

Регистрация конверсионного распада ядер железа, возбужденных излучением плазмы мощного фемтосекундного лазерного импульса

Головин Григорий Владимирович

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: deer68@yandex.ru

Экспериментально исследовался распад возбужденных ядер мишени из ^{57}Fe с энергией 14 кэВ и временем жизни 98 нс в основное состояние. Возбуждение ядер происходило излучением плазмы, которая образовывалась на поверхности мишени под воздействием мощного фемтосекундного лазерного импульса со следующими параметрами: $W = 2\text{ мДж}$, $\tau = 60\text{ фс}$, $S_{\text{фокус}} = 12\text{ мкм}^2$. Интенсивность при этом составляла $\approx 10^{17}\text{ Вт/см}^2$.

Введение

Плазма, которая образуется на поверхности твердотельной мишени под воздействием мощного фемтосекундного лазерного импульса, представляет серьезный интерес для изучения. Это обусловлено ее твердотельной плотностью ($\approx 5 \cdot 10^{22}\text{ см}^{-3}$) и большими энергиями частиц за счет как столкновительных, так и бесстолкновительных механизмов поглощения из падающей световой волны. Так, для импульса уже «умеренной» ($\approx 10^{17}\text{ Вт/см}^2$) интенсивности, температура «горячего» электронного компонента достигает порядка 10 кэВ . Это позволяет говорить о возможности возбуждения низколежащих ядерных состояний как электронным ударом, так и прямым поглощением рентгеновского излучения плазмы ядром.

Распад возбужденных ядерных состояний возможен по двум каналам: радиационному и конверсионному. В первом случае свидетельствовать о произошедшем распаде будут гамма-кванты с энергией, соответствующей совершенному ядром переходу. Во втором – электроны, появление которых отстоит от момента возбуждения ядер на время, сопоставимое со временем жизни возбужденного уровня. Кроме этого электроны будут обладать энергией, равной разности энергии возбужденного уровня и энергии связи их с ядром.

В эксперименте использовалась мишень из железа (с 2% содержанием изотопа ^{57}Fe), потому что энергия возбуждения ядра этого изотопа составляет 14 кэВ , т.е. можно рассчитывать на эффективное возбуждение ядер, к тому же время жизни уровня – 98 нс , что обеспечивает необходимое для регистрации конверсионных электронов разнесение их и теплового компонента плазмы.

Для определения «продуктов» распада возбужденного состояния ядер ^{57}Fe были теоретически оценены парциальные коэффициенты конверсии на отдельные электронные оболочки, которые позволили найти спектр конверсионных электронов. Было показано, что основным «продуктом» распада являются конверсионные электроны с энергией 7.2 кэВ . Суть эксперимента по регистрации актов распада сводилась к измерению тока электронов из плазмы и выделению в нем конверсионного компонента на фоне шумовых электронов. Логично допустить, что количество шумовых электронов зависит от энергии регистрируемых частиц слабо, тогда в диапазоне энергий около 7.2 кэВ можно ожидать увеличения количества зарегистрированных электронов за счет конверсионных частиц.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из двух камер. В камере взаимодействия установлена мишень, которую с помощью двух шаговых двигателей можно перемещать в вертикальной плоскости. Лазерный пучок заводится в эту камеру через окно, предварительно фокусируясь на мишени посредством объектива. Положение фокусирующего элемента можно регулировать микрометрическим винтом. Электронная

компонента через соединяющую герметичную трубу попадает на электростатический спектрометр в камеру регистрации, где попадает на микроканальную пластину (МКП).

Обе камеры откачиваются до вакуума порядка 10^{-5} Торр системой из турбомолекулярного и форвакуумного насосов. Для юстировки установки и грубой фокусировки излучения используется гелий-неоновый лазер. Точная фокусировка производится по максимуму выхода рентгеновского излучения.

рис. 1: Схема экспериментальной установки

Результаты эксперимента

Были измерены электронные токи из плазмы при 30 различных значениях энергии регистрируемых электронов.

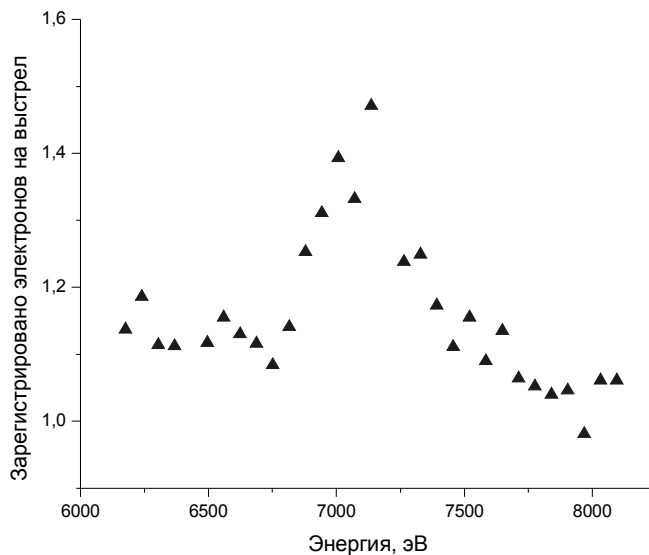


рис. 2: Зависимость количества зарегистрированных электронов от их энергии

Максимум зарегистрированных электронов соответствует энергии $7,1 \pm 0,1$ кэВ (расчетное значение $7,2$ кэВ), что позволяет идентифицировать данные электроны, как конверсионные. Ширина максимума составляет $0,7$ кэВ и обусловлена разрешающей способностью спектрометра.

Таким образом, впервые был зарегистрирован конверсионный распад возбужденного ядерного состояния, причем возбуждение ядер осуществлялось излучением плазмы мощного фемтосекундного лазерного импульса.