

## ВСПЫШКИ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ УЛЬТРАКОРОТКИХ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ВЕЩЕСТВО

Г.А. Аскарьян

Рассмотрены вспышки электронно-фотоядерных реакций при воздействии мощных ультракоротких световых импульсов на вещество.

Недавно начала быстро развиваться новая область оптики субпикосекундных и фемтосекундных импульсов сверхбольшой плотности мощности за  $10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup> и обсуждаться до  $10^{21}$  Вт/см<sup>2</sup> и выше (см., например, <sup>1-4</sup>) в ряде крупнейших научных центров США (Университеты Рочестера, Иллинойса), ФРГ (Институт М.Планка), СССР (МГУ, ФИАН) и др.

Было отмечено <sup>1</sup>, что в таких сильных полях электроны наружных оболочек атомов сразу отрываются от атомных остовов, т. к. напряженности светового поля  $E > E_B \approx e/a_B^2 \approx 10^7$  абс ( $10^{17}$  Вт/см<sup>2</sup>), в то время как остовы атомов (особенно электроны внутренних оболочек) остаются мало возмущенными, т. к. поля внутренних оболочек  $E_{in} \approx Ze/a_{in}^2 \approx Z^3 E_B$ , т. к. радиус орбиты  $a \approx a_B/Z$  поэтому  $E_{in} \gg E_B$  (например, при заряде ядра  $Z \gg 50$  получим  $E_{in} > 10^5 E_B$ ) (индекс Б — для Боровского радиуса водорода).

Но при  $E \approx m\omega c/e \approx mc^2/e\lambda \approx 2 \cdot 10^8$  абс ( $10^{19}$  Вт/см<sup>2</sup>) при длине волны  $\lambda \approx 10^{-5}$  см скорости выброшенных электронов становятся релятивистскими. В работе <sup>1</sup> отмечено, что такие электроны могут возбудить внутренние оболочки атомов, причем с гораздо большей вероятностью, чем в многофотонном процессе от самого светового поля. В работе <sup>4</sup> было рассчитано возбуждение внутренних оболочек атомов такими электронами.

Мы хотим обратить внимание на возможность наблюдения вспышки фотоэлектронноядерных реакций, вызванных появлением таких электронов при воздействии световых импульсов.

Действительно, в области энергии квантов и электронов порядка нескольких МэВ лежат пороги фотоядерных и электронно-фотоядерных реакций, причем их эффективность резко возрастает с увеличением энергии до десятков МэВ.

Для оценки вспышки реакции от появления таких электронов в среде можно прямо использовать суммарный выход реакций при налетании электронного пучка на мишень, при этом мы получим также и результаты, произведенные квантами, порожденными этими электронами. Во многих случаях фотоядерные реакции имеют гораздо большие сечения, чем электронноядерные (например,  $\sigma_{\gamma f} \approx 10^2 \sigma_{ef}$ , однако с учетом многократности столкновений электронов это различие может быть ослаблено). Например, известен суммарный выход нейтронов от реакций  $(\gamma n)$   $(\gamma f)$   $(en)$   $(ef)$  <sup>5</sup> при прямом воздействии электронного пучка на вещество, причем выход  $N_n/N_e$  МэВ от энергии электронов  $\epsilon_e$  нарастает почти линейно, нарастая от  $N_n/N_e \approx 2 \cdot 10^{-3}$  при энергии  $\epsilon_e \approx 10$  МэВ до  $N_n/N_e \approx 10^{-2}$  при энергии  $\epsilon_e \approx 40$  МэВ.

Такие энергии электроны получают, резко входя в режим свободных осцилляций, причем их энергия  $\epsilon_e \approx e\lambda E$ , требует напряженностей полей  $E \approx 2 \cdot 10^9 \div 10^{10}$  абс (т. е. при плотностях  $I \approx \frac{E^2}{4\pi} c \approx 10^{21} \div 3 \cdot 10^{22}$  Вт/см<sup>2</sup>).

Если задана энергия  $Q$  лазерного импульса, то число таких образованных электронов  $N_e \approx Q/\epsilon_e \approx 10^{13}$  при  $\epsilon_e \approx 10$  МэВ и  $Q \approx 10$  Дж, что даст выход  $3 \cdot 10^{10}$  нейтронов за время  $\tau > 10^{-12}$  с. Уже при этих условиях внутренние энерговыделения могут составлять заметную часть падающей энергии. Такие воздействия могут быть использованы для создания коротких вспышек нейтронов, гамма-излучения, релятивистских электронов. Большие концентрации нейтронов позволяют проводить эксперименты с нейтронами, с преобразованием ядер, получением изотопов.

Такие воздействия должны сопровождаться появлением больших кулоновских полей  $E \sim \epsilon_e / e$ ,  $a_f \approx 30 \text{ ГВ/см}$ , при  $\epsilon_e \approx 30 \text{ МэВ}$ , радиусе фокусного пятна  $a_f \approx 10 \text{ мкм}$ , и рывком ускорения ионов большим электронным давлением до скоростей  $u_i \approx \sqrt{\epsilon_e / M_i} \approx 3 \cdot 10^9 \text{ см/с} \div 3 \cdot 10^8 \text{ см/с}$  при  $M_i \sim (2 \div 300) M_p$ .

Использование трубчатых лучей или полых тел позволит осуществить куммуляцию таких ионных потоков и получить большие концентрации энерговыделений за счет процессов, идущих при больших плотностях и высоких температурах.

Отметим, что приведенные оценки даны для сильных вспышек ядерных реакций при плотностях  $I \approx 10^{21} \div 10^{22} \text{ Вт/см}^2$ , а наблюдаемое начало таких процессов должно иметь место при гораздо меньших плотностях потока — при  $I \approx 10^{19} \div 10^{20} \text{ Вт/см}^2$ , что связано с медленной зависимостью релятивистской энергии электронов от плотности потока  $\epsilon_e \sim \sqrt{I}$ , конверсией электронов в кванты и низкой пороговой энергией фотоядерных процессов (несколько МэВ).

Данная работа \* доложена на общемосковском семинаре акад. В.Л.Гинзбурга (ФИАН) 6.01.88 г.

#### Литература

1. Boyer K., Rhodes C.H. PRL, 1985, 54, 1490.
2. Rhodes C.H. Science, 1985, 229, 1345.
3. Краюшкин С.В. Автореферат диссерт., физфак. МГУ, 1987 (см. сводную таблицу по таким лазерам).
4. Бейтман И.Л., Чирков Б.Н. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 314.
5. Бекурц К., Виртц К. Нейтронная физика, М.: Атомиздат, 1968.