

УДК 538.9

Г. Н. Кулипанов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 11, Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: G.N. Kulipanov@inp.nsk.su

**ГЕНЕРАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ:
ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

В статье кратко описана история исследований в терагерцовой области спектра, недавние достижения и ближайшие перспективы.

Ключевые слова: терагерцовое излучение, генерация, применение.

G. N. Kulipanov

**GENERATION AND APPLICATION OF TERAHERTZ RADIATION:
HISTORY AND PERSPECTIVE**

History of terahertz research as well as recent achievements and perspectives is briefly described in this paper.

Keywords: terahertz radiation, generation, application.

Использование электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне – от радиоволн до рентгеновского излучения – играет важную роль как в повседневной жизни, так и в познании мира (рис. 1). Современная жизнь практически невозможна без радио, телевидения, сотовых телефонов, СВЧ-печек, оптоволоконной связи. Все великие географические открытия прошлых столетий были сделаны путешественниками, использовавшими для ориентации карту звездного неба, созданную наблюдательной астрономией в видимом диапазоне. Квантовая механика в 30-х годах прошлого столетия возникла на базе результатов атомной спектроскопии, использующей ультрафиолетовое и мягкое рентгеновское излучение. Развитие современной биологии существенным образом обязано развитию рентгеновских дифракционных методов исследования биологических объектов (двойная спираль ДНК, белковая кристаллография).

Удивительным фактом является то, что терагерцовая область электромагнитного спектра, лежащая в пределах 0,3–20 THz (что соответствует длинам волн от 900 мкм до 15 микрон), до недавнего времени была мало востребована. В основном это было связано с отсутствием хороших источников излучения в этой области спектра, так как реально доступны были только мало интенсивные ртутные лампы, которые использовались лишь для метрологии и еще некоторых исследований.

Терагерцовая область лежит по частотам выше вакуумной СВЧ-электроники (клизотроны, магнетроны, ЛБВ, ЛОВ), но ниже, чем фотоника (инфракрасные и оптические лазеры). Последние двадцать лет, благодаря развитию методов генерации терагерцового излучения на базе мощных пикосекундных лазеров, твердотельных квантовых каскадных терагерцовых лазеров, источников, основанных на электронных пучках (лампы

обратной волны, гиротроны, источники когерентного терагерцового синхротронного излучения, мощные перенастраиваемые терагерцовые лазеры на свободных электронах), интерес к исследованиям в терагерцовой области резко вырос (рис. 2).

Это обусловлено также особыми свойствами терагерцового излучения:

- это неионизирующее излучение (энергия фотонов 0,1–0,001 эВ);
- излучение хорошо проходит через мутные среды и мелкодисперсные материалы из-за резкого подавления рэлеевского рассеяния ($1/\lambda^4$);
- это область вращательных спектров молекул, колебаний биологически важных коллективных мод ДНК и белков, колебаний твердотельной плазмы;
- атомные спектры высоко возбужденных ридберговских состояний лежат в терагерцовой области;
- это область водородных связей и вандер-ваальсовских сил межмолекулярного взаимодействия;
- энергия фотонов терагерцового излучения лежит в области энергетической щели сверхпроводников.

До недавнего времени источники терагерцового излучения в небольших количествах были в физических лабораториях и почти полностью отсутствовали в химических, биологических и медицинских лабораториях. Создание лазеров на свободных электронах как источников терагерцового излучения позволило создать на их базе в США, Голландии, Японии и Новосибирске центры коллективного пользования, которые используются учеными разных специальностей. Национальные программы использования терагерцового излучения созданы в США, Японии и Европе. Области исследований с помощью терагерцового излучения являются биология и медицина, физика и материаловедение, аналитическая химия, экология и многие другие.

Прогресс исследований в терагерцовой области, безусловно, будет связан с созданием перестраиваемых по длинам волн компактных лазеров на свободных электронах и компактных источников когерентного синхротронного излучения, спектральная мощность которых в $10^3 \div 10^6$ раз превышает мощность источников другого типа (рис. 3).

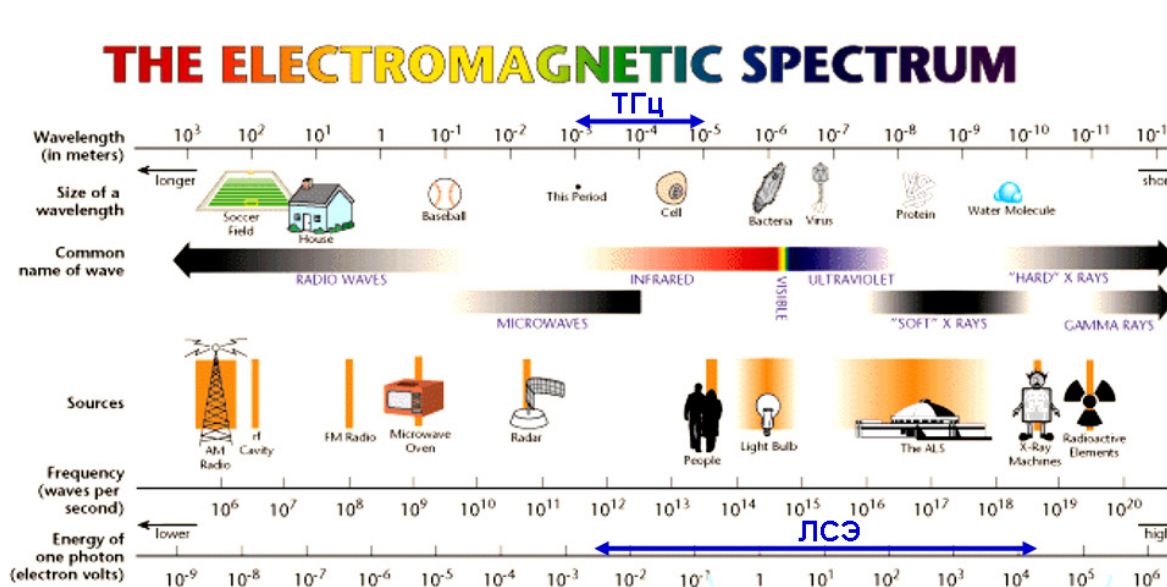


Рис. 1. Шкала электромагнитных волн. Отмечены: терагерцовый диапазон и спектральная область излучения действующих и строящихся лазеров на свободных электронах (ЛСЭ)

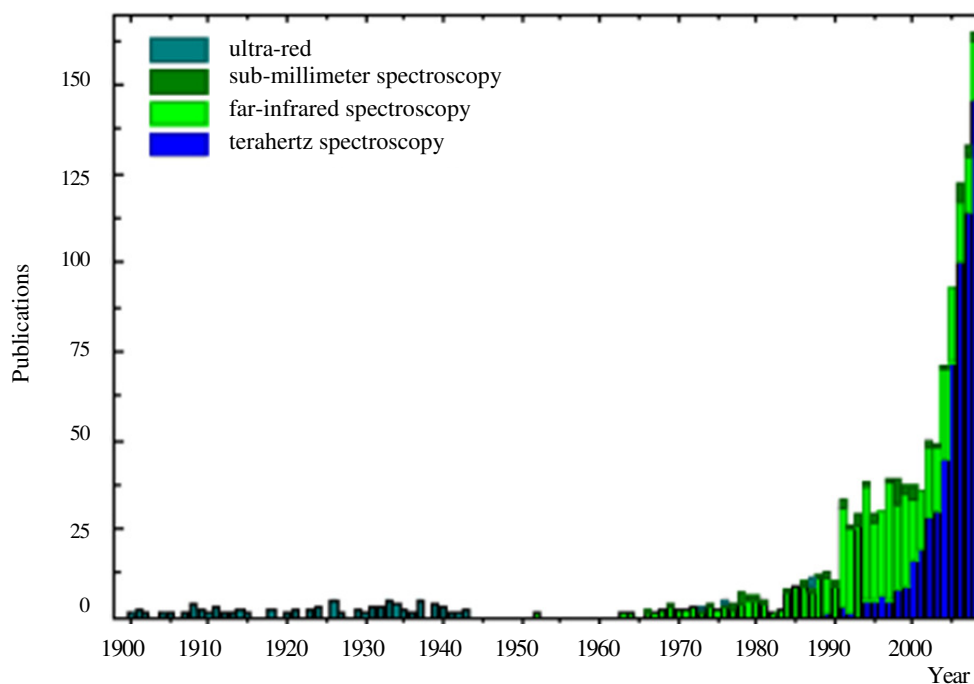


Рис. 2. Количество публикаций по терагерцовой спектроскопии (виден резкий рост в последние два десятилетия)

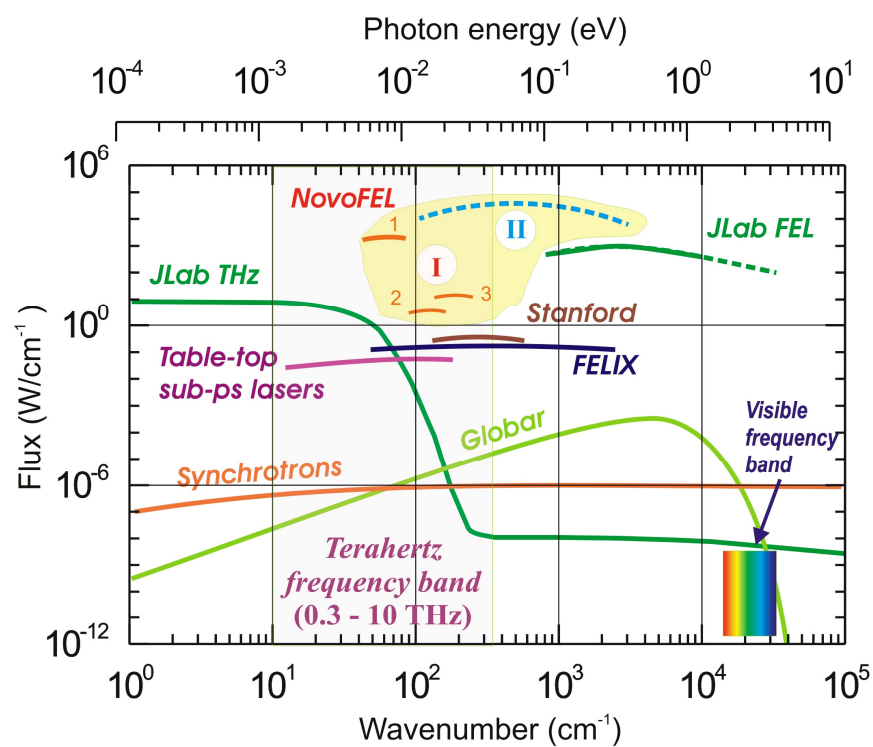


Рис. 3. Средняя спектральная мощность различных источников терагерцового излучения

Так, использование Новосибирского лазера на свободных электронах в качестве терагерцового источника излучения позволяет:

- плавно перестраивать длину волны излучения в диапазоне 110–240 микрон с монохроматичностью лучше 0,3 %;
- иметь большую среднюю мощность (до 500 Вт);
- иметь короткие импульсы излучения (меньше 100 пс);
- иметь большую пиковую мощность (0,5–1 МВт);
- иметь полностью пространственно когерентный источник с длиной продольной когерентности ~ 2 см.

Безусловно, развитие исследований требует также и создания экспериментальной аппаратуры – фокусирующих элементов, монохроматоров, детекторов (одно- и двухкоординатных), поляризаторов, фильтров.

Как всегда вокруг нового направления, с одной стороны, возникает много спекуляций и необоснованных надежд, с другой – появляются неожиданные предложения, открывающие новые возможности, новые методы исследований и новые технологии.

Материал поступил в редколлегию 09.09.2010