала 2 в засушливых регионах, таких как пустыни Сонора, Атакама (одно из самых засушливых мест на планете, существенных осадков не наблюдалось уже более 400 лет) и пустынях Аравийского полуострова, была оценена при помощи стимуляции погодных условий в лаборатории. Использовались два режима: первый, стимулирующих день с 45 градусами Цельсия и 5% ОВ, и второй, стимулирующий ночь с 25 градусами Цельсия и 35% ОВ. Основываясь на теоретических вычислениях, предполагалось, что материал 2 будет способен поглощать до 820 грамм воды на килограмм материала ночью и выпускать днем. Это значение почти в два раза превышает предыдущий рекорд, который был поставлен MOF-841 (название материала) и был равен 420 граммам воды на килограмм материала. Продолжительное использование материала в стимулируемых природных условиях выдало значение в 847 грамм воды.

Еще более замечателен тот факт, что в апреле 2017 года, в журнале Nature вышла статья, где предлагался механизм устройства, который захватывал и генерировал до 300 мл воды на килограмм MOF-841, а новый материал по нашим оценкам будет генерировать до 870 мл. Суть того самого устройства крайне похожа на принцип работы холодильника. В некотором бло-

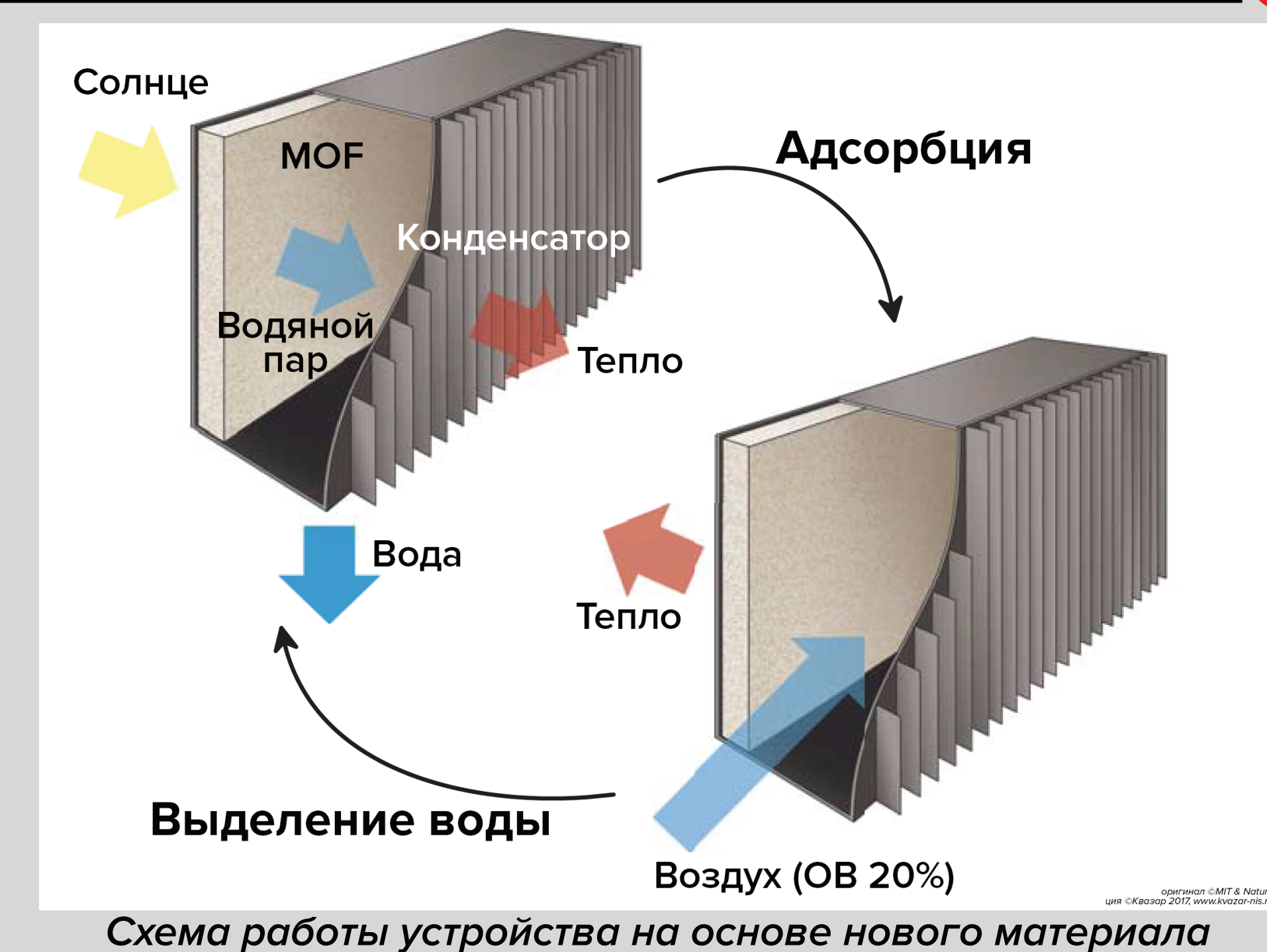


Схема работы устройства на основе нового материала

ке, одна из стенок покрыта новым материалом, а противоположная содержит конденсатор. В процессе захвата воды, снизу поступает воздух с значениями ОВ в 20%. В это время материал активно адсорбирует воду, а выделившаяся теплота уходит в окружающую среду. В процессе выделения воды, энергия солнца нагревает материал и вода начинает выделяться из материала при окружающей температуре. В итоге, мы получаем воду без никаких дополнительных затрат энергии.

Если использовать воду в качестве хладагента, а новый материал в качестве адсорбента, то возможно достичь градиента температур в 20 градусов, что является обязательным условием для использования в кондиционерах. При использовании в АТН, возможно достичь коэффициента полезного действия (КПД) в 88.5%, что является наивысшим значение среди всех пар хладагентов-адсорбентов.

Материал также прям просится использоваться в автомобилях, где двигатели внутреннего сгорания производят необходимый источник “лишнего” тепла. В реальной жизни, при внешней температуре в 32 градуса, кондиционер может выдавать воздух температурой в 12 градусов. Если же использовать новый материал в составе адсорбционных генераторов воды в регионах, где значения ОВ переходят через пороговое значение в 28% в течение суток, то можно будет добиться производства пресной воды без какой-либо инфраструктуры и серьезных капиталовложений.

И хоть конкретно данный материал не был еще запущен в производство, недавнее исследование показало, что с экономической точки зрения MOF можно будет производить не дороже, чем средства бытовой химии.

Все права на публикацию статьи “Record Atmospheric Fresh Water Capture and Heat Transfer at the Water Uptake Reversibility Limit” принадлежат журналу “American Chemical Society” и непосредственно авторам статьи под руководством профессора MIT Mircea Dinca. DOI: 10.1021/acscentsci.7b00186
Переведено с разрешения первоисточника.



©Квазар 2017
support@kvazar-nis.ru
www.kvazar-nis.ru
vk.com/granbudushego
All rights reserved