

Создано самое мощное терагерцовое излучение, способное превратить атомы и молекулы в плазму.

Группа ученых из Кореи и США создала самые мощные в мире терагерцовые импульсы, способные мгновенно ионизировать атомы и молекулы, превращая их в плазму. Исследование, опубликованное в журнале *Light: Science & Applications*, описывает процесс туннельной ионизации под воздействием терагерцовых волн, что открывает новые горизонты в изучении экстремальной нелинейной и релятивистской терагерцовой физики в плазме.

Терагерцовый диапазон, расположенный между микроволновым и инфракрасным спектрами, стремительно осваивается благодаря разработке новых источников и детекторов. Это открывает перспективы для применения в спектроскопии, визуализации, сенсорах и коммуникациях. Высокоэнергетические терагерцовые источники особенно полезны для наблюдения и использования новых нелинейных взаимодействий терагерцового излучения с веществом, где ключевую роль играют электрические и магнитные поля.

Команда ученых под руководством доктора Чула Канга из Института исследований фотоники в Гванджу (Корея) и профессора Ки-Йонга Кима из Института исследований электроники и прикладной физики в Университете Мэриленда (США) создала самые мощные в мире терагерцовые поля с пиковым значением 260 мегавольт на сантиметр (МВ/см) или эквивалентной пиковой интенсивностью  $9 \times 10^{13}$  ватт на квадратный сантиметр (Вт/см<sup>2</sup>).

Для получения высокоэнергетических терагерцовых импульсов ученые использовали лазер на титан-сапфире мощностью 150 тераватт для преобразования оптической энергии в терагерцовое излучение методом оптической ректификации в кристалле ниобата лития (LiNbO<sub>3</sub>). Особо крупный диаметр (75 мм) ниобат лития, дополнительно легированный 5% оксидом магния (MgO), позволил добиться масштабируемого по энергии терагерцового излучения.

Для эффективного преобразования оптического излучения в терагерцовое необходимо учитывать фазовое согласование. "Если оптический лазерный импульс, генерирующий терагерцовое излучение, распространяется с той же скоростью, что и генерируемые терагерцовые волны в ниобате лития, то выходная энергия терагерцового излучения может непрерывно расти с расстоянием распространения", объяснили ученые.

Обычно для фазового согласования используется метод наклонного фронта импульса в

призматическом ниобате лития. Однако этот метод преимущественно генерирует низкочастотное терагерцовое излучение с пиком менее 1 ТГц, что ограничивает пиковую силу терагерцового поля.

Команда ученых обнаружила новое условие фазового согласования в ниобате лития, не требующее наклона фронта импульса. "Скорость терагерцовых волн зависит от частоты и сильно варьируется между двумя частотами резонанса фононов, что создает условия, при которых терагерцовые и лазерные импульсы распространяются с одной скоростью. Это происходит примерно на частоте 15 ТГц для лазерных импульсов на титан-сапфире с центральной длиной волны 800 нм. Такое фазовое согласование позволило создать терагерцовые волны с энергией на уровне миллиджоулей", отметили ученые.

Ученые точно определили пиковые значения электрического и магнитного полей —  $260 \pm 20$  МВ/см и  $87 \pm 7$  Т соответственно, путем измерения энергии терагерцового излучения, размера фокальной пятна и длительности импульса.

"Такой интенсивный терагерцовый импульс, сфокусированный в газообразной или твердой среде, способен туннельно ионизировать атомы или молекулы, превращая среду в плазму. В качестве доказательства концепции мы продемонстрировали ионизацию различных твердых целей, включая металлы, полупроводники и полимеры", подчеркнули ученые.

Исследователи считают, что их работа откроет новые возможности не только для изучения нелинейных эффектов в терагерцовой плазме, но и для использования терагерцовых сил в различных приложениях, включая многокиловольтное терагерцовое гармоническое поколение и изучение релятивистских эффектов с помощью ускоренных терагерцами электронов.