

**ЛАЗЕРЫ НА
СВОБОДНЫХ
ЭЛЕКТРОНАХ.
РАЗЕРЫ, ГРАЗЕРЫ.**

Лазер на свободных электронах (FEL) – вид лазера, излучение в котором генерируется моноэнергетическим пучком электронов, распространяющимся в ондуляторе – периодической системе отклоняющих (электрических или магнитных) полей. Электроны, совершая периодические колебания, излучают фотоны, энергия которых зависит от энергии электронов и параметров ондулятора.

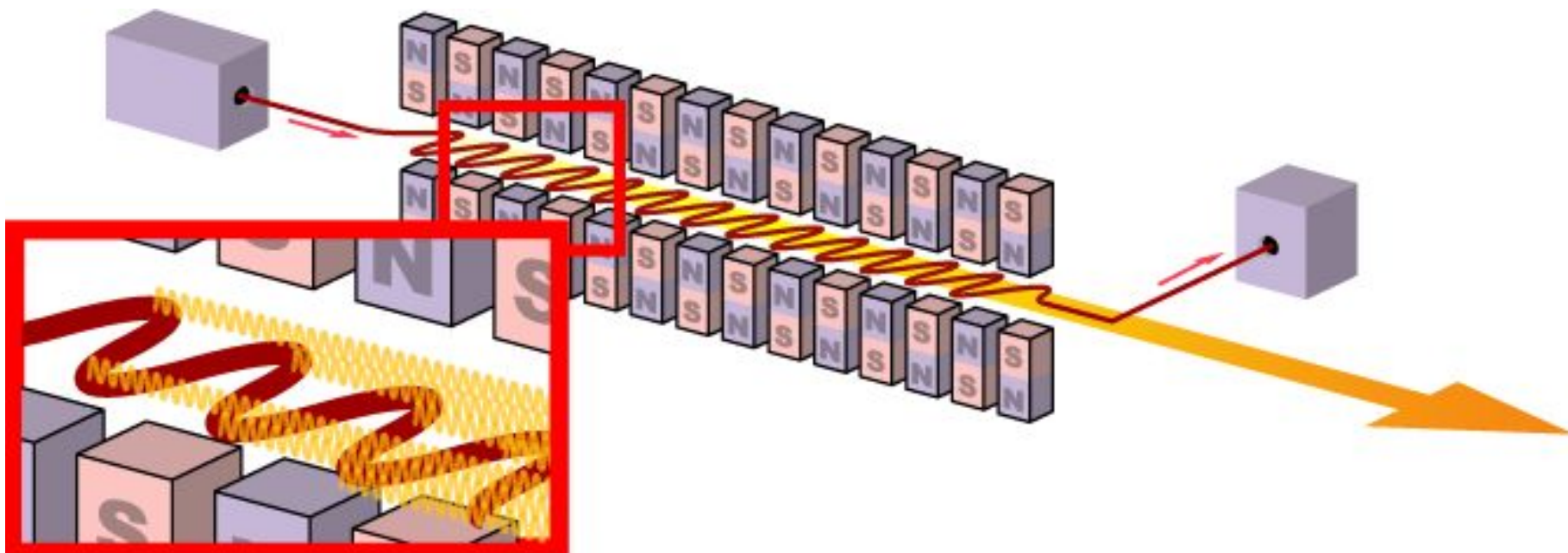


Рисунок 1 – получение рентгеновских лазерных лучей.

В отличие от газовых, жидкостных или твердотельных лазеров, где электроны возбуждаются в связанных атомных или молекулярных состояниях – у FEL источником излучения является пучок электронов в вакууме, проходящий сквозь ряд расположенных специальным образом магнитов – *ондулятор* (вигглер – устройство для генерации когерентного синхротронного излучения в электронном накопителе-синхротроне.), заставляющий пучок двигаться по синусоидальной траектории, теряя энергию, которая преобразуется в поток фотонов. В результате вырабатывается мягкое рентгеновское излучение, применяемое, например, для исследования кристаллов и других наноструктур.

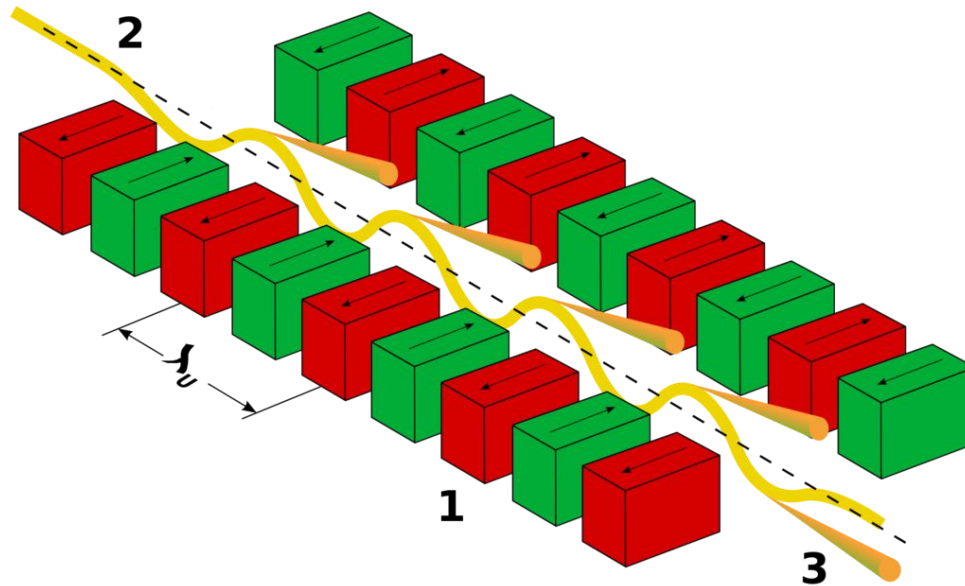


Рисунок 2 – Схематическое изображение ондулятора. 1 – магниты; 2 – электронный пучок; 3 – синхротронное излучение.

Рентгеновский лазер (также иногда встречается название разер) – источник когерентного электромагнитного излучения в рентгеновском диапазоне, основанный на эффекте вынужденного излучения. Является коротковолновым аналогом лазера. В более широком смысле рентгеновскими лазерами называют любые устройства, способные генерировать когерентное рентгеновское излучение.

По сравнению с оптическим диапазоном лазерная генерация в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах обладает следующими сложностями:

- С уменьшением длины волны сильно падает эффективность лазерного усиления;
- В рентгеновском диапазоне отсутствуют хорошие зеркала, что делает затруднительным создание резонаторов.

Для генерации в рентгеновском диапазоне нужны значительно большие мощности накачки. В рентгеновских лазерах в узком смысле в качестве активной среды обычно используется горячая плазма. Именно для таких лазеров достигнуты наибольшие успехи. Наименьшая длина волны, для которой продемонстрирован лазерный эффект составляет 3,56 нм.

Для создания лазерного рентгеновского излучения необходим пучок электронов, разогнанный в синхротроне до скорости, близкой к скорости света. Полученный пучок направляется в вигглер.

Вигглер представляет собой магнит, создающий сильное поперечное знакопеременное магнитное поле. Его можно представить себе как последовательность коротких дипольных магнитов, полярность каждого следующего из которых противоположна предыдущему. Вигглер устанавливается в прямолинейный промежуток электронного синхротрона, и ультрарелятивистский пучок проходит в нём по извилистой траектории, близкой к синусоиде, излучая фотоны в узкий конус вдоль оси пучка. Типичный диапазон длин волн синхротронного излучения, генерируемого вигглером, от жёсткого ультрафиолета до мягкого рентгена, хотя существуют вигглеры с энергией генерируемых квантов до нескольких МэВ.

Вигглер, помещённый в резонатор –простейшая модель лазера на свободных электронах. Магниты, из которых собран вигглер, могут быть обычными электромагнитами, сверхпроводящими, либо постоянными. Типичное магнитное поле вигглера до 10 Тесла. Мощность получаемого синхротронного излучения до сотен кВт.

В настоящее время рентгеновский лазер требует использования ускорителей электронов со встроенной защитой (поскольку ускоренные электроны представляют значительную лучевую опасность). Эти ускорители могут представлять собой циклические машины, или линейные ускорители. Имеются также проекты использования сверхмощного лазерного излучения для ускорения электронов. Сам электронный луч обычно поддерживается в вакууме, который требует использования многочисленных насосов на пути луча.

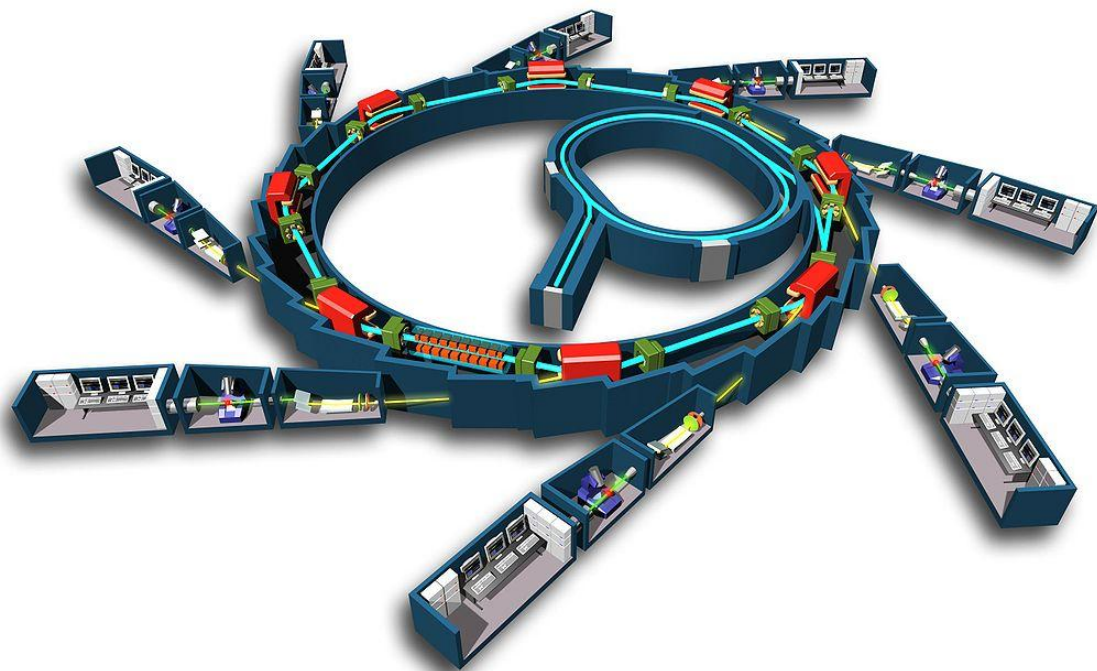


Рисунок 3 - Изображение ускорителя заряженных частиц

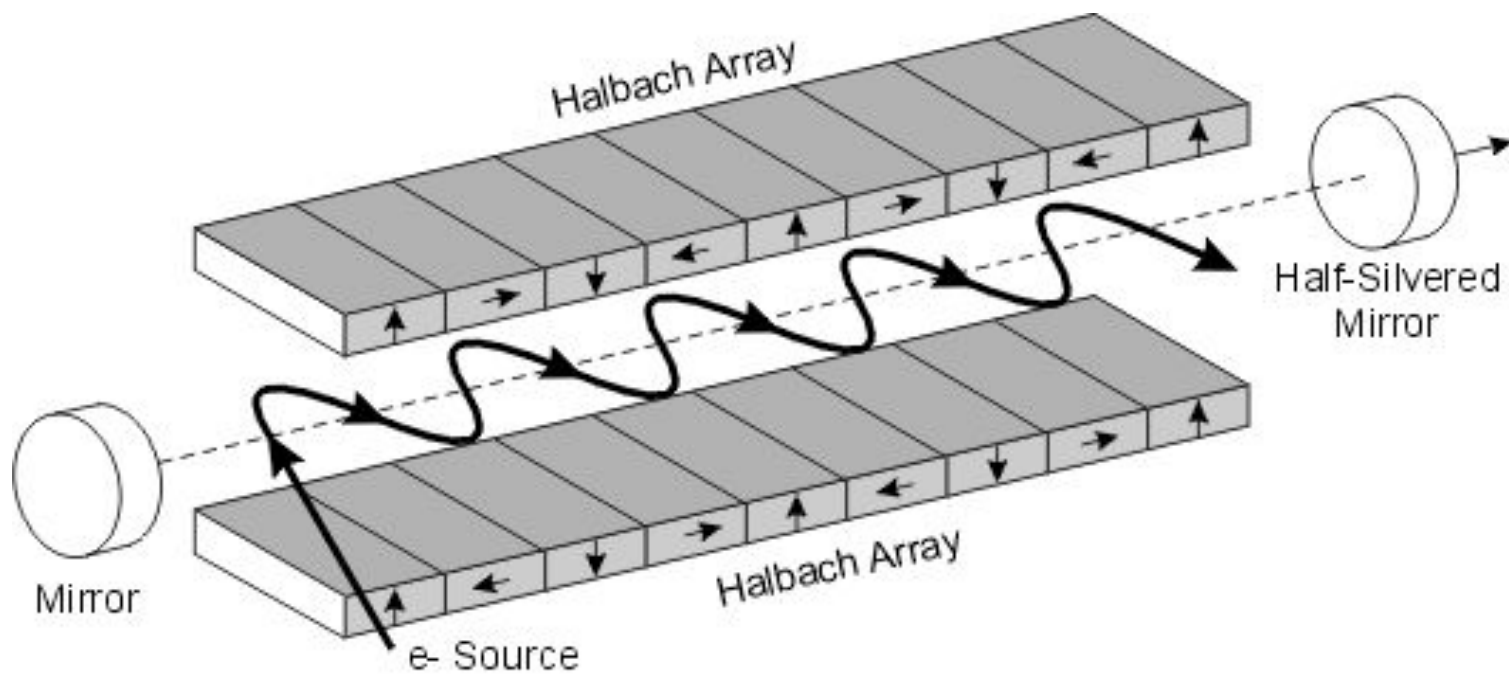


Рисунок 4 –
Вигглер
Хальбаха

Применяется для кристаллографии и изучения строения атомов и молекул (лазерная рентгеновская микроскопия).

Рентгеновские лазеры, включая FEL, способны создавать «мягкое» рентгеновское излучение с длиной, которая используется в медицинских целях. Оно не может проникнуть даже через лист бумаги, но идеально подходит для зондирования ионизированных газов с высокой плотностью энергии (чем короче длина волны, тем глубже луч проникает в плотную плазму), а также для исследования новых и существующих материалов.

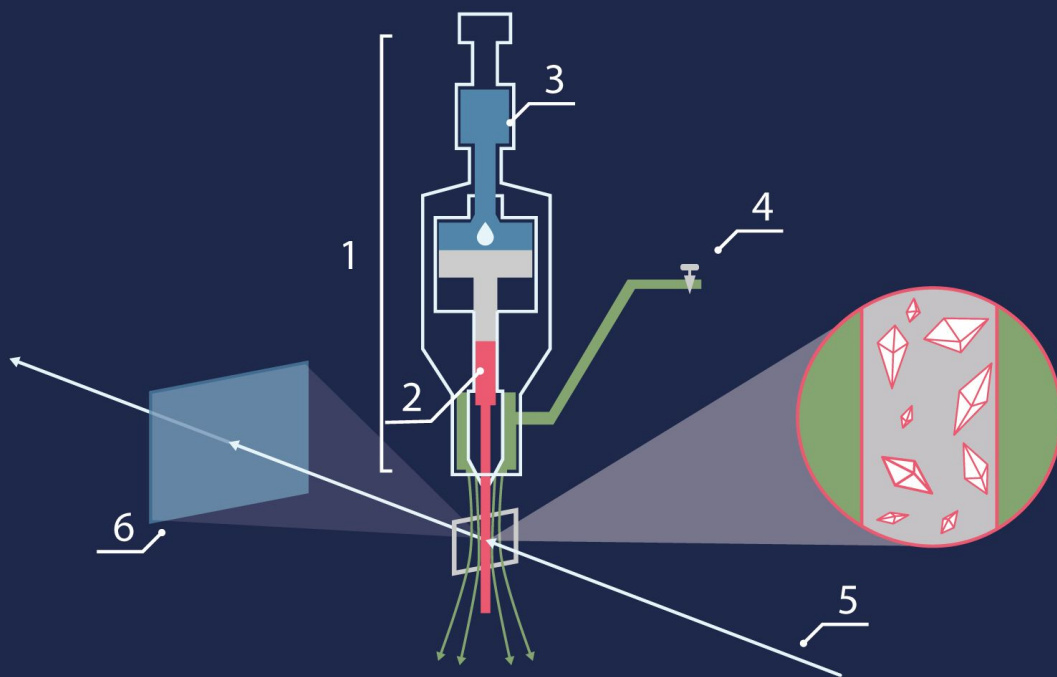


Рисунок 5 – Схема эксперимента по фемтосекундной рентгеновской кристаллографии. С помощью инжектора (1) кристаллы белка, растворённые в липидной среде (2) просвечиваются рентгеновским лучом (5), после чего рассеянный луч попадает на детектор (6). Давление в инжекторе создаётся с помощью гидравлического поршня (3), для сохранения прямой формы липидной струи специально подают поток газа (4).

Гамма-лазер (также гразер или газер) – усиление гамма-излучения с помощью вынужденного излучения) — квантовый генератор когерентного гамма-излучения. Идея гамма-лазера возникла в связи с появлением лазера и открытием эффекта Мёссбауэра. Пока генерация вынужденного излучения в гамма-диапазоне не осуществлена.

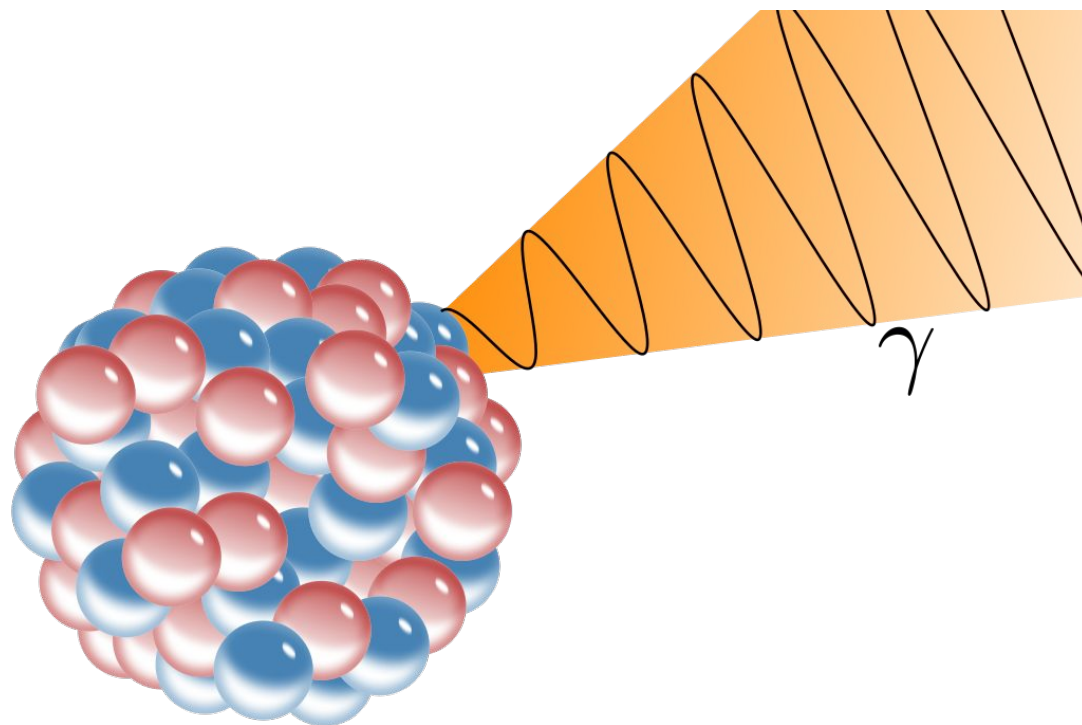


Рисунок 6 – гамма
излучение

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**