

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛА НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЛИВНЯ

В. А. Басков

Параметры электромагнитного ливня, развивающегося в 1 мм разориентированном или в ориентированном вдоль оси $\langle 111 \rangle$ кристалле вольфрама, зависят от температуры кристалла. Положение максимума и энерговыделение в максимуме развития ливня, выходящего из кристалла и развивающегося далее в спектрометре, имеют линейные зависимости от температуры кристалла. Оценка температуры, при которой кристалл невозможно сорентировать, составила ~ 980 К.

Ключевые слова: ориентированный кристалл, электромагнитный спектрометр, максимум развития ливня, энерговыделение в максимуме развития ливня, температура кристалла.

Взаимодействие электронов, позитронов и гамма-квантов с аморфным веществом, начиная с энергии $E > 0.1$ ГэВ, происходит в виде развития электромагнитных ливней. Ливни в веществе начинают развиваться при наличии на длине когерентности или “длине формирования ливня” (L) хотя бы одного или нескольких атомов [1]. В этом случае потенциал взаимодействия не зависит от температуры вещества и не влияет на параметры развития ливней, которыми являются критическая энергия, радиационная длина, положение максимума развития ливня и т.д.

При углах входа частиц в кристалл $\Theta \sim V/mc^2$ (Θ – угол между импульсом электрона и кристаллографической осью; V – масштаб потенциала оси или плоскости; m – масса электрона; c – скорость света) на длине когерентности ($L \gg a$, a – постоянная решетки) оказывается большая совокупность атомов, приводящая к значительному росту потенциала взаимодействия, увеличению сечений электродинамических процессов и изменению параметров электромагнитных ливней [2]. Особенно сильные изменения в развитии ливней возникают при входе частиц в кристалл с энергиями в десятки ГэВ и более при углах $\Theta \ll V/mc^2$. При таких углах траектория частицы существенно

отличается от прямолинейной и начинает работать механизм “постоянного сильного поля” (ПСП), приводящий еще к большему увеличению потенциала взаимодействия и большему росту сечений электродинамических процессов. В этом случае потенциал взаимодействия частиц с полем оси или плоскости кристалла зависит от амплитуды тепловых колебаний, которая зависит от температуры кристалла. Соответственно параметры электромагнитных ливней, развивающихся в ориентированных кристаллах, зависят от температуры [3].

Данная работа посвящена исследованию влияния температуры кристалла на параметры электромагнитного ливня от электронов с энергией 28 ГэВ, выходящего из разориентированного и ориентированного вдоль оси $\langle 111 \rangle$ кристалла вольфрама толщиной 1 мм и регистрирующихся составным черенковским ливневым спектрометром (СЧЛС) за кристаллом. Исследования проводились при двух температурах кристалла: $T_1 = 293$ К (комнатная температура) и $T_2 = 77$ К (температура жидкого азота) [4–6].

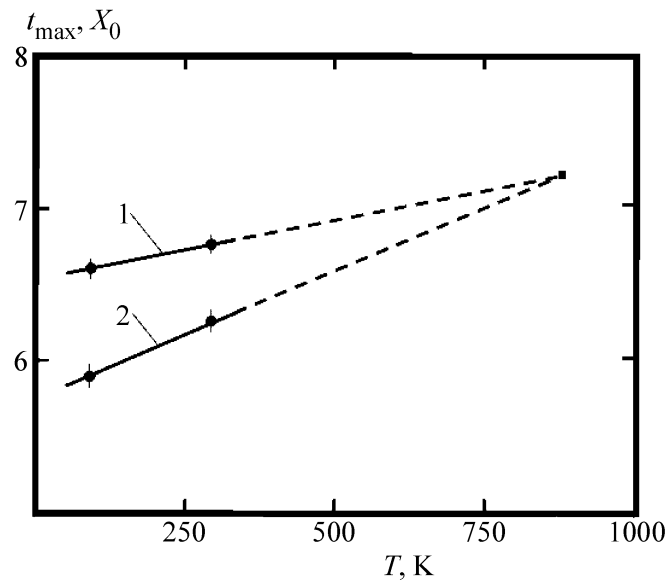


Рис. 1: Зависимость положения максимума развития электромагнитного ливня t_{\max} в СЧЛС с 1 мм вольфрамовым кристаллическим конвертером от температуры T (1 – конвертер разориентирован ($\Theta_p \geq 20$ мрад); 2 – конвертер ориентирован вдоль оси $\langle 111 \rangle$ ($\Theta_0 = 0$); ● – эксперимент, ■ – оценка).

На рис. 1 и 2 представлены зависимости положения максимума и энерговыделение в максимуме развития ливня в разориентированном ($\Theta \geq 20$ мрад) и ориентированном вдоль оси $\langle 111 \rangle$ ($\Theta = 0$) 1 мм кристалле вольфрама. Рисунки показывают, что при ра-

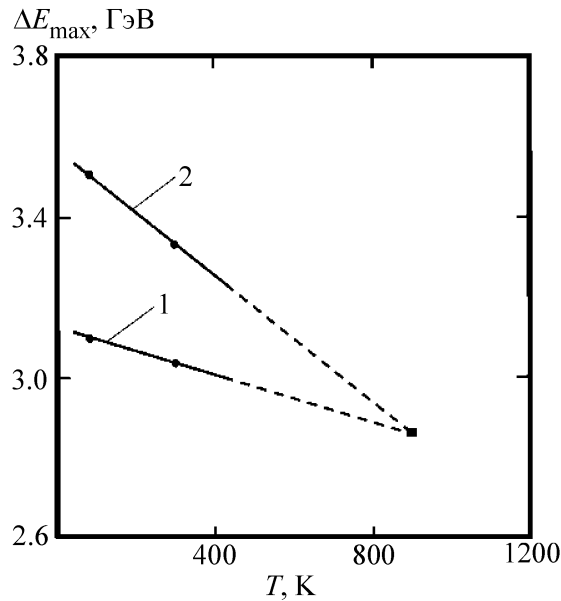


Рис. 2: Зависимость максимума энерговыделения ливня E_{\max} в СЧЛС с 1 мм вольфрамовым кристаллическим конвертером от температуры T (1 – конвертер разориентирован ($\Theta_p \geq 20$ мрад), 2 – конвертер ориентирован вдоль оси $\langle 111 \rangle$ ($\Theta_0 = 0$); ● – эксперимент, ■ – оценка).

зориентированном (1) и при ориентированном (2) кристалле положение максимума и энерговыделение в максимуме развития ливня, выходящего из кристалла и регистрирующегося в спектрометре за ним, не являются постоянной величиной, как в случае развития ливня в аморфном веществе, а меняются. При уменьшении температуры кристалла положение максимума развития ливня сдвигается к началу развития ливня, что говорит об уменьшении длины продольного развития ливня и сдвигу каскадной кривой в сторону начала развития ливня [6].

Если предположить, что зависимость параметров развития ливня от температуры пропорциональна и экстраполировать данную зависимость в сторону высоких температур, можно сделать оценку температуры, при которой параметры ливня (форма каскадной кривой, положение максимума и энерговыделение в максимуме), развивающегося при разориентированном и ориентированном кристалле, сравниваются. Это связано с уменьшением величины потенциалов кристаллографической оси как разориентированного U_{ds} , так и ориентированного U_{or} кристаллов вольфрама до одинаковой величины $U_{ds} = U_{or} = U$ [3]. То есть, разориентированный кристалл даже при комнатной температуре не является абсолютно аморфным веществом.

Таким образом, экспериментальные результаты показывают, что взаимодействие электронов как с разориентированным, так и с ориентированным кристаллом отличается от взаимодействия с аморфным веществом. Данное отличие возникает в значительном интервале температур $\Delta T \approx 77 - 980$ К, возможно зависящем от типа кристалла. Можно предположить, что для каждого кристалла существует температура $T = T_{\text{disorient}}$, при которой кристалл становится неспособным к ориентации. Для 1 мм кристалла вольфрама оценка такой температуры составила $T_{\text{disorient}} \sim 980$ К.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] К. Н. Мухин, *Экспериментальная ядерная физика* (часть 1) (Энергоатомиздат, Москва, 1983).
- [2] А. И. Ахиезер, Н. Ф. Шульга, *Электродинамика высоких энергий в веществе* (Наука, Москва, 1993).
- [3] В. Н. Байер, В. М. Катков, В. М. Страховенко, *Электромагнитные процессы при высокой энергии в ориентированных монокристаллах* (Наука СО АН СССР, Новосибирск, 1989).
- [4] В. А. Басков, А. С. Белоусов, В. В. Ким и др., ПТЭ, N 5, 66 (2011).
- [5] В. А. Басков, В. В. Ким, Б. И. Лучков и др., Краткие сообщения по физике ФИАН **39**(8), 16 (2012).
- [6] В. А. Басков, В. В. Ким, Б. И. Лучков и др., Краткие сообщения по физике ФИАН **40**(5), 3 (2013).

Поступила в редакцию 21 августа 2014 г.