

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физический
ИНСТИТУТ
имени
П.Н.Лебедева



Российской академии наук

Ф И А Н

ПРЕПРИНТ

14

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

**МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
В ЛИВНЯХ ОТ ЭЛЕКТРОНОВ,
РАЗВИВАЮЩИХСЯ В ОРИЕНТИРОВАННЫХ
КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ И ВОЛЬФРАМА**

Москва 2012

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЛИВНЯХ ОТ ЭЛЕКТРОНОВ, РАЗВИВАЮЩИХСЯ В ОРИЕНТИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ И ВОЛЬФРАМА

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

А Н Н О Т А Ц И Я

Показано увеличение более чем в 2 раза средней множественности заряженных частиц в электромагнитных ливнях, инициированных электронами с энергией 26 ГэВ в ориентированных вдоль оси $\langle 111 \rangle$ кристаллах вольфрама толщинами 2.7, 5.8 и 8.4 мм ($T_W = 293^\circ K$) по сравнению с разориентированным. Для кристалла кремния толщиной 20 мм ($T_{Si} = 293^\circ K$) и ориентированного вдоль оси $\langle 110 \rangle$ при энергии электронов 28 ГэВ увеличение средней множественности заряженных частиц составило около 1.6 раза. Обнаружено, что ширины ориентационных зависимостей средней множественности заряженных частиц в ливнях от электронов в кристаллах кремния и вольфрама пропорциональны толщинам кристаллов.

MULTIPLICITY OF CHARGE PARTICLES IN SHOWERS INDUCED BY ELECTRONS IN THE ORIENTED CRYSTALS OF SILICON AND TUNGSTEN

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

A B S T R A C T

The increase more than in 2 times of average multiplicity of the charged particles in the electromagnetic showers initiated electrons with energy 26 GeV in $\langle 111 \rangle$ crystals aligned along an axis of tungsten by thickness 2.7, 5.8 and 8.4 mm ($t_W = 293^\circ K$) in comparison with non aligned is shown. For a crystal of silicon thickness ($t_{Si} = 293^\circ K$) and aligned along an axis $\langle 110 \rangle$ at energy electrons 28 GeV the increase in average multiplicity of the charged particles has made of 20 mm about 1.6 times. It is revealed, that width aligned dependences of average multiplicity of the charged particles in showers from electrons in crystals of silicon and tungsten are proportional to thickness of crystals.

¹ - 115549, г. Москва, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

* - baskov@x4u.lebedev.ru

Электромагнитные ливни, развивающихся в ориентированных кристаллах, от электронов и γ -квантов (*аномальные ливни*) отличаются от ливней в разориентированных кристаллах и в аморфном веществе (*стандартные ливни*). Отличие обусловлено разным числом фотонов N_γ и заряженных частиц N_e с соответствующими величинами энергий на заданной глубине развития ливня. Теория каскадных ливней в кристаллах развита давно [1,2], однако экспериментальное определение N_γ и N_e до сих пор является актуальной задачей. Определение множественности в ливнях, выходящих из ориентированных кристаллов, также важно поскольку существует возможность практического использования развитие ливней при создании новых типов детекторов для применений в астрономии, экспериментальной физике высоких энергий и на ускорителях при создании кристаллических мишеней для получения высокоинтенсивных пучков электронов и позитронов [1,3,4].

Ориентационные зависимости средней множественности заряженных частиц в электромагнитных ливнях, вызванных электронами с энергиями 40, 149 и 287 ГэВ, а также позитронами с энергией 205 ГэВ, были впервые получены для кристаллов кремния (*Si*), вольфрама (*W*) и германия (*Ge*) [5-7].

Данная работа представляет экспериментальные результаты измерения средней множественности заряженных частиц N_e , выходящих из кристаллов вольфрама ($X_0 = 3.5$ мм – радиационная длина вольфрама) и кремния ($X_0 = 9.4$ см – радиационная длина кремния), вызванных электронами с энергией 26 и 28 ГэВ. Работа была выполнена на установке “Каскад” на электронном канале ускорителя ИФВЭ [8]. Использовались кристаллы вольфрама толщинами 2.7, 5.8 и 8.4 мм и кристалл кремния 20 мм при комнатной температуре $T_W = T_{Si} = 293^\circ K$. Ориентация кристаллов вольфрама осуществлялась вдоль оси $\langle 111 \rangle$, кристалла кремния вдоль оси $\langle 110 \rangle$. Мозаичность кристаллов вольфрама в данной работе составляла ≈ 1 мрад [8], в работах [5-7] ≈ 124 мрад.

Метод определения множественности заряженных частиц в ливне от электронов заключался в том, что за кристаллом помещался пластиковый сцинтилля-

ционный счетчик размером $200 \times 100 \text{ мм}^2$ и толщиной 20 мм , сигнал с которого подавался на амплитудный анализ. По величине сигнала делалось заключение о величине средней ионизации и о среднем числе заряженных частиц в ливне, выходящих из кристалла. Число фотонов электромагнитного ливня, давших конверсию e^+e^- пар на толщине счетчика, составляло $\sim 4\%$ [9].

Калибровка сцинтиляционного счетчика осуществлялась на пучке электронов без кристаллических мишеней и с мишенями, а также при разных напряжениях на делителе ФЭУ-85. Целью калибровки являлось определение положения ионизационных пиков от первичного электрона и вторичных заряженных частиц. Разные напряжения на ФЭУ были необходимы для того, чтобы спектр ионизационных потерь для каждой толщины кристалла находился в заданном диапазоне чувствительности электронного блока амплитудного анализа (БАП).

На рис. 1 показаны ориентационные зависимости средней множественности заряженных частиц в ливне (N_e) для трёх толщин кристаллического вольфрама (рис. 1а) и одной толщины кристалла кремния (рис. 1б). Из рис. 1а видно, что по мере увеличения толщины кристалла (t_w) средняя множественность заряженных частиц в ливне растёт.

Изменение ширины ориентационной зависимости N_e в ливне ($\Delta\Theta$), определяемой как ширина ориентационной зависимости на половине высоты, от толщины кристалла ($t_{\text{крист}}$) представлено на рис. 2. Видно, что ширина ориентационной зависимости увеличивает пропорционально толщине кристалла. Ширина ориентационной зависимости средней множественности заряженных частиц для кристалла кремния составила $\Delta\Theta = 1.0 \pm 0.1 \text{ мрад}$, что в 1.5 раза меньше ширины ориентационной зависимости для кристалла вольфрама такой же радиационной толщины [6].

Тем не менее, учитывая результаты работы [5], в которой приведены ориентационные зависимости средней множественности заряженных частиц в ливне от позитронов с энергией 205 ГэВ в кристаллах кремния разных толщин (ориентация осуществлялась вдоль оси $\langle 111 \rangle$), ширина ориентационной зависимости

при энергии электронов 28 ГэВ только в ≈ 2 раза шире, чем при энергии позитронов 205 ГэВ (потенциал оси $\langle 110 \rangle V_0 = 70 \text{ эВ}$, потенциал оси $\langle 111 \rangle V_0 = 54 \text{ эВ}$).

Из рис. 2 также видно, что для кристалла вольфрама 1.7 мм ($t_w = 0.48X_0$) ширина ориентационной зависимости составляет $\approx 3.6 \text{ мрад}$ при энергии электронов 26 ГэВ . Как было отмечено выше, эта величина превышает результат, полученный в [6], в которой представлены ориентационные зависимости средней множественности заряженных частиц, выходящих из кристалла толщиной 1.7 мм при разных энергиях электронов. Превышение составило $\sim 1 \text{ мрад}$. Это превышение можно объяснить большей мозаичностью исследуемых кристаллов вольфрама по сравнению с мозаичностью кристаллов работы [6].

При увеличении энергии электронов ширина ориентационной зависимости средней множественности заряженных частиц для кристалла вольфрама 1.7 мм убывает с 3.6 мрад при 26 ГэВ до 1.3 мрад при $\sim 200 \text{ ГэВ}$ и далее при больших энергиях меняется слабо [6]. Эти данные показывают, что величины ширин ориентационных зависимостей $\Delta\Theta$ изменяются с энергией электронов (и γ -квантов [9]) как $\Delta\Theta = k \cdot E_\gamma^{-1/2}$, где k - коэффициент пропорциональности, E - энергия электронов. Для кристалла вольфрама 1.7 мм коэффициент составил $k = 1.836 \text{ мрад} \cdot \text{ГэВ}^{1/2}$.

Надо также отметить, что для кристалла вольфрама 1.0 мм при энергии электронов 26 ГэВ (рис. 2) ширина ориентационной зависимости средней множественности заряженных частиц в ≈ 1.5 раза уже ширины ориентационной зависимости средней множественности заряженных частиц, выходящих из того же кристалла при такой же энергии γ -квантов [9].

На рис. 3 с учетом данных рис. 1а представлены зависимости средней множественности заряженных частиц для разориентированных ($\Theta \geq 45 \text{ мрад}$, зависимость 1) и ориентированных кристаллов ($\Theta = 0 \text{ мрад}$, зависимость 2) от толщины кристаллов при энергии электронов 26 ГэВ . Отношения средней множественности заряженных частиц, выходящих из ориентированного кристалла, к средней множественности заряженных частиц, выходящих из разориентирован-

ного кристалла, составили ~ 3.5 , ~ 2.7 и ~ 2.3 для толщин кристаллов 2.7, 5.8 и 8.4 мм, соответственно.

Таким образом, экспериментальные результаты показывают увеличение выхода среднего числа заряженных частиц из ориентированных кристаллов по сравнению с разориентированными при развитии в них ливней от электронов. Ширины ориентационных зависимостей средней множественности заряженных частиц в ливнях от электронов в кристаллах кремния и вольфрама пропорциональны толщинам кристаллов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. *ЖЭТФ*, **85**, 94 (1983).
3. Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И. и др. *ПТЭ*, **6**, 10 (1996).
4. Басков В.А. Препринт *ФИАН №36*, Москва (2011).
5. Elsener K., Moller S.P., Petersen J.B.B., Uggerhoj E. *Phys. Lett.* **B212**, 537 (1988).
6. Medenwaldt R., Moller S.P., Tang-Petersen S. et al. *Phys. Lett.* **B227**, 483 (1989).
7. Medenwaldt R., Moller S.P., Tang-Petersen S. et al. *Phys. Lett.* **B242**, 517 (1990).
8. Басков В.А., Ким В.В., Коноров И.В. и др. *ПТЭ*, **5**, 58 (1990).
9. Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И. и др. Краткие сообщения по физике *ФИАН*, **№6 8** (2011).

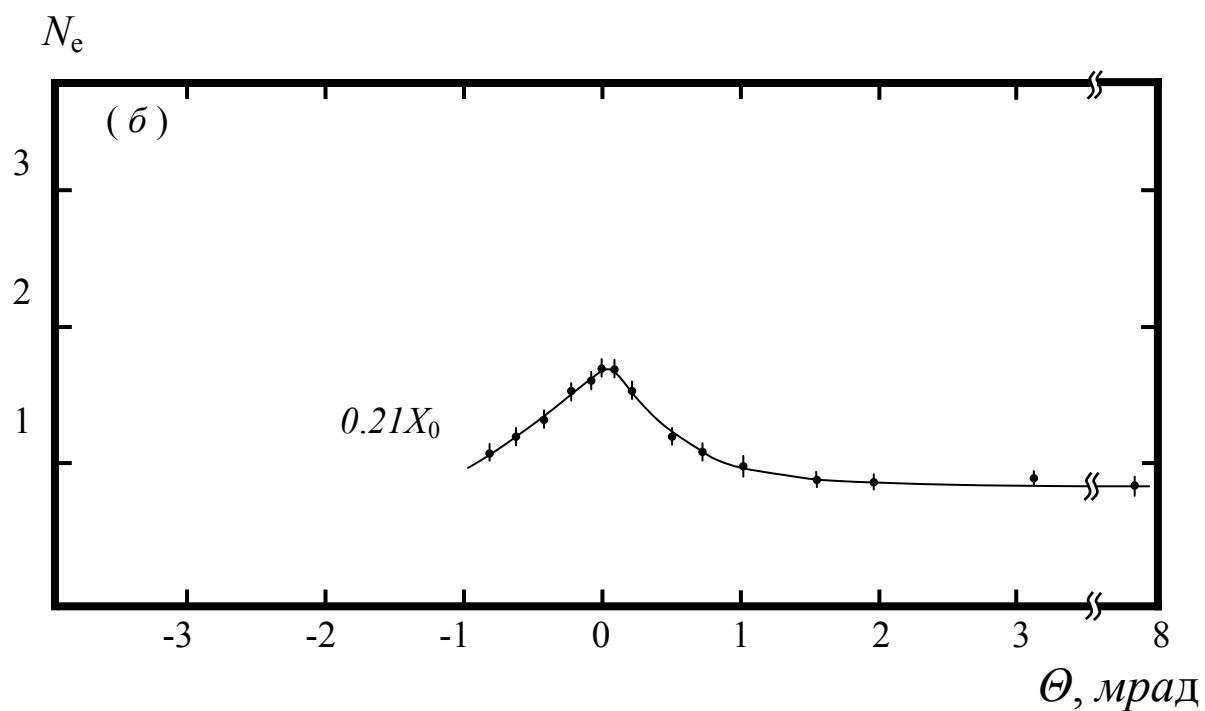
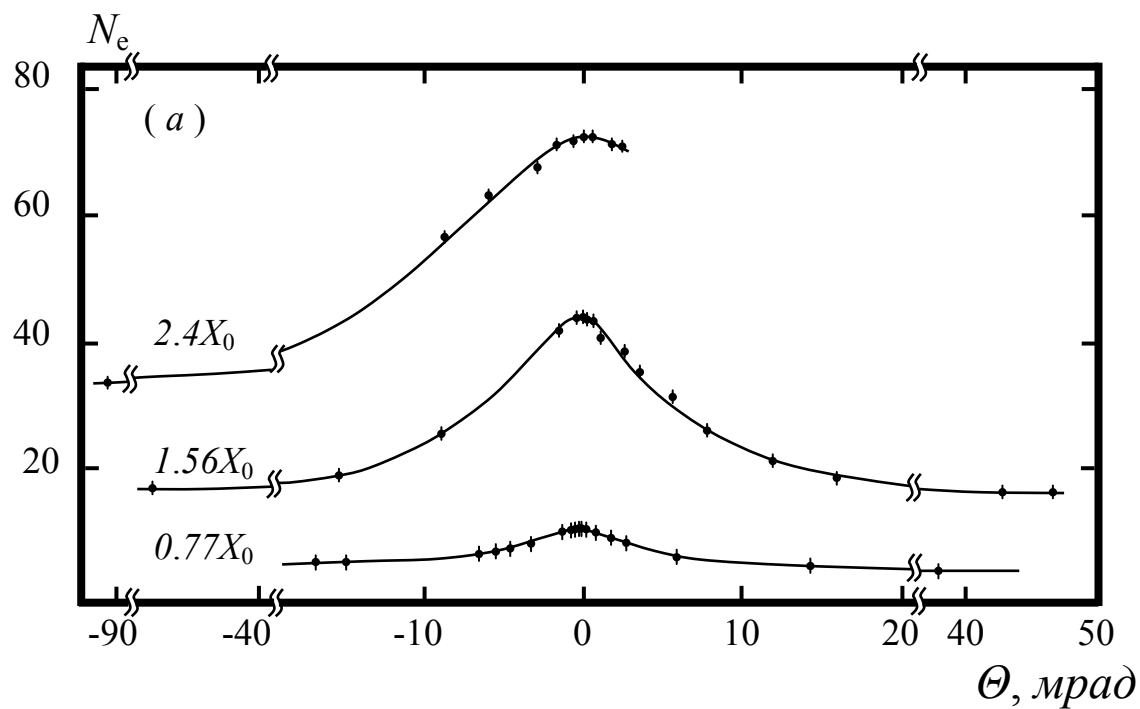


Рис. 1 Ориентационные зависимости средней множественности заряженных частиц N_e в ливне от электронов 26 ГэВ в кристаллах вольфрама (а) ($\langle 111 \rangle$, $T_W = 293^\circ\text{K}$) и от электронов 28 ГэВ в кристалле кремния (б) ($\langle 110 \rangle$, $T_{Si} = 293^\circ\text{K}$) (толщины кристаллов на рисунках представлены слева от соответствующих кривых).

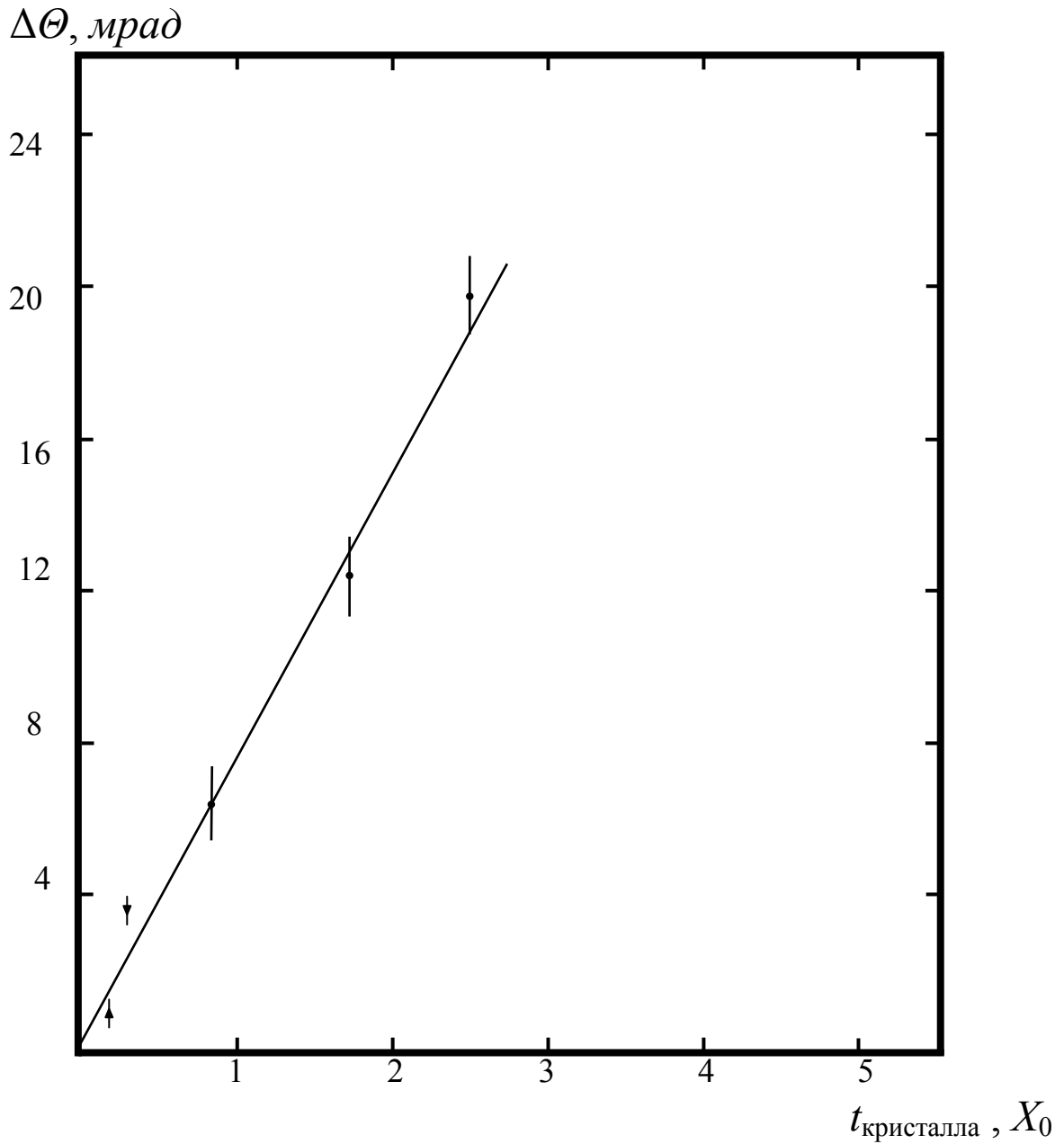


Рис. 2 Зависимость ширины ориентационной зависимости средней множественности заряженных частиц ($\Delta\Theta$), выходящих из кристалла, в зависимости от толщины кристалла ($t_{\text{кристалла}}$) (\bullet, ∇ – кристаллы вольфрама ($\langle 111 \rangle$); \blacktriangle – кристалл кремния ($\langle 110 \rangle$); \bullet – $E = 26$ ГэВ, ∇, \blacktriangle – $E = 28$ ГэВ; \bullet, \blacktriangle – $T_W = 293^\circ K$; ∇ – $T_W = 77^\circ K$).

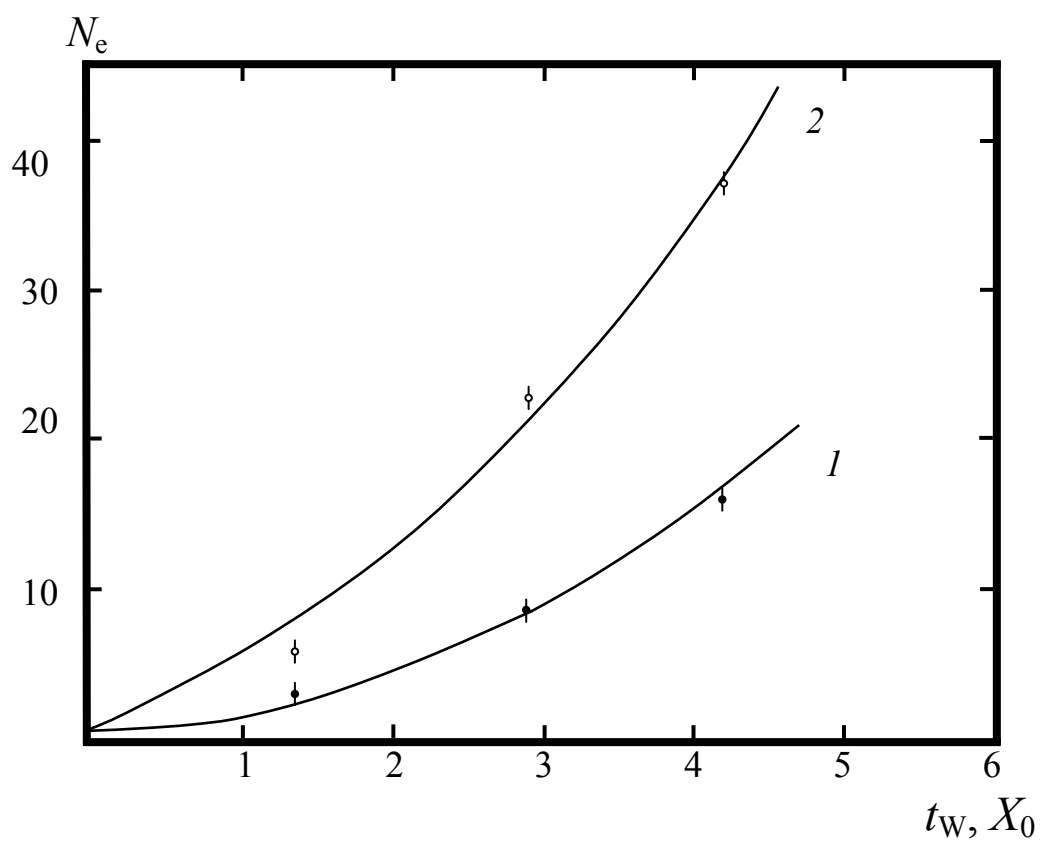


Рис. 3 Зависимость средней множественности заряженных частиц в ливнях от электронов 26 ГэВ от толщины кристалла вольфрама (1 – кристалл разориентирован ($\Theta \geq 40 \text{ мрад}$); 2 – кристалл ориентирован ($\Theta = 0 \text{ мрад}$); $T_w = 293^\circ \text{K}$).

Подписано в печать 29.05.2012 г.
Формат 60x84/16. Заказ №40. Тираж 140 экз. П.л 0,75.
Отпечатано в РИИС ФИАН с оригинал-макета заказчика
119991 Москва, Ленинский проспект, 53. Тел. 499 783 3640