

БРОСИТЬ СВЕТ НА АТОМ

УЧЕНЫЕ УВЕРЕНЫ: ЧТОБЫ ПОНЯТЬ, КАК УСТРОЕНА ВСЕЛЕННАЯ, НУЖНО ПРОВЕРИТЬ ЕЕ НА ПРОЧНОСТЬ РЕНТГЕНОВСКИМ ЛАЗЕРОМ. И СФОТОГРАФИРОВАТЬ ТО, ЧТО ОСТАНЕТСЯ

Владимир Тихомиров

Рентгеновский лазер, яркость излучения которого на несколько порядков превосходит все существующие во Вселенной источники света, — это не фантастика, а вполне реальный международный проект. Осуществляется он в Германии и обозначен аббревиатурой XFEL, что расшифровывается так: X-ray Free-Electron Laser — рентгеновский лазер на свободных электронах.

В научном мире появления этого суперлазера ждут, пожалуй, с не меньшим нетерпением, чем несколько лет назад ожидали пуска Большого адронного коллайдера (БАК) под Женевой. Сравнение не случайное — у БАК и лазера XFEL похожие задачи: проверить теории о строении нашей Вселенной. Впрочем, прежде чем выяснять, какие именно открытия сулит мировой науке новый рентгеновский лазер, стоит присмотреться к логистике.

МЕСТО ДЕЙСТВИЯ Чтобы зажечь этот сверхмощный лазер, нужно пробурить под землей тоннель — из самого центра Гамбурга, где расположена лаборатория научно-исследовательского центра

В этом тоннеле под Гамбургом скоро смонтируют самый мощный в мире рентгеновский лазер



DESY (этой аббревиатурой назван немецкий электронный синхротрон — ускоритель элементарных частиц) на окраине города — в местечко Шенефельд. Там построена подземная экспериментальная лаборатория с залом общей площадью 4500 кв. м — это примерно как гамбургский стадион «Имтех Арена» на 57 тысяч зрителей, только упрятанный на глубину 14 метров. Причем тоннель длиной 5,7 км должен быть идеально прямым — лазерный луч, понятно, никаких искривлений не признает.

Копать немцы начали в 2009-м, а в сентябре 2013-го руководители центра DESY уже отпартовали о завершении первого цикла работ. Оставшаяся часть — возведение наземных сооружений и установка самого лазера — займет еще три года, до лета 2016-го. За это время ученые должны собрать в тоннеле сверхпроводящий разгонный ускоритель: ведь этот лазер испускает не обычные фотоны, которые и так двигаются со скоростью света, а более крупные элементарные частицы — электроны, которые необходимо разогнать до субсветовых скоростей. Потому что только таким способом и можно проникнуть в тайны мироздания.

МИКРОСКОП ВМЕСТО ПУШКИ Поклонники фантастических фильмов в кур-

се: сверхмощный лазерный луч — оптимальное оружие, если нужно что-то взорвать. Например, вражеский звездолет или даже целую планету. Но ученые изобретательнее режиссеров: используя лазер, они планируют сделать трехмерные фотографии наномира.

Дело в том, что рассматривать очень мелкие объекты довольно трудно из-за существующего ограничения самой природы световых волн. Длина волн падающего на объект света не может превосходить размеров этого объекта, иначе «картинки» просто не будет. Значит, для того чтобы рассмотреть нечто, сопоставимое по своим размерам с атомом, нужно использовать не обычный свет, а источники коротковолнового электромагнитного излучения — например, лазер, работающий в рентгеновском диапазоне.

Работа над созданием таких лазеров шла с самого начала 1970-х по обе стороны железного занавеса — первоначально эти лазеры предполагалось использовать вовсе не для рентгеновской кристаллографии, а для создания космического оружия, которое могло бы уничтожать вражеские ракеты и спутники. Но потом физики обнаружили у своих лазерных пушек любопытный побочный эффект: при помощи этого лазера можно получить дифракционную картинку

высокого разрешения объектов размером меньше нанометра.

Но сначала несколько слов о явлении, именуемом дифракцией, — это своего рода «третий способ» распространения света помимо отражения и преломления. Например, если вы возьмете обычный компакт-диск и покачаете его в руках, то вы увидите, как от зеркальной поверхности в разные стороны расходятся разноцветные лучи. То есть вырезанная лазером микроскопическая бороздка диска разбивает волны видимого света на отдельные волны разной длины. И по распределению этих волн можно составить описание этой самой бороздки — ее глубину, ширину и т.д. Также, используя это явление, можно из всего оптического спектра выбрать самые короткие рентгеновские волны и с их помощью «увидеть» отдельные атомы — либо в виде дифракционной решетки, либо, как это стало возможным сейчас, просто сфотографировать их.

К примеру, еще в 1915 году ученые Генри и Лоуренс Брэгги были удостоены Нобелевской премии «за заслуги в исследовании структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей». Получив при помощи рентгеновских лучей дифракционный «портрет» кристалла поваренной соли, они установили, что поваренная соль состоит не из молекул натрия и хлора,

а из расположенных определенным образом атомов натрия и атомов хлора. Какое бы, невелика разница, но именно это открытие кристаллографии и дало толчок к научному прорыву в исследовании микромира. Не случайно в 1953 году Лоуренс Брэгг уже занимал пост директора Кавендишской лаборатории в Кембридже и руководил работой молодых ученых — Джеймса Уотсона, Френсиса Крика и Розалинды Франклин, которые с помощью методов рентгеновской кристаллографии смогли построить трехмерную модель молекулы ДНК, знаменитую «спираль». Уотсон и Крик, в свою очередь, получили за эти работы Нобелевскую премию по физиологии.

ГИПЕРБОЛОИД АКАДЕМИКА ГИНЗБУРГА

Тем не менее и рентгеновская кристаллография тоже имела свои ограничения — дифракционная решетка могла «поймать» только достаточно крупные молекулы и атомы. О том, чтобы увидеть более мелкие частицы — например, электрон или протон, — и речи быть не могло. И все это время физики мечтали о создании рентгеновского лазера, обладающего более короткими волнами. И дело не в том, что ученые не могли создать мощной лазерной установки — нет, в этом отношении у исследователей были развязаны руки, а в 1980-е годы для

накачки боевых лазеров предлагалось использовать даже атомные бомбы. Проблема в другом: расчеты показывали, что рентгеновский лазер с короткими волнами моментально сжигает любой объект, который предстояло исследовать с его помощью.

И вот некоторое время назад ученые придумали, как решить эту проблему.

тонных туннелей, в каждом из которых расположены сверхмощные магниты-ондуляторы, заставляющие электроны лететь не прямо, но по кривой траектории, похожей на синусоиду. Система похожа на удар кнута — одна синусоида накладывается на другую, и в точках экстремума концентрируется импульс огромной мощности, способный

тивных лекарств. Интересна и перспектива расшифровки трехмерной структуры белков, после которой можно будет говорить о новой революции в биологии, медицине, генетике. Так что проект XFEL не только передовой край фундаментальной науки, но и важный инструмент для практической работы.

ВСЕЛЕННАЯ КАК ГОЛОГРАММА Одну из задач, которые физики собираются решить на сверхмощном лазере, стоит выделить особо. Речь идет о разрешении одного из самых проклятых вопросов в теории мироздания — о голографической природе Вселенной.

Все началось в 1986 году, когда французский физик Ален Аспе в Институте оптики решил поставить несколько экспериментов, чтобы доказать одну из фундаментальных теорий квантовой физики — принцип корпускулярно-волнового дуализма, согласно которому

В лаборатории научно-исследовательского центра DESY в ожидании часа X экспериментируют с лазерами малой мощности

фотоны являются как элементарными частицами вещества, так и имеют волновую природу. В ходе опытов профессор Аспе обнаружил странный эффект: в определенных условиях фотоны способны мгновенно сообщаться друг с другом независимо от расстояния между ними. Другими словами, каким-то образом все фотоны связаны друг с другом в некую информационную сеть, которая моментально передает информацию от

С помощью генераторов переменных магнитных полей (на фото) электроны можно разогнать почти до скорости света

одного фотона к другому, причем расстояние между фотонами не имеет никакого значения. Неважно, 10 см между фотонами или 100 млрд световых лет — фотоны сообщаются друг с другом мгновенно. Что невозможно, ибо это открытие ставит под сомнение постулат Эйнштейна о том, что скорость света является предельной скоростью распространения взаимодействия. Значит, получается, что либо эксперимент неверен, либо надо пересматривать всю теорию Эйнштейна.

Поскольку проверить опыт Аспе более совершенными техническими средства-

зные ученые, первым с гипотезой о голографическом устройстве мира выступил Дэвид Бом из Лондонского университета, предположивший, что элементарные частицы взаимодействуют на любом расстоянии не потому, что они обмениваются таинственными сигналами между собой, а потому, что они связаны между собой на каком-то ином уровне, невидимом для нашего мира. Далее эту теорию поддержали лауреат Нобелевской премии по физике Герард Хоофт из Утрехтского университета и Леонард Зюскинд из Стэнфордского университета в США.

— Простой человек при слове «голограмма» вспоминает наклейку со своей кредитной карточки с изображением объемного голубя, — объяснял теорию голографичности Вселенной сам Ален Аспе, не так давно побывавший у российских коллег в Москве. — Но когда мы говорим, что Вселенная рассматривается в виде голограммы, то подразумевается, что реальность представляет собой картину в виде интерференции или сложения множества волн.

Как работает волновая интерференция, показал еще 1787 году немецкий физик Эрнст Хладни. На пластинку из стекла, закрепленную в нескольких точках, насыпается обычный песок. Далее по краям пластинки начинают водить натертыми канифолью скрипичными смычками, из-за чего на пластинке появляются динамические и акустические волны. Смещение этих волн дает удивительные по красоте фигуры, которые так и называются — «фигуры Хладни»: песок собирается на узловых линиях и точках, исчезая из тех мест, где одна амплитуда волны накладывается на другую. Профессор Аспе полагает, что подобным образом интерференция волн сформировала из элементарных частиц и нашу Вселенную: в узловых точках образовались ступки праматерии, из которых потом образовалось вещество звезд и планет, в местах же сложения различных волн образовался вакуум.

А вот откуда пошли эти волны — неизвестно. Впрочем, профессор Аспе сосредоточен на другом: как проверить теорию голографической Вселенной?

И здесь на помощь может прийти свойство упорядоченности, присущее обычным голограммам. Галактика повторяет строение Вселенной, Солнечная система повторяет строение Галактики, а строение атома — Солнечную систему: электроны вращаются вокруг ядра, как планеты — вокруг Солнца. То есть для подтверждения голографической теории мироздания вовсе не обязательно

Оказывается, лазер нужно запускать на очень короткий промежуток времени — примерно на 100 фемтосекунд. Это 100 квадриллионных долей секунды — за этот отрезок времени обычный свет проходит расстояние в 30 микрон. И только за такой короткий промежуток времени можно было успеть зафиксировать дифракционный «портрет» атома, прежде чем импульс его уничтожит.

Но как достичь мощного импульса за столь крохотный промежуток времени? И здесь немецкие ученые воспользовались теорией о генерации лазерно-

в доли секунды прожечь любую броню. Поэтому-то большая часть площади огромной подземной лаборатории занимает тугоплавкие щиты — чтобы лазер не сжег чего-нибудь лишнего.

— Зато теперь у исследователей всего мира появится научный инструмент, с помощью которого можно будет изучать строение биологических структур в атомном масштабе, — разъясняет доктор Бернд Эбелинг из Центра DESY. — В частности, следить за молекулярными и атомарными процессами, происходящими в неорганических материалах

го рентгеновского излучения, разработанной еще более 30 лет назад в новосибирском Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера. В основе этого метода генерации лежит принцип использования разнополюсных магнитов — так называемых ондуляторов, предложенный еще в 1947 году советским ученым Виталием Гинзбургом. Только представьте себе: разогнанные до субсветовой скорости электроны попадают из разгонной «трубы» в «веер» из пяти так называемых фо-

и патогенных микроорганизмах, в режиме реального времени. Можно будет мгновенно регистрировать фазовые переходы в молекулах, в перспективе такие исследования помогут лучше познать природу самого вещества, а значит, научиться конструировать новые материалы с заданными свойствами. Также можно изучить на атомарном уровне природу вирусов. Если удастся увидеть, как вирусы атакуют клетку, можно найти ключ к созданию более эффек-

ми тогда не было никакой возможности, эту проблему просто отложили в долгий ящик — пускай будущие поколения как-нибудь выкручиваются. Впрочем, это не помешало целому ряду физиков работать на основе открытия Аспе теорию о голографической Вселенной. Дескать, никакой реальности не существует, а окружающий наш мир — это всего лишь проекция какой-то другой Вселенной.

Казалось бы, абсурдная теория. Но все дело в том, что ее стали отстаивать се-

изучать макромир, но достаточно лишь подсветить лазером все тайны строения микромира.

Задумка простая — нужно при помощи лазера увидеть «живую» картинку того, как в результате слияния двух волн из вакуума образуется атом. Если это удастся, в фундаментальной физике состоится мощное сотрясение всего фундамента. Впрочем, об этом лучше поговорить в 2016 году — когда лазер XFEL будет готов к работе. ■■