

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ДАРЕБИЯН СИМОН МАРТИРОСОВИЧ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ
ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛАХ

(01.04.02 - теоретическая и математическая физика)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЕРЕВАН - 1981

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
К.А.Испирян

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор М.И.Рязанов (МИФИ);
кандидат физико-математических наук
Н.Ф.Шульга (ХФТИ)

Ведущая организация: Институт физических исследований
АН Арм. ССР

Защита диссертации состоится "30" июня 1981 г.
в 14 часов на заседании специализированного совета
Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте
(375036, г. Ереван, ул. Маркаряна 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕФИ
Автореферат разослан " " _____ 1981 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат физ.-мат. наук

В.А.Шахбазян

Актуальность проблемы. Электромагнитные взаимодействия релятивистских частиц с монокристаллами приводят к ряду эффектов, которые нашли широкое применение в различных областях науки и техники и открывают новые перспективы в области экспериментальной физики высоких энергий. К таким эффектам относятся, в первую очередь, интерференционные явления в тормозном излучении частиц и в образовании пар фотонами в кристаллах при высоких энергиях. Возможность практического получения квазимонохроматических и поляризованных пучков фотонов высоких энергий определила целесообразность исследования тормозного излучения электронов в кристаллах. В настоящее время такие пучки от кристаллических мишеней получены почти на всех ускорителях высоких энергий и успешно применяются для исследования процессов фоторождения элементарных частиц. Интерференционные эффекты в образовании электрон-позитронных пар фотонами в кристаллах лежат в основе метода исследования поляризации пучков фотонов, а также получения поляризованных пучков фотонов предельной энергии тормозного спектра. Вместе с тем, определенный интерес представляет теоретическое рассмотрение когерентных эффектов и возможность их экспериментального исследования и в других электромагнитных процессах, таких как образование пар тяжелыми частицами, обратное тормозное излучение и др.

Актуальность исследования взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами особенно возросла в последние годы в связи с

явлением каналирования заряженных частиц. Интенсивное экспериментальное и теоретическое изучение эффектов, связанных с каналированием частиц, обусловлено их широким применением не только в физике высоких энергий, но и в физике твердого тела, технологии полупроводников и т.д.

Для экспериментальной проверки теоретических предсказаний влияния явления каналирования на различные процессы особый интерес представляет исследование прохождения и потерь энергии каналированных частиц на ионизацию и возбуждение атомов кристалла. В частности, влияние каналирования можно исследовать, измеряя ориентационную зависимость интенсивности характеристического рентгеновского излучения, возникающего вследствие ионизации К-оболочек атомов кристалла. Такие эксперименты проведены с частицами малых энергий и в настоящее время проводятся при высоких энергиях.

Цели и задачи работы. Целью диссертационной работы является теоретическое исследование когерентных эффектов в электромагнитных процессах в кристаллических средах и возможность их экспериментального наблюдения. Задачами исследования являются: Детальное рассмотрение угловых и поляризационных зависимостей дифференциальных сечений прямого и обратного процессов тормозного излучения и образования пар в монокристаллах; Исследование когерентных эффектов в тормозном излучении частиц и в образовании пар фотонами в кристалле корунда и возможность применения кристалла корунда как поляризатора фотонов предельной энергии тормозного спектра; Вычисление вероятности перехода процесса обратного тормозного излучения электронов и выявление возможности экспериментального наблюдения самоускорения

электронов при распространении плотных пучков электронов в среде; Исследование динамики движения частиц в различных режимах каналирования и влияние каналирования на сечение К-ионизации релятивистскими частицами в кристаллах.

Научная новизна и значение работы. В диссертации в общем виде рассмотрены прямые и обратные процессы тормозного излучения и образования пар в кристаллах как в случае электронов, так и в случае скалярных частиц, с учетом всех возможных корреляций поляризации фотона и спинов частиц. Проведен подробный анализ зависимостей интенсивности и поляризации тормозного излучения в кристаллах от полярного и азимутального углов испускания фотонов. Выяснено, что из-за когерентных эффектов при определенных условиях вероятность процесса обратного тормозного излучения в кристалле значительно превосходит вероятность в аморфных средах.

Исследование энергетической и ориентационной зависимостей параметра асимметрии образования пар поляризованными фотонами в кристалле корунда проведено впервые и показано, что толстый монокристалл корунда можно применять как поляризатор для получения поляризованных пучков фотонов предельной энергии тормозного спектра.

Исследовано движение частиц в различных режимах каналирования и ориентационная зависимость доли захвата частиц пучка в канал; получены функции распределения каналированных частиц в перпендикулярных к осям и плоскостям кристалла направлениях. Исследовано влияние каналирования на К-ионизацию при прохождении пучка релятивистских частиц через кристалл под малыми углами относительно кристаллических осей и плоскостей.

Практическая ценность работы. На основе теоретических исследований когерентных эффектов в образовании электрон-позитронных пар в кристалле корунда был подготовлен и проведен эксперимент на Ереванском ускорителе по получению поляризованных пучков фотонов предельной энергии тормозного спектра. Результаты экспериментальных измерений параметров пучка подтвердили теоретические предсказания.

Полученные в диссертации результаты угловых зависимостей интенсивности и поляризации тормозного излучения в кристаллах могут быть использованы в расчетах по методу Монте-Карло для вычисления поляризации пучков фотонов, получаемых в экспериментах от кристаллических мишеней, а также для улучшения параметров пучка.

Результаты расчетов по исследованию движения каналированных частиц в кристаллах являются необходимыми при подготовке и проведении экспериментов с каналированными частицами. Результаты, полученные для сечения К-ионизации в кристаллах, могут быть сравнены с данными проведенного недавно эксперимента в CERN-е.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на Международную конференцию по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976), докладывались на сессии Совета "Электромагнитные взаимодействия адронов в резонансной области энергий" (Харьков, 1979). Диссертация апробирована на научном семинаре лаборатории № 211 Ереванского физического института.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано девять работ. Список приводится в конце автореферата.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений, содержит 141 страницу

машинописного текста, 21 рисунок и список литературы из 100 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность темы диссертационной работы и состояние исследуемых вопросов до выполнения работ, вошедших в данную диссертацию. Сформулированы задачи исследования и кратко излагается содержание работы.

В первой главе рассматриваются тормозное излучение электронов и скалярных частиц и образование e^+e^- -пар и пар скалярных частиц фотонами в кристаллах при высоких энергиях $/1-3/$.

В § I показано, что качественную картину углового распределения в интерференционной части сечения можно выявить, исходя из кинематики процесса тормозного излучения. Имея в виду, что в интерференционной части сечения переданный импульс принимает значения $\vec{q} = \vec{g}$, где \vec{g} - вектор обратной решетки, из законов сохранения энергии и импульса в приближении высоких энергий $\epsilon_{1,2} \gg m$ и малых углов излучения можно получить соотношение, связывающее полярный и азимутальный углы u и φ_g излучения фотона:

$$(u_x - g_x/m)^2 + (u_y - g_y/m)^2 = (g_{||} - \delta_B - g_1^2/2\epsilon_1)/\delta_B, \quad (I)$$

где ϵ_1 , $X = \omega/\epsilon_1$ - энергии начального электрона и фотона, $g_{||}$ и $\vec{g}_\perp(g_x, g_y)$ - продольная и перпендикулярная составляющие вектора \vec{g} относительно импульса начального электрона \vec{p}_1 , $u_x = -u \cos \varphi_g$, $u_y = -u \sin \varphi_g$, $u = \epsilon_1 \theta_g/m$ (ось z направлена вдоль \vec{p}_1 , $\hbar = c = 1$). Для выбранной ориентации кристалла и заданных значений ϵ_1 и X соотношение (I) для каждого вектора \vec{g} определяет направление

испускания фотонов \mathcal{U} и φ_r , а также интервал углов излучения $\Delta\mathcal{U} = \mathcal{U}_{\max} - \mathcal{U}_{\min}$ после интегрирования по φ_r .

В § 2 проведено общее рассмотрение тормозного излучения релятивистских частиц в кристаллах. Получены формулы для дифференциальных сечений и параметров Стокса излучения электронов и скалярных частиц в наиболее общем виде с учетом всех возможных корреляций поляризации фотона и спинов начальных и конечных частиц. Вычисления проведены в борновском приближении с учетом экранировки поля ядра атомными электронами. Проведен подробный анализ формул для интенсивности и поляризации излучения в кристаллах при заданном угле испускания фотона. Исследованы энергетические и ориентационные зависимости интенсивности излучения Π -мезонов на кристалле алмаза.

В § 3 с помощью формул, полученных в § 2, проведено подробное исследование зависимостей интенсивности и поляризации тормозного излучения электронов в кристаллах от полярного и азимутального углов испускания фотонов. На рис. I приведены результаты вычислений для интенсивности и поляризации после интегрирования по φ_r для кристалла алмаза. Вычисления проведены для ориентации кристалла, когда импульс \vec{p}_1 составляет угол $\theta = 50$ град с осью $[001]$ и лежит в плоскости, составляющей угол $\alpha = 0,9$ град с плоскостью (100) . При этом в спектральном распределении интенсивности основной вклад дает точка обратной решетки (220) , а пиковая энергия равна $\chi_d = 0,3$. Интервалы углов $\Delta\mathcal{U}$, в которых имеется заметное превышение интерференционной части излучения над аморфной для различных χ , совпадают с интервалами, полученными из (I). Далее в § 3 рассмотрены зависимости интенсивности и поляризации от азимутального угла при внеосевой колли-

мации пучка испущенных фотонов. С этой целью проведено интегрирование сечения излучения при заданном χ в интервалах $\Delta\mathcal{U}$, в соответствии с рис. I, и вычислены интенсивность и поляризация для пучка, испущенного в равных телесных углах $\mathcal{U} \Delta\mathcal{U} \Delta\varphi_r$.

В § 4 рассмотрены когерентное образование e^+e^- -пар и пар скалярных частиц фотонами высоких энергий в кристаллах. Получены формулы для дифференциального и полного сечений, а также для параметров асимметрии в общем случае с учетом поляризации фотона и частиц пары.

Во второй главе исследованы когерентные эффекты в тормозном излучении и в образовании пар фотонами в кристалле корунда /4,5/, а также в образовании пар тяжелыми частицами в кристаллах при высоких энергиях /3/.

В § 5 формулы для сечений тормозного излучения и образования пар фотонами, полученные в §§ 2 и 4, обобщены на случай сложных кристаллов из разных атомов и с ромбоэдрической решеткой. После усреднения по тепловым колебаниям атомов решетки они представляются в виде:

$$d\sigma^{KP} = \sum_{l=1}^2 N d\sigma_l^a + 2\pi N \bar{Z}^2 d\sigma'_{БГ} \sum_{\vec{q}} D_{cl}(\vec{q}) \delta(\vec{q} - \vec{q}'); \quad (2)$$

$$D_{cl}(\vec{q}) = \frac{(2\pi)^2}{V_0} \left| \sum_{l=1}^2 \frac{\bar{Z}_l}{g^2 + \beta_l^2} S_l(\vec{q}) \exp(-\frac{1}{2} g^2 \bar{u}_l^2) \right|^2. \quad (3)$$

В этих формулах N_l - число атомов с зарядами ядер Z_l в кристалле, $d\sigma_l^a$ - аморфные части сечений, $d\sigma'_{БГ}$ - сечение Бете-Гайтлера без множителя $Z^2/(q^2 + \beta^2)^2$, V_0 - объем элементарной ячейки, $\bar{Z} = \frac{1}{n_0} \sum_l n_l Z_l$ - средний заряд ядер атомов кристалла, $\bar{Z}_l = Z_l / \bar{Z}$, $n_0 = \sum_l n_l$ - полное число атомов элементарной ячейки, $\beta_l^{-1} = R_l$ и \bar{u}_l^2 - радиусы экранировки и среднеквадратичные тепловые смещения атомов.

При $Z_1 = Z_2$ формулы (2-3) переходят в соответствующие формулы для однородных кристаллов.

В формуле (3) величины $S_\rho(\vec{g}) = \sum_j \exp(i\vec{g}\vec{R}_{j\rho})$ - структурные факторы узла обратной решетки в случае сложного кристалла. Вычисления для кристалла корунда показали, что наибольшие структурные факторы $|S_1|^2 = 28,77$, $|S_2|^2 = 16$, $2\text{Re}S_1S_2^* = 42,9$ имеют узлы с индексами Миллера $l, m, n = (2\bar{1}\bar{1}), (2\bar{1}1)$ на плоскости $g_3 = 0$ ($l+m+n = 0$). Соответственно этому вычисления проводились с такой ориентацией кристалла, чтобы основной вклад в сумму по \vec{g} в формуле (2) вносили точки с такими индексами. Результаты вычислений для интенсивности и поляризации показали, что кристалл корунда, наряду с кристаллом алмаза, можно применять как радиатор для получения поляризованных пучков фотонов высоких энергий. Интенсивность излучения на кристалле корунда меньше по сравнению с интенсивностью на кристалле алмаза почти вдвое из-за большего объема элементарной ячейки $V_{\text{кор}} = 1,85 V_{\text{алм}}$, величины же поляризации в пике интенсивности одинаковы.

Важной характеристикой для процесса рождения пар поляризованными фотонами в кристалле является асимметрия в полном сечении

$$R = \frac{\sigma_{p\parallel} - \sigma_{p\perp}}{\sigma_{p\parallel} + \sigma_{p\perp}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{p\parallel, \perp}$ - полные сечения рождения пар фотонами, поляризованными в плоскости, проходящей через импульс фотона и ось кристалла и в плоскости, перпендикулярной к ней. Наличие асимметрии в полном сечении приводит к тому, что прошедший через толстый кристалл неполяризованный пучок фотонов приобретает определенную поляризацию. Этот эффект лежит в основе нового метода получения поляризованных пучков фотонов высоких энергий. С точки зрения

экспериментального применения особенно важным является получение поляризованных фотонов предельной энергии тормозного спектра. Дело в том, что поляризованные пучки фотонов, получаемые тормозным излучением от кристаллических мишеней, обладают тем недостатком, что энергии фотонов, при которых интенсивность и поляризация пучков достаточны для проведения экспериментов, могут достигать половины энергии начального электрона. Кроме того, в спектре излучения за когерентным пиком имеется область высокоэнергичных фотонов, осложняющих экспериментальные условия. Ясно, что применение данного метода накладывает определенные условия на толщину и на поляризующую способность кристалла. Приведенные в § 6 результаты вычислений показывают, что толстый монокристалл корунда можно применять как поляризатор пучков фотонов высоких энергий, и он обладает рядом преимуществ по сравнению с ранее предложенными кристаллами (большое значение R , высокая температура Дебая $T = 1200^\circ\text{K}$, возможность выщипывания его до больших размеров).

На основе полученных теоретических результатов на Ереванском ускорителе был поставлен эксперимент по получению поляризованного пучка фотонов предельной энергии тормозного спектра $\omega = 4,4$ Гэв при энергии электронов $E_1 = 4,5$ Гэв. На рис. 2 приведены результаты теоретических расчетов и экспериментальных измерений. Из рисунка видно, что результаты измерений подтвердили теоретические предсказания и находятся с ними в удовлетворительном согласии.

В § 7 рассмотрен процесс образования пар тяжелыми частицами с массой, большей массы электрона $M > m$ в кристаллах /3/. Вычисления проведены методом эквивалентных фотонов для реляти-

вистских частиц при $E \gg M \gg m$, $E \gg \varepsilon_2 \gg m$. В отличие от рассмотренного другими авторами случая тонких одномерных кристаллов, нами рассмотрен процесс для более реального случая трехмерных кристаллов, толщина которых больше зоны формирования процесса $l > \delta_M^{-1}$, где δ_M - минимальный продольно переданный импульс:

$$\delta_M = \frac{M^2}{2E} \left(\frac{x+y}{1-x-y} + \frac{m^2}{M^2} \frac{x+y}{xy} \right). \quad (5)$$

Здесь E - энергия начальной частицы, $x = \varepsilon_1/E$, $y = \varepsilon_2/E$ - энергии частиц пар. Величина δ_M принимает свое наименьшее значение $\delta_M^{(min)} \approx 2mM/E$ при $x=y \approx m/M$.

Из выражений δ_M следует, что, как и в процессах тормозного излучения частиц и рождения пар фотонами, с увеличением E величина δ_M уменьшается и при достаточно больших E может выполняться условие появления когерентных эффектов $\delta_M^{-1} > a$. Вычисления, проведенные для случая образования e^+e^- -пар мюном на кристалле алмаза, показали, что в дифференциальном сечении процесса $d\sigma_M^{kp}/dy$ в области $y \sim (0,1-1)m/M$ имеют место характерные интерференционные пики, величина которых превышает аморфную часть сечения $\sim 2-4$ раза при энергиях мюна $E = 400$ и 1000 Гэв. Отметим, что сечение процесса слабо зависит от массы тяжелой частицы и обратно пропорционально квадрату массы электрона. Полученные результаты показывают, что процесс образования e^+e^- -пар тяжелыми частицами в кристаллах может быть экспериментально исследован на современных ускорителях.

Третья глава посвящена исследованию процессов обратного тормозного излучения электронов $\gamma + e + Z \rightarrow Z + e$ и скалярных частиц $\gamma + S + Z \rightarrow Z + S$ в аморфных и кристаллических средах при высоких энергиях $/6-7/$. Вычисления проведены в борновском приближении

для поляризованных частиц при произвольной экранировке.

Обратные процессы излучения и образования пар относятся к тройным столкновениям в квантовой электродинамике $1+2+3 \rightarrow 2+3$, и для них вместо сечения вычисляются вероятности переходов:

$$W = \frac{1}{j_2 n_1 n_3} \frac{\Delta N}{\Delta t \Delta V}, \quad (6)$$

где $\Delta N/\Delta t \Delta V$ - число событий в единицу времени и в единице объема взаимодействия, j_2 - плотность потока частиц 2 (электрон), n_1 и n_3 - плотности частиц 1 (фотон) и 3 (ядро). В случае неполяризованных частиц формула для полной вероятности перехода обратного тормозного излучения электронов в кристалле имеет вид:

$$W_{123}^{kp}(\vec{p}_1, \vec{k}) = N W_0 \frac{m \varepsilon_1 \varepsilon_2}{\omega^3} \left\{ \xi^2 [1 + \Gamma - 2u^2 \xi^2 \Gamma + \frac{\omega \delta_{12}}{m^2} (\frac{3}{2} + \Gamma)] + \sum_{\vec{q}} D(\vec{q}) [-m^2 (\xi - \eta)^2 + \xi \eta g_1^2 + \omega \delta_{12} g_1^2 / m^2] \delta(\phi_{12}(\vec{k}, \vec{q})) \right\}, \quad (7)$$

где $\omega, \vec{k}; \varepsilon_1, \vec{p}_1$ и ε_2, \vec{p}_2 - энергии и импульсы фотона и начального и конечного электронов, $W_0 = 32\pi^2 Z^2 d^3/m^5$, N - число атомов кристалла, $u = \varepsilon_1 \theta_y / m$, $\xi = 1/(1+u^2)$, θ_y - угол между импульсами \vec{k} и \vec{p}_1 , $\delta_{12} = m^2 \omega / 2\varepsilon_1 \varepsilon_2$ - минимальный переданный импульс, $\eta = -\delta_{12} / (g_{11} - g_1^2 / 2\varepsilon_1)$, D - определено в (3), а выражения функций ϕ_{12} и Γ следующие:

$$\phi_{12}(\vec{k}, \vec{q}) = g_{11} + \delta_{12} (1+u^2) - g_1^2 / 2\varepsilon_2 + 2u \delta_{12} (g_{11}/m) \cos(\varphi_y - \varphi_q),$$

$$\Gamma(\xi) = -2 - \ln(\beta \xi / m) - B(\beta^2 u^2); \quad 2B(x) = -1 - (1+x)e^x Ei(-x).$$

Последние члены в прямых скобках в (7) представляют собой спиновые добавки и в случае скалярных частиц отсутствуют. Как видно из формулы (7), вероятность перехода прямо пропорциональна энергиям частиц и падает с энергией фотона как ω^{-3} . Учет экранировки приводит к существенному изменению значений W_{123} .

В § 10 приведены результаты расчетов зависимостей вероятности перехода обратного тормозного излучения электронов от энергий и от угла между импульсами начальных частиц для аморфного и кристаллического вольфрама. Результаты показывают, что в кристаллической среде в узких интервалах в области малых энергий фотонов $\chi \sim 10^{-2} - 10^{-1}$ в вероятности процесса наблюдаются интерференционные пики, величина которых превышает аморфную часть вероятности более чем на порядок. Полученные результаты вероятности перехода использованы далее для оценки возможности экспериментального наблюдения процесса самоускорения. При прохождении плотных пучков электронов через среду возникающие тормозные кванты от одних электронов могут поглотиться другими электронами пучка вследствие обратного тормозного излучения, и при выходе из среды в пучке можно наблюдать электроны с энергией, большей энергии начальных электронов. Оценки, проведенные для пучка электронов при нормальном режиме работы ускорителя SLAC с энергией электронов $\mathcal{E}_1 = 20$ Гэв и плотностью 10^{11} эл/см³, показали, что при прохождении пучка через аморфную вольфрамовую мишень толщиной 1 рад. дл. число событий самоускорения электронов, увеличивших свою энергию на 1% и больше, составляет $\sim 0,5$ соб/час. Результаты показывают, что наблюдение явления самоускорения в достигнутых ныне плотных пучках электронов высоких энергий представляет собой трудную экспериментальную задачу.

В четвертой главе исследованы движения релятивистских заряженных частиц в режимах осевого и плоскостного каналирования и влияние каналирования на сечение К-ионизации атомов при проходе частиц через кристаллическую среду /8,9/.

Для рассмотрения влияния явления каналирования на различные процессы, протекающие при взаимодействии заряженных частиц с монокристаллами, а также для сравнения теоретических результатов с экспериментальными данными, важно знание доли захвата частиц начального пучка в режим каналирования и распределения каналированных частиц в направлениях, перпендикулярных осям и плоскостям кристалла. В §§ 11 и 12 с помощью уравнений траекторий каналированных частиц, полученных в приложении 2, исследованы условия захвата частиц в канал и получены формулы для доли захвата частиц начального пучка в режим каналирования и для функций распределения каналированных частиц. Приведены результаты численных расчетов зависимостей доли захвата и распределения каналированных частиц от угла ориентации кристалла относительно направления падающего пучка. Полученные результаты показывают, что как величина доли захвата, так и функции распределения не зависят явно от энергии частиц и являются функциями от отношений θ_0/θ_R и θ_0/θ_{pe} , где θ_R и θ_{pe} - углы Линдхарда для осевого и плоскостного каналирования.

В §§ 13, 14 рассматривается К-ионизация при прохождении пучка заряженных частиц через кристалл в условиях каналирования. Сечения К-ионизации вычислены для случая пучка падающих частиц с учетом захвата частиц в канал и специфического распределения каналированных частиц в перпендикулярных направлениях, при этом использованы соответствующие выражения для доли захвата и функций распределения каналированных частиц, полученные в предыдущих параграфах. Подробно исследованы энергетические и ориентационные зависимости сечения К-ионизации положительными и отрицательными частицами в режимах осевого и плоскостного каналиро-

вания. На рис.3 показаны энергетические зависимости сечений для случая электронов в кристалле германия при фиксированном угле падения пучка на кристалл. Результаты расчетов показывают, что при каналировании сечение К-ионизации увеличивается в случае отрицательных частиц (кривые 2 и 3 - осевое и плоскостное каналирование электронов) и уменьшается в случае положительных частиц (кривая 4 - плоскостное каналирование позитронов) по сравнению с их значениями в аморфных средах (кривая 1).

В приложении 1 приводится метод интегрирования интерференционных частей сечений тормозного излучения частиц и образования пар фотонами в кристалле.

В приложении 2 приводятся решения уравнений движения релятивистских каналированных частиц для выбранных модельных потенциалов осей и плоскостей кристаллов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, которые выдвигаются для защиты.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Получены формулы для дифференциальных и интегральных сечений процессов тормозного излучения электронов и скалярных частиц, а также образования e^+e^- -пар и пар скалярных частиц фотонами в кристаллах при высоких энергиях в борновском приближении в наиболее общем виде с учетом всех возможных корреляций поляризации фотона и спинов частиц.

2. С помощью полученных формул углового распределения интенсивности излучения в кристалле показано, что при данной ориентации кристалла и энергии фотона интерференционная часть из-

лучения заключена в определенных узких интервалах полярного угла вылета фотона, в отличие от аморфной части, которая имеет непрерывное распределение.

3. Рассмотрены когерентные эффекты в тормозном излучении электронов и в образовании e^+e^- -пар фотонами на кристалле корунда и исследована поляризующая способность кристалла корунда для пучков фотонов высоких энергий. Показано, что толстый монокристалл корунда можно применять как поляризатор фотонов предельной энергии тормозного спектра, и он обладает рядом преимуществ по сравнению с ранее рассмотренными кристаллами. Теоретически предсказано и экспериментально подтверждено, что при прохождении неполяризованного пучка фотонов энергии 4,4 Гэв через кристалл корунда толщиной 30 см поляризация прошедшего пучка составляет ~15%.

4. Проанализированы условия появления когерентных эффектов в процессе образования e^+e^- -пар тяжелой частицей в кристаллах. Показано, что в сечении образования e^+e^- -пар мюонами в кристалле алмаза имеют место интерференционные пики, величина которых при энергии мюона 400 и 1000 Гэв превышает аморфную часть сечения ~ 2-4 раза в области энергии позитрона 1-3 Гэв.

5. Рассмотрены процессы обратного тормозного излучения электронов и скалярных частиц и установлены условия появления когерентных эффектов в этих процессах в кристаллах. Оценена возможность экспериментального наблюдения явления самоускорения электронов при прохождении плотных пучков электронов высоких энергий через аморфные и кристаллические среды.

6. Исследовано движение каналированных частиц в кристаллах и получены формулы для доли захвата частиц начального пучка

в канал и для функций распределения каналированных частиц в направлениях, перпендикулярных осям и плоскостям кристалла. Подробно проанализированы ориентационные и энергетические зависимости доли захвата и функций распределения в различных режимах каналирования.

7. Теоретически рассчитано влияние каналирования релятивистских частиц на величину сечения К-ионизации при прохождении пучка частиц через кристаллическую среду. Показано, что сечение К-ионизации в кристалле германия увеличивается $\sim 1,25$ и $\sim 1,6$ раза в случае осевого и плоскостного каналирования отрицательных частиц, и уменьшается $\sim 1,7$ раза в условиях плоскостного каналирования положительных частиц, что может быть экспериментально проверено.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Угловое распределение тормозного излучения электронов высоких энергий на кристалле алмаза./Авакян Р.О., Армагян А.А., Дарбинян С.М., Сехпосян Э.В. - ДАН Арм. ССР, 1967, т. 45, № I, с. 3-8.
2. Darbinian S.M., Ispirian K.A. Angular Distribution and Polarization of Electron Bremsstrahlung in Crystal.- Yerevan, 1978.- 27 p. (Preprint/Yer. Phys. Inst: 334(59)-78).
Доклады на сессии Совета "Электромагнитные взаимодействия адронов в резонансной области энергий", Харьков, ХФТИ, 1979.
-Вопросы атомной науки и техники, серия: Общая и ядерная физика, 1980, вып. I /II/, с. 48-49.

3. Дарбинян С.М., Испириян К.А. Когерентное тормозное излучение и образование пар релятивистскими тяжелыми частицами в кристалле.- Ереван, 1980.- 16 с. (Препринт/ЕФИ: 435(42)-80).
4. Авакян Р.О., Армагян А.А., Дарбинян С.М. Когерентное образование электронно-позитронных пар и тормозное излучение на кристалле корунда. - Изв. АН Арм. ССР, Физика, 1972, т. 7, вып. 5, с. 311-319.
5. Авакян Р.О., Армагян А.А., Дарбинян С.М. О возможности применения кристалла корунда как поляризатора фотонов высоких энергий.- Изв. АН Арм. ССР, Физика, 1972, т. 7, вып. 4, с. 298-300.
6. Дарбинян С.М., Испириян К.А. Обратное тормозное излучение и образование пар при высоких энергиях. - Изв. АН Арм. ССР, Физика, 1976, т. II, вып. 3, с. 230-233.
7. Darbinian S.M., Ispirian K.A. Coherence Effects in Inverse Bremsstrahlung at High Energies.- Phys. Lett., 1976, v.67B, N.2, p. 207-209; Proc. 18th Int. Conf. on High Energy Phys., Tbilisi, 1976.- Dubna, 1977, v.2, 1085/G3-13, p. 53.
8. Darbinian S.M., Ispirian K.A. On High Energy Particle Channeling.-phys. stat. sol.(b), 1979, v.96, N.2, p.835-842.
9. Дарбинян С.М., Испириян К.А. К-ионизация каналированными релятивистскими частицами. - Ереван, 1981.- 28 с. (Препринт/ЕФИ: 46I(3)-8I).

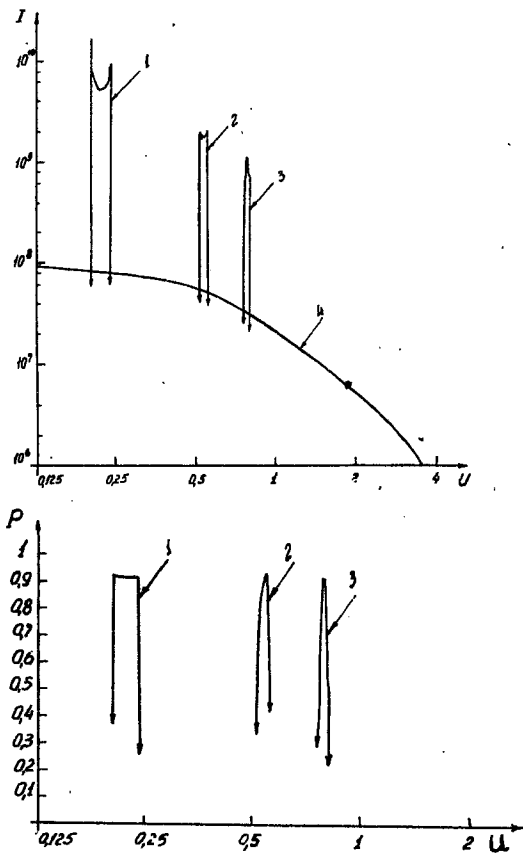


Рис.1. Зависимость интенсивности $I = \frac{\chi}{2\pi N b_0} \frac{d^2 b_r}{dx d\theta_r d\theta_\theta}$ и поляризации P от U для кристалла алмаза. Кривые 1,2,3 - когерентное излучение с $\chi = 0,29, 0,25, 0,2$, кривая 4 - аморфная часть излучения.

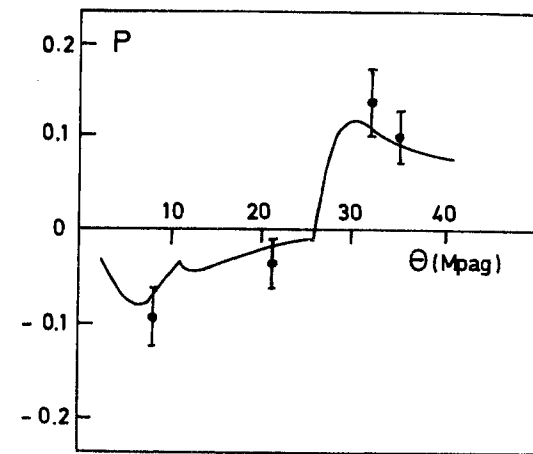


Рис.2. Поляризация пучка фотонов с $\omega = 4,4$ Гэв после прохождения кристалла корунда толщиной 30 см.

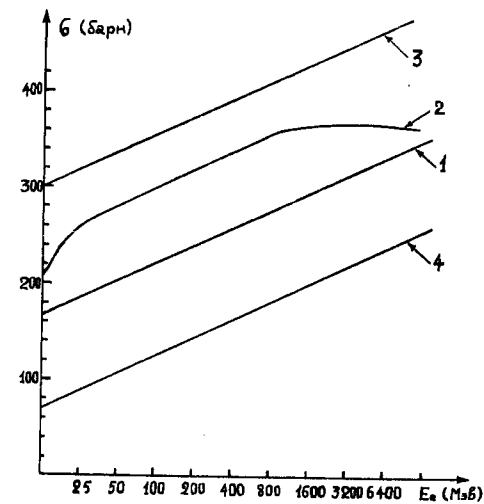


Рис.3. Зависимость сечения К-ионизации от энергии для кристалла Ge. Кривая 1 - σ^{nch} (аморфная среда), кривая 2 - σ_R (ось [100], $\theta_0 = \text{const}$), кривые 3 и 4 - σ_{Rl-} и σ_{Rl+} (плоскость (100), $\theta_0 = 0$).

Техх

Тех. редактор А.С. Абрамян

Заказ 335 ВФ-04867 Тираж 170

Подписано к печати 13.05.81г.

1,5 уч. изд. л. Формат издания 60x84/16

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер. Маркаряна 2