

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физический
ИНСТИТУТ



имени

П.Н. Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

ПРЕПРИНТ

17

В. А. БАСКОВ, В. В. КИМ, Б. И. ЛУЧКОВ,
В. Ю. ТУГАЕНКО, В. А. ХАБЛО

**ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ
ОТКЛИКА ЧЕРЕНКОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА
С КОНВЕРТЕРОМ ИЗ ОРИЕНТИРОВАННОГО
КРИСТАЛЛА**

Москва 2012

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТКЛИКА ЧЕРЕНКОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА С КОНВЕРТЕРОМ ИЗ ОРИЕНТИРОВАННОГО КРИСТАЛЛА

В.А. Басков*, В.В. Ким, Б.И. Лучков¹, В.Ю. Тугаенко¹, В.А. Хабло

Аннотация

Представлены экспериментальные результаты исследования ориентационных зависимостей отклика составного черенковского ливневого спектрометра с конвертером из 1 мм ориентированного вдоль оси $\langle 111 \rangle$ кристалла вольфрама при энергии электронов 28 ГэВ и двух температурах конвертора 293°К и 77°К. Параметры каскадной кривой развития ливня изменяются в зависимости от угла ориентации и температуры кристалла. Обнаружено, что на каскадной кривой развития ливней в спектрометре существует точка, в которой пересекаются все каскадные кривые при любой ориентации конвертора. Положение данной точки на глубине спектрометра зависит от температуры конвертора. Предположено, что ширина ориентационной зависимости радиационной длины конвертора от температуры изменяется как $\Delta\theta \sim T^{-2/3}$.

ORIENTATATION DEPENDENCES OF THE RESPONSE OF THE CHERENKOV SPECTROMETER WITH THE CONVERTER FROM THE ALIGNED CRYSTAL

V.A. Baskov*, V.V. Kim, B.I. Luchkov¹, V.Yu. Tugaenko¹, V.A. Khablo

Abstract

Experimental results of research of orientation dependences of the response a compound cherenkov shower spectrometer with the converter from 1 mm crystals of tungsten aligned along $\langle 111 \rangle$ an axis at energy electrons 28 GeV and two temperatures of the converter 293°K and 77°K are presented. Parameters of a cascade curve of development of a shower change are depending from an angle of orientation and temperature of a crystal. It is revealed, that on a cascade curve of development of showers in a spectrometer there is a point in which cascade curve developments of showers are crossed all at any orientation of the converter. Position of the given point on depth of a spectrometer depends from temperature of the converter. It is assumed, that the width orientation dependences of radiating length of the converter from temperature changes as $\Delta\theta \sim T^{-2/3}$.

1-Национальный исследовательский ядерный университет (Московский инженерно-физический институт), Россия, 115549, Москва, Каширское шоссе, 34 (National research nuclear university (the Moscow engineering-physical institute, Russia, 115549, Moscow, highway Kashirskoe, 34))

* - baskov@x4u.lebedev.ru

Аномальные электромагнитные ливни от электронов (позитронов) и γ -квантов с энергиями $E > 100 \text{ МэВ}$, развивающихся в полях осей и плоскостей ориентированных кристаллов отличаются от *стандартных* ливней и вызывают в спектрометре, который их регистрирует, отклик, отличный от обычного. Основное отличие заключается в зависимости положений и форм каскадной и интегральной кривых развития ливня в спектрометре от энергии частиц, типа и температуры кристалла, толщины кристалла, наличием ориентационной зависимости [1-6].

В ряде работ представлены ориентационные зависимости множественности заряженных частиц и энерговыделения в отдельных счетчиках и детекторах, находящихся за кристаллом [7-10]. Исключая пионерскую работу авторов данной статьи [11], связанную с исследованием влияния электромагнитного ливня от электронов 28 ГэВ , выходящего из ориентированного 1 мм кристалла вольфрама при температуре 77°K , на отклик электромагнитного спектрометра типа *сэндвич*, детальная картина изменений каскадной и интегральной кривых в спектрометре при ориентации кристаллического конвертора отсутствует.

Данная работа посвящена исследованию ориентационной зависимости параметров каскадной кривой развития электромагнитного ливня от электронов в спектрометре, находящегося за кристаллическим конвертором.

Работа была выполнена на установке “*Каскад*” на электронном канале ускорителя *ИФВЭ* в рамках программы “*Квантовая электродинамика в сильных полях ориентированных кристаллов*” [12].

Исследование электромагнитных ливней осуществлялось с помощью составного черенковского ливневого спектрометра (*СЧЛС*), характеристики которого приведены в [12-14].

В качестве конвертора использовался кристаллический вольфрам толщиной 1 мм или $0.28X_0$ ($X_0 = 3.5 \text{ мм}$ - радиационная длина вольфрама). Ориентация кристалла осуществлялась относительно оси $\langle 111 \rangle$, кристалл считался разориентированным при $\Theta \geq 23 \text{ мрад}$. Мозаичность кристалла составляла $\Delta\Theta_w \approx 1$

мрад. В эксперименте использовался пучок электронов с энергией $E = 28 \text{ ГэВ}$ с расходимостью $|\nu| \leq 0.1$ мрад по основанию [12,13]. Исследования ориентационной зависимости параметров каскадной кривой в СЧЛС проводились при комнатной температуре кристалла $T_1 = 293^\circ\text{K}$ и температуре жидкого азота $T_2 = 77^\circ\text{K}$ [4,15].

На рис. 1 приведены каскадные кривые развития электромагнитных ливней в СЧЛС от угла Θ между импульсом электронов и осью кристалла $\langle 111 \rangle$ при температурах кристалла T_1 (рис. 1а) и T_2 (рис. 1б). На рисунке представлена также калибровочная кривая (1) при отсутствии кристалла перед СЧЛС. Видно, что при помещении перед СЧЛС разориентированного кристалла, каскадная кривая сдвигается в сторону начала развития ливня, то есть в кристалл. В этом случае, меняется только положение каскадной кривой без изменения энерговыделения по глубине развития электромагнитного ливня в СЧЛС [5,16].

При уменьшении угла входа электронов в кристалл Θ изменяются все параметры каскадной кривой: энерговыделения на разных глубинах развития ливня в счетчиках СЧЛС, положение максимума и величина энерговыделения в максимуме развития ливня. Однако, разные части каскадной кривой изменяются по-разному. По мере уменьшения угла начинает увеличиваться энерговыделение в счетчиках СЧЛС до максимума каскадной кривой и в максимуме каскадной кривой, а энерговыделение в счетчиках за максимумом каскадной кривой уменьшаться. Предельные величины увеличения и уменьшения энерговыделения достигаются при достижении полной ориентации ($\Theta = 0$). Такой результат наблюдается при обеих исследованных температурах кристалла.

Одним из отличий *аномальных* ливней от *стандартных* является зависимость радиационной длины ориентированного кристалла от энергии электронов (позитронов) или γ -квантов, толщины и температуры кристалла [1-6].

Радиационная длина кристалла X_0' при некотором угле ориентации Θ конвертора определяется как $X_0' = X_0(t_W/t_{W \text{ эфф}})$, где t_W – толщина кристалла вольфрама $t_W = 0.28X_0$, $t_{W \text{ эфф}} = t_W + \Delta t$ – эффективная толщина кристалла при угле

ориентации Θ ($t_{W \text{ эфф}}$ - толщина, на которой происходит наиболее эффективное взаимодействие частиц с конвертером), $\Delta t = t_{\max p} - t_{\max o}$ - разность положений максимума каскадной кривой при разориентированном кристалле $t_{\max p}$ и при угле ориентации (Θ) $t_{\max o}$ [4,16].

На рис. 2 представлены ориентационные зависимости радиационной длины X_0' 1 мм кристаллического вольфрамового конвертора при двух температурах T_1 (1) и T_2 (2). Если считать, что при углах разориентации конвертора близких к $\Theta = 45 \text{ мрад}$ $X_0 = 3.5 \text{ мм}$, то рис. 2 показывает что при ориентации ($\Theta = 0$) и T_1 $X_0' = 1.21 \pm 0.15 \text{ мм}$ (1), а при T_2 $X_0' = 0.91 \pm 0.11 \text{ мм}$ (2) [4]. Ширины ориентационных зависимостей соответственно составили $\Delta\Theta \approx 10 \text{ мрад}$ (1) и $\Delta\Theta \approx 24 \text{ мрад}$ (2) (ширина ориентационной зависимости какого-либо параметра ливня $\Delta\Theta$, определяется как ширина ориентационной зависимости параметра на половине ее высоты).

Экспериментально определенные ширины ориентационных зависимостей $\Delta\Theta$ радиационной длины ориентированного вольфрамового конвертора X_0' от температуры представлены на рис. 3. Экспериментальные точки хорошо описываются зависимостью $\Delta\Theta = kT^{-2/3}$, где k - коэффициент пропорциональности, T - температура конвертора. Для данного 1 мм кристаллического вольфрамового конвертора и энергии электронов 28 ГэВ $k = 441.14 \text{ мрад} \cdot \text{град}^{1/2}$.

На рис. 1 также видно, что при температурах T_1 и T_2 и всех ориентациях конвертора, исключая каскадную кривую при отсутствии конвертора перед СЧЛС, все каскадные кривые после максимума развития ливней пересекаются в одной точки S . Аналогичная точка наблюдалась и при развитии ливней в сэндвиче [11]. Точка S определяется единой величиной энерговыделения для всех каскадных кривых. При данной энергии, типе и толщине кристалла положение S зависит только от температуры кристалла: при T_1 точка S находится на $t_{\text{СЧЛС}} = 8.4X_0 \pm 0.1X_0$, а при T_2 на $t_{\text{СЧЛС}} = 9.2X_0 \pm 0.1X_0$ ($t_{\text{СЧЛС}}$ - глубина СЧЛС в радиационных длинах).

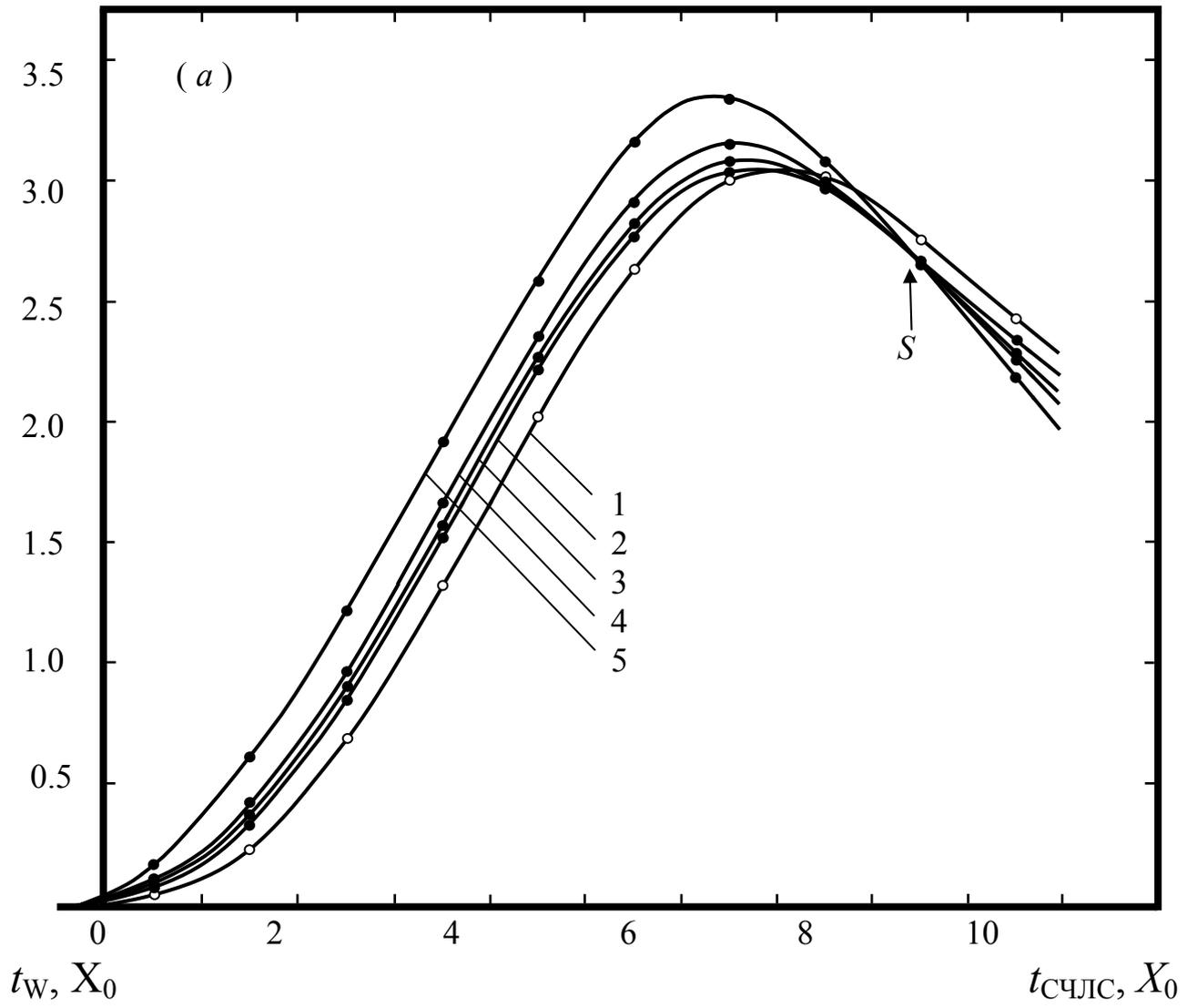
Таким образом, параметры каскадных кривых *аномальных* электромагнитных ливней, возникающих в кристаллическом вольфрамовом конверторе от электронов с энергией 28 ГэВ и продолжающих развиваться в *СЧЛС*, зависят от угла ориентации конвертора относительно кристаллографической оси и температуры конвертора. Определено, что ширины ориентационных зависимостей радиационной длины конвертора при температурах конвертора 293°K и 77°K составили около 10 мрад и 24 мрад , соответственно. Предположено, что ширина ориентационной зависимости от температуры изменяется как $\Delta\theta \sim T^{-2/3}$. При развитии ливней в *СЧЛС*, выходящих из конвертора, существует точка S , в которой независимо от угла ориентации для всех каскадных кривых существует одинаковое энерговыделение. Положение точки S на глубине *СЧЛС* при данной энергии электронов и типе конвертора зависит от температуры.

Авторы выражают благодарность Е.И. Тамму и Е.И. Малиновскому за поддержку работы, В.И. Сергиенко за научное руководство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байер В.Н., Катков В.М., Страховенко В.М., Электромагнитные процессы при высокой энергии в ориентированных монокристаллах, издательство “Наука” СО АН СССР, г. Новосибирск, 1989.
2. Ахиезер А.И., Шульга Н.Ф., Электродинамика высоких энергий в веществе, издательство “Наука”, г. Москва, 1993.
3. Uggerhoj U.I., Reviews of Modern Physics, 2005, V. 77, P. 1131.
4. Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И., Тугаенко В.Ю., Препринт ФИАН № 35, Москва (2011).
5. Басков В.А., Препринт ФИАН № 36, Москва (2011).
6. Baskov V.A., Khablo V.A., Kim V.V. et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., V. B145, 92 (1998).
7. Elsener K., Moller S.P., Petersen J.B.B., Uggerhoj E. Phys. Lett. B212, 537 (1988).
8. Medenwaldt R., Moller S.P., Tang-Petersen S. et al. Phys. Lett. B227, 483 (1989).
9. Medenwaldt R., Moller S.P., Tang-Petersen S. et al. Phys. Lett. B242, 517 (1990).
10. Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И., Тугаенко В.Ю., Препринт ФИАН, №14, Москва (2012).
11. Baskov V.A., Khablo V.A., Kim V.V. et al., Radiation Effects and Defects in Solids, 25, 23 (1993).
12. Басков В.А., Ким В.В., Сергиенко В.А., Хабло В.А., ПТЭ, №5, 58 (1990).
13. Басков В.А., Ким В.В., Хабло В.А., ПТЭ, №4, С. 13 (2010).
14. Басков В.А., Препринт ФИАН № 9, Москва (2012).
15. Басков В.А., Ганенко В.Б., Жебровский Ю.В. и др., Тезисы докладов XIX Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, МГУ, 1989, С. 84-86.
16. Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И. и др., Препринт ФИАН, №31, Москва (2006).

$\langle \Delta E \rangle, \Gamma \partial B$



$\langle \Delta E \rangle, \text{ГэВ}$

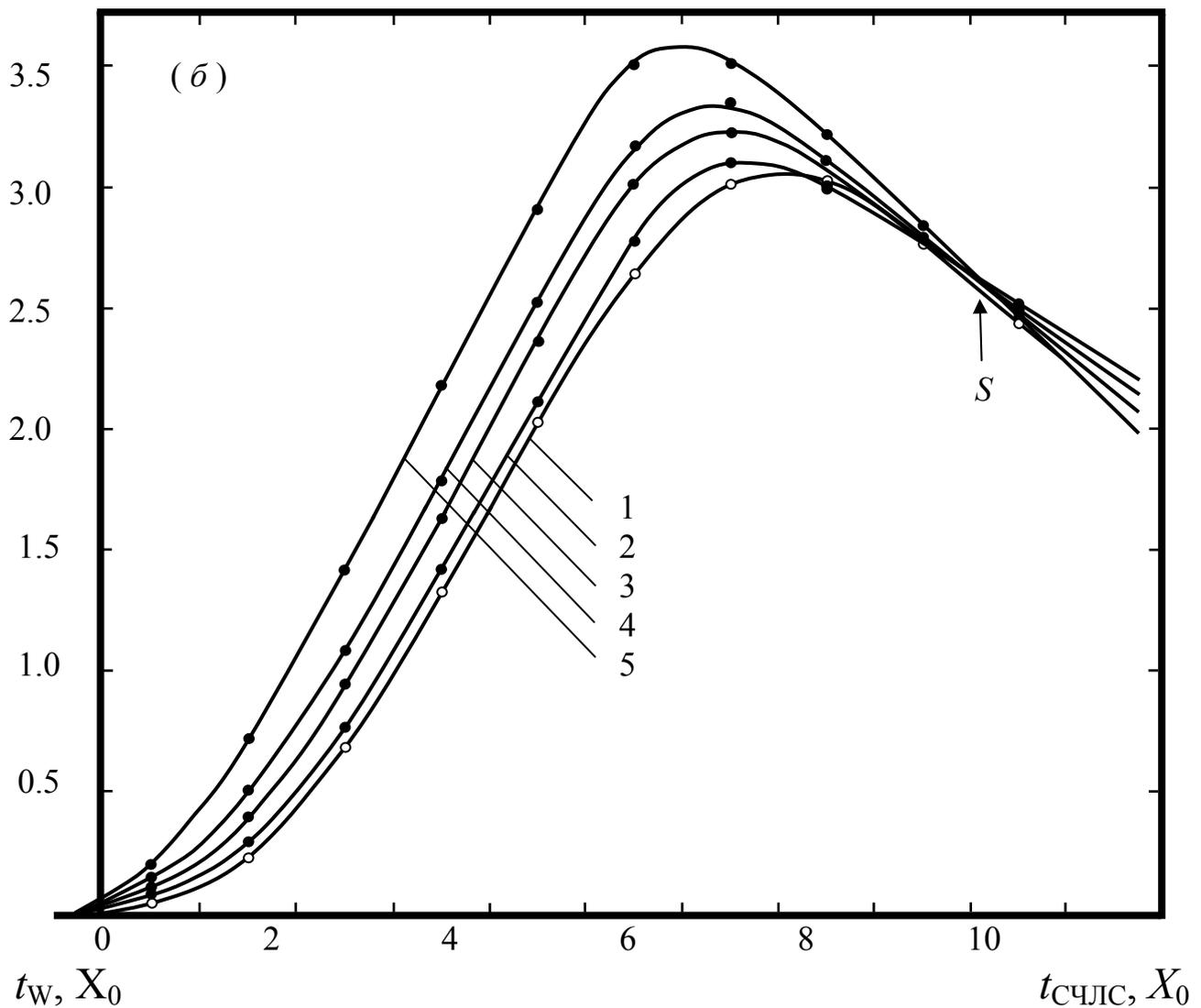


Рис. 1 Каскадные кривые развития электромагнитного ливня в СЧЛС от электронов с энергией $E = 28 \text{ ГэВ}$ в зависимости от угла ориентации Θ 1 мм кристаллического вольфрамового конвертора относительно оси $\langle 111 \rangle$ (температура конвертора: $a - T_1 = 293^\circ\text{K}$; $b - T_2 = 77^\circ\text{K}$; $\langle \Delta E \rangle$ – средняя энергия ливня, выделившаяся в каждом счетчике СЧЛС; t_W и $t_{\text{СЧЛС}}$ – толщины кристалла и СЧЛС, соответственно; 1 – кристалл перед СЧЛС отсутствует; 2 – $\Theta = 45 \text{ мрад}$; 3 – $\Theta = 8 \text{ мрад}$; 4 – $\Theta = 4 \text{ мрад}$; 5 – $\Theta = 0 \text{ мрад}$; S – точка пересечения каскадных кривых при ориентации конвертора).

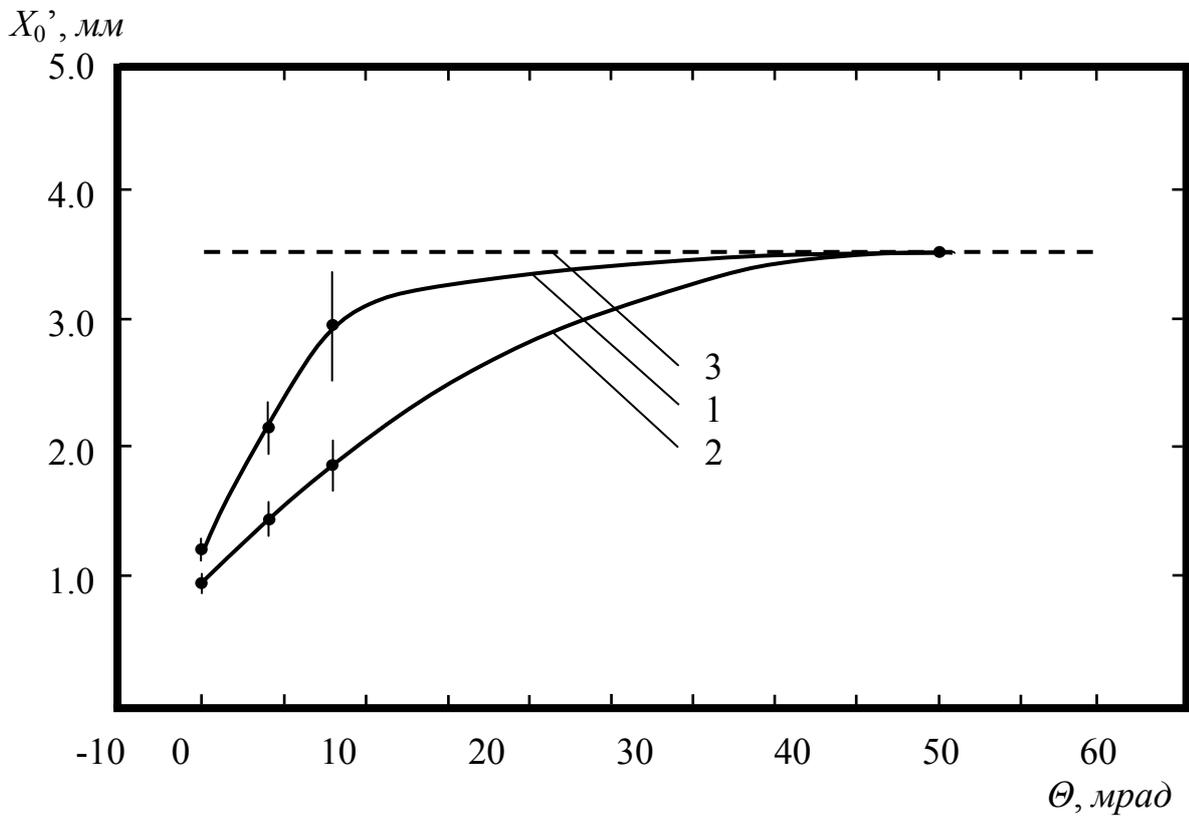


Рис. 2 Ориентационные зависимости радиационной длины X_0' / мм кристаллического вольфрамового конвертора при температурах $T_1 = 293^\circ\text{K}$ (1) и $T_2 = 77^\circ\text{K}$ (2) (3 – радиационная длина аморфного вольфрама).

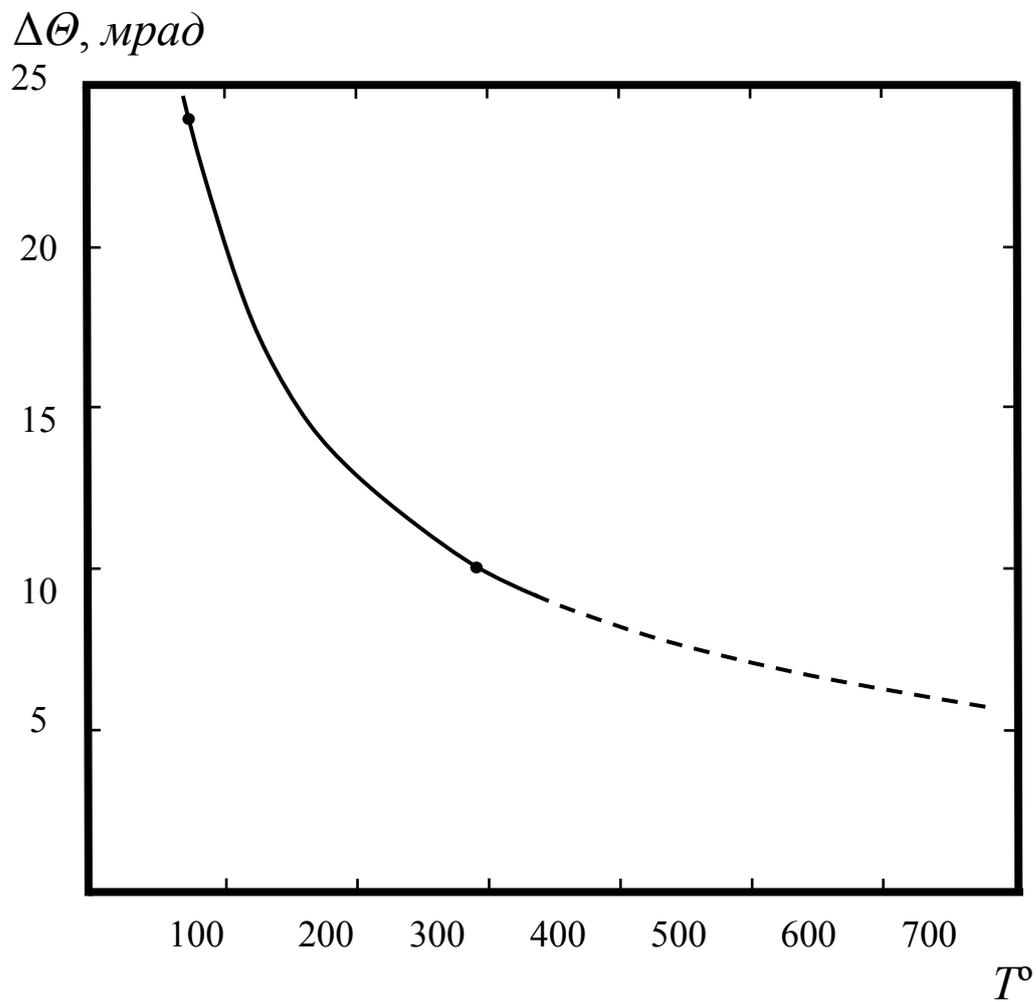


Рис. 3 Ширина ориентационной зависимости $\Delta\Theta$ радиационной длины ориентированного вольфрамового конвертора X_0' от его температуры T .

Подписано в печать 06.07.2012 г.
Формат 60x84/16. Заказ №50. Тираж 140 экз. П.л 0,75.
Отпечатано в РИИС ФИАН с оригинал-макета заказчика
119991 Москва, Ленинский проспект, 53. Тел. 499 783 3640