

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4075/83

P17-83-291

8/8-83

Г.Адам, С.Адам, Г.М.Гавриленко,
Д.Михалаке, В.К.Федянин

О ПИКЕ ИЗЛУЧЕНИЯ
КАНАЛИРУЕМЫХ В КРЕМНИИ ПОЗИТРОНОВ
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ $1 \div 10$ ГэВ

Направлено в журнал "Physics Letters A"
и на XIII Собрание по физике взаимодействия
заряженных частиц с кристаллами.
Москва, май-июнь 1983 года.

1983

Экспериментальные данные по γ -излучению в Si при /110/-плоскостном каналировании содержатся в работах /1,2/. Спектральная функция излучения выглядит в виде нескольких четких пиков, где пик, отвечающий основной гармонике, в излучении наибольший. Особенно интересны результаты работы /4/, где для начального момента позитрона 4,5 ГэВ/с был обнаружен интенсивный и узкий пик в основной гармонике излучения с $E_\gamma \approx 25$ МэВ.

Основной пик излучения при каналировании идентифицирован в рамках классического описания с дипольной гармоникой /3/. В объяснении узкого пика излучения для позитронов с импульсом 5 ГэВ/с /2,4/ гармонический потенциал, обычно используемый для описания поперечного движения /3,5,8/, был заменен потенциалом вида $U(x) = b \tan^2 ax$, который допускает аналитическое решение для ω_m /максимальной частоты излучения вперед/. Расчеты показали, что эффекты ангармонизма и релятивизма комбинируются таким образом, что ω_m перестает зависеть от E_\perp так, как если бы поперечное движение позитрона происходило в некотором эффективном гармоническом потенциале. В настоящей работе интенсивность первого дипольного пика при излучении рассчитывается в рамках квантово-механического подхода при реалистическом выборе континуум-потенциала кристаллической плоскости. Эффект релятивизма учитывался посредством преобразования Допплера и учета параметрической зависимости между продольным и поперечным движением. Расчеты выполнены для позитронов с энергиями от 1 до 10 ГэВ и показано, что максимум в интенсивности приходится на энергию позитронов ~ 3 ГэВ с энергией γ -квантов $E_\gamma \approx 13,5$ МэВ.

В системе отсчета, связанной с продольным движением позитрона, собственные функции и соответствующие им собственные значения спектра поперечной энергии определяются нерелятивистским уравнением Шредингера

$$\left[-\frac{d^2}{dx^2} + u(x) \right] \psi_n(x) = \epsilon_n \psi_n(x), \quad /1/$$

где $u(x) = (2m_0\gamma/\hbar^2)U(x)$; $\epsilon_n = (2m_0\gamma/\hbar^2)E_{\perp,n}$.

Определим непрерывный потенциал плоскости /7/, вдоль которой происходит каналирование $U_A(x)$, x - координата поперечного положения. В качестве $U_A(x)$ выберем потенциал Мольера /8/

$$U_A(x) = 2\pi Z_A e^2 n_p a_A \sum_{i=1}^3 (\alpha_i / \beta_i) \exp(-\beta_i x / a_A), \quad /2/$$

где, следуя /9/,

$$a_A = (9\pi^2 / 128)^{1/3} Z_{\text{eff}}^{-1/3} a_0, \quad Z_{\text{eff}} = (Z_A^{2/3} + 1)^{3/2}.$$

Потенциал $U(x)$ в уравнении /1/ есть суперпозиция потенциалов

вида /2/ 'от каждой плоскости. Обычно эффектом туннелирования пренебрегают /5,6/, и $U(x)$ есть суперпозиция потенциалов двух ближайших плоскостей. Мы учтем влияние соседнего канала и положим $U(x) = 0$ вне этих плоскостей.

Численные значения для ϵ_n и полуаналитические выражения для $\psi_n(x)$ были получены в рамках /10/.

Интенсивность излучения с единицы длины кристалла для позитрона, падающего под углом δ к кристаллической оси, определялась формулой

$$\frac{d^2W}{dE_\gamma dl} = \sum_{\{n, n'\}} p_n(\delta) |\langle \psi_n | x | \psi_{n'} \rangle|^2 E_\gamma \times$$

$$\times \begin{cases} c_1 E_\gamma^2 - c_2 E_\gamma E_{nn'}^M + c_3 (E_{nn'}^M)^2, & E_\gamma \in I_{nn'}, \\ 0 & E_\gamma \notin I_{nn'}, \end{cases} \quad /3/$$

$$I_{nn'} = (E_{nn'}^m, E_{nn'}^M); \{n, n'\} = \{n, n' | n - n' = \pm 1, \pm 3, \dots\}.$$

Константы c_i / $i = 1, 2, 3$ / определены в /6/,

$$E_{nn'}^m = c_4 (\epsilon_n - \epsilon_{n'}); \quad c_4 = \hbar^2 [2m_0 \gamma (1 + \beta)]^{-1}, \quad /4a/$$

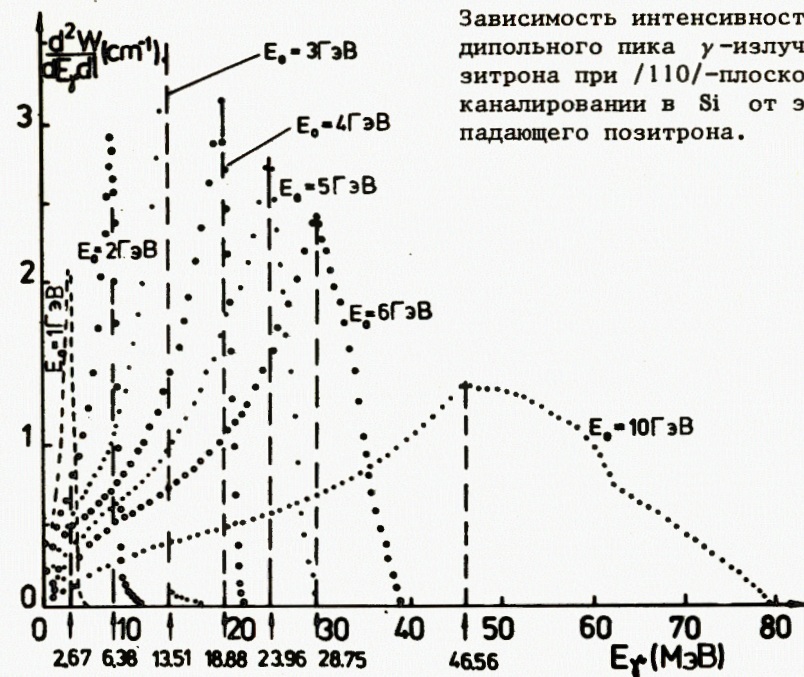
$$E_{nn'}^M = E_{nn'} [(1 + \beta) \gamma]^2 \{1 + \kappa (1 + \beta) (\hbar^2 / 2m_0) (\epsilon_n - u_{\min}) / m_0 c^2\}, \quad /4б/$$

$$\beta = [1 - (v_0/c)^2]^{1/2}, \quad u_{\min} = \min_x u(x).$$

κ в формулах /4/ - медленно меняющаяся около 1 функция ϵ_n ($\kappa \sim 1$). Выражение, стоящее в фигурных скобках в /4б/, учитывает параметрическую зависимость; $p_n(\delta)$ - вероятность заселения позитроном n -уровня с входным условием δ . С целью учета экспериментальной дисперсии входного пучка определим $p_n(\delta)$ так:

$$p_n(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{+\infty} d\delta' p_n^0(\delta') \exp[-(\delta' - \delta)^2 / 2\sigma], \quad /5/$$

где $p_n^0(\delta)$ определено стандартным образом /9/, $\sigma \approx 25$ мрад. Проведенные численные расчеты иллюстрированы рисунком. Они показывают для позитронов с энергией 5 ГэВ наличие узкого и интенсивного пика с энергией 24 МэВ, по форме очень похожего на измеренный в гармоническом потенциале, однако максимум интенсивности приходится на пик при энергии позитронов ~ 3 ГэВ с энергией γ -квантов 13,5 МэВ. Наконец, проведенные расчеты показывают слабое влияние эффекта туннелирования на спектральную интенсивность излучения.



Зависимость интенсивности первого дипольного пика γ -излучения позитрона при /110/-плоскостном каналировании в Si от энергии падающего позитрона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Filatova N.A. et al. Phys.Rev.Lett., 1982, v. 48, p. 488.
2. Atkinson M. et al. Phys.Lett., 1982, v. 110B, p. 162.
3. Кумахов М.А., Трикалинос Х.Г. ЖЭТФ, 1980, т. 78, с. 1623.
4. Ellison J.A. et al. Phys.Lett., 1982, v.112B, No.1, p. 83.
5. Wedell K. phys.stat.solidi (b), 1980, v. 99, p. 11.
6. Базылев В.Н., Жеваго Н.К. УФН, 1982, т.137, с. 605.
7. Lindhard S. K.Dan Videnske.Selsk.Mat.Phys.Medd., 1965, v.34, No. 14.
8. Gemmell D.S. Rev.Mod.Phys., 1979, с. 46, p. 129.
9. Anderson I.U. et al. Physica Scripta, 1981, v.24, p. 588.
10. Adam Gh. Ph.D.Thesis. Bucharest, 1979, Preprint FT-207-1981, CI Ph-Bucharest (1981).

Рукопись поступила в издательский отдел
3 мая 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Адам Г. и др. P17-83-291
О пике излучения каналируемых в кремнии позитронов в диапазоне энергий $1 \div 10$ ГэВ

В рамках квантово-механического подхода исследована основная гармоника дипольного излучения при реалистическом выборе плоскостного потенциала. Показано существование интенсивного и узкого пика в излучении на энергии γ -квантов 13,5 МэВ при /110/ плоскостном каналировании позитронов в Si, на энергию 3 ГэВ.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Adam Gh. et al. P17-83-291
Sharp Peak Radiation from $1 \div 10$ GeV Positrons Channeled in Si

The spectral intensity of the first dipolar harmonics is evaluated within the quantum mechanical approach to the solution of the channeling radiation problem, with a realistic choice of the effective planar potential. The effects of anharmonicity and non-dipolarity are investigated for various momenta of the incident positrons (110) planar channeled in Si and it is concluded that a very intense and narrow emission of γ -radiation at $E_\gamma = 13.5$ MeV is expected to occur for 3 GeV/c positrons.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод авторов.