

УДК 537.531.9

Г.А. АЙРАПЕТЯН, Э.А. БАБАХАНИН

О НАДБАРЬЕРНОМ ОТРАЖЕНИИ ПРИ ПЛОСКОСТНОМ  
КАНАЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

Исследуется поведение коэффициентов отражения блоховских волн от потенциального барьера и от ямы для ближайшей надбарьерной энергетической зоны в зависимости от квазиимпульса внутри зоны Бриллюэна при различных энергиях каналирующихся электронов и позитронов, а также изучается характер изменения надбарьерного отражения по всему энергетическому спектру при переходе от одной энергетической зоны к другой для каждого фиксированного значения энергии падающих на кристалл частиц; показано, что коэффициенты отражения имеют осцилляционное поведение.

Ереванский физический институт

Ереван 1983

ON THE ABOVE-BARRIER REFLECTION BY THE PLANAR  
CHANELLING OF ELECTRONS AND POSITRONS IN CRYSTALS

BABAKHANYAN E.A., HAYRAPETIAN G.A.

The behaviour of coefficients of Bloch waves reflection from potential barrier and well for the nearest above-barrier energetic band as a function of quasimomentum in the Brillouin zone is investigated for different energies of channeled electrons and positrons. The variation of the above-barrier reflection coefficients for the whole energy spectrum by transition from one energy band to another for each fixed energy value of insident particles is studied too. The oscillating behaviour of reflection coefficients is shown.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1983

ФФИ-669(59)-83

Г.А.АЙРАПЕТЯН, Э.А.БАБАХАНИЯ

О НАДБАРЬЕРНОМ ОТРАЖЕНИИ ПРИ ПЛОСКОСТНОМ  
КАНАЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

Ереван 1983

© *Ереванский физический институт*, 1983г.

В работах [1,2] была выявлена особая роль надбарьерных состояний в явлении каналирования отрицательно и положительно заряженных частиц. Именно эти состояния ответственны за экспериментально обнаруженный эффект аномально высокого прохождения электронов в условиях каналирования частиц в кристаллах (см., напр. работы [3,4]).

Целью настоящей работы является исследование поведения коэффициентов надбарьерного отражения от прямоугольного потенциального барьера, а также от потенциальной ямы, и изучение его влияния на различные физические явления при плоскостном каналировании электронов и позитронов мегаэлектронвольтных энергий.

Коэффициент надбарьерного отражения от барьера имеет следующий вид [5]:

$$r_B = \frac{k_0^4 \sin^2 x b}{k_0^4 \sin^2 x b + 4k^2 x^2}, \quad (1)$$

а для отражения от ямы коэффициент можно записать в виде:

$$r_w = \frac{k_0^4 \sin^2 k a}{k_0^4 \sin^2 k a + 4k^2 x^2}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  — соответственно, ширины потенциальной ямы и потенциального барьера;  $k$  — безразмерный параметр, выражающийся

через поперечную энергию  $\varepsilon$  и полную энергию частиц  $E$ , следующим образом:

$$k = \frac{d}{\hbar c} \sqrt{2E\varepsilon} \quad (3)$$

$k_0$  отвечает поперечной энергии, равной высоте барьера  $V_0$  :

$$k_0 = \frac{d}{\hbar c} \sqrt{2EV_0} \quad (4)$$

$x$  выражается через  $k$  и  $k_0$  таким образом:

$$x = \sqrt{k^2 - k_0^2}. \quad (5)$$

Как видно из выражений (1) и (2),  $\tilde{\Gamma}_g$  и  $\tilde{\Gamma}_w$  имеют осцилляционный характер, как в зависимости от параметров частицы (энергии, массы), так и кристалла (ширины ямы и барьера, высоты потенциального барьера).

На рис. 1 и 2 представлены энергетические зонные спектры для электронов и позитронов различных энергий и соответствующие им коэффициенты надбарьерного отражения  $\tilde{\Gamma}_g$  и  $\tilde{\Gamma}_w$  для самой первой надбарьерной зоны.

Значение энергии электронов, равное 1,466 МэВ, отвечает ситуации с вырождением, которое заключается в обращении в нуль запрещенной полосы энергии между зонами, и соответственно, слиянии этих двух зон. Как показано в [6], в этом случае одновременно должны зануляться оба коэффициента надбарьерного отражения  $\tilde{\Gamma}_g$  и  $\tilde{\Gamma}_w$ , что наглядно представлено на рис. 1.

Аналогичная ситуация наблюдается при энергии вырождения для позитронов, равной 2,4434 МэВ (рис. 2).

С ростом энергии частиц происходит перемещение энергетических зон, чему сопутствует изменение свойств блоховских волновых функций соответствующих состояний. Проявление этого заметно и

в поведении коэффициентов надбарьерного отражения: так например, минимум  $\Gamma_{\xi}$  для первого надбарьерного состояния электронов сдвигается к центру зоны Бриллюэна, обращаясь в нуль при энергии частиц, соответствующей энергии вырождения.

Результаты исследования зависимости коэффициентов надбарьерного отражения от положения энергетических зон в энергетическом спектре представлены на рис.3-6. Установлена осцилляционная структура  $\Gamma_{\xi}$  и  $\Gamma_w$  с ростом номера зоны. При этом с увеличением значения энергии частиц отбрасывающая кривая смещается вверх, т.е. с ростом энергии усиливается отражение.

Таким образом, по поведению коэффициентов надбарьерного отражения можно составить представление как о структуре зонного спектра, так и о свойствах волновых функций блоховских состояний.

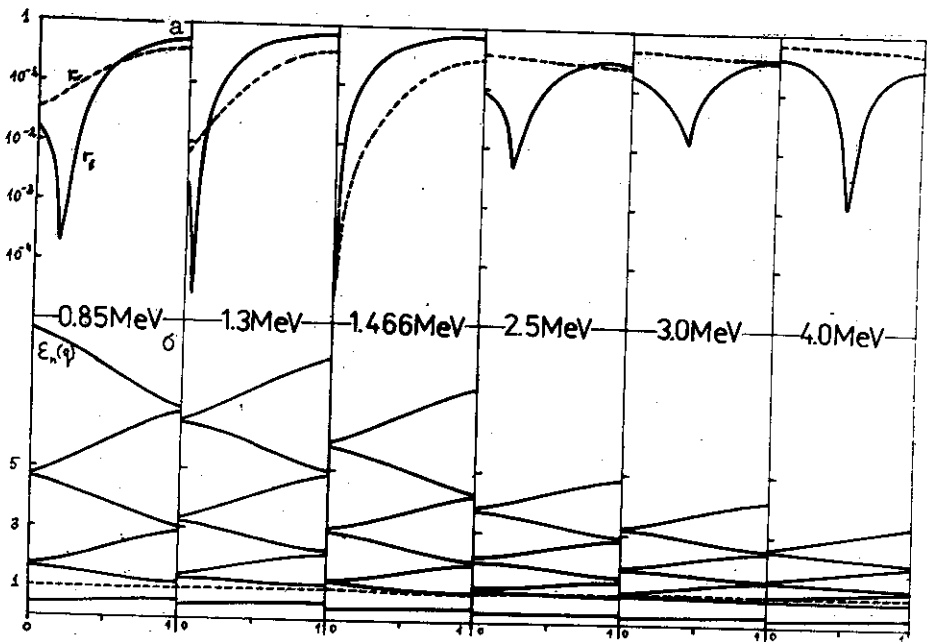


Рис. I а) зависимость коэффициентов надбарьерного отражения для первой надбарьерной зоны от квазиимпульса в зоне Бриллюэна при различных энергиях электронов; б) энергетический зонный спектр.

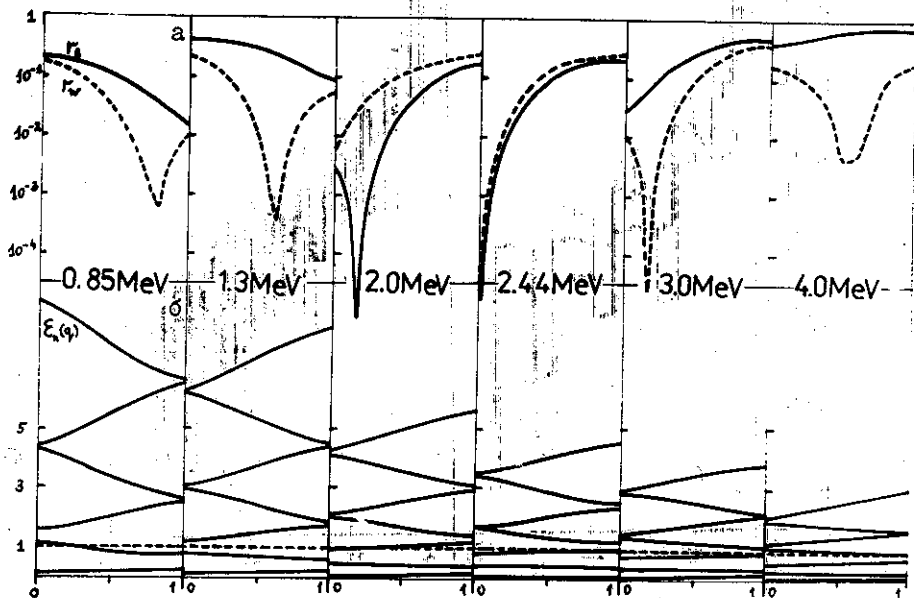


Рис.2 а) зависимость коэффициентов надбарьерного отражения для первой надбарьерной зоны от квазиимпульса в зоне Бриллюэна при различных энергиях позитронов; б) энергетический зонный спектр.

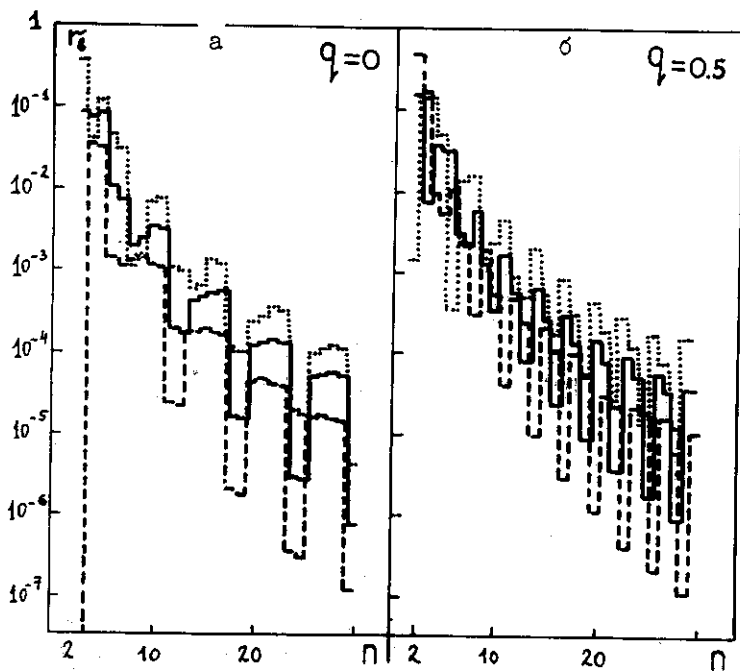


Рис.3 Зависимость  $\tau_{\bar{e}}$  от номера зоны для электронов различных энергий. Пунктирная линия соответствует энергии вырождения, равной 1,466 МэВ, сплошная линия - 2,5 МэВ, точечная - 4 МэВ;

а) для центра зоны Бриллюэна,  $q = 0$ , б)  $q = 0,5$ .

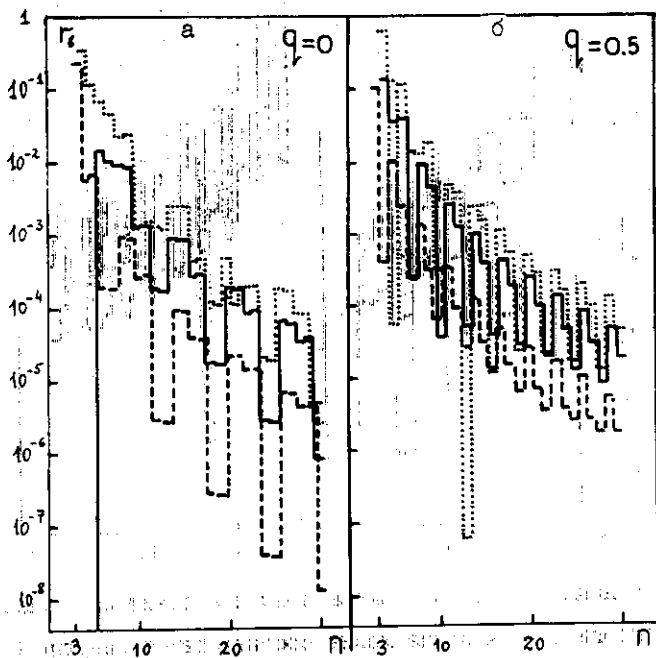


Рис. 4 Зависимость  $\Gamma_w$  от номера зоны для тех же значений энергии электронов, что и на рис. 3;  
 а) для  $q = 0$ ; б) для  $q = 0,5$ .

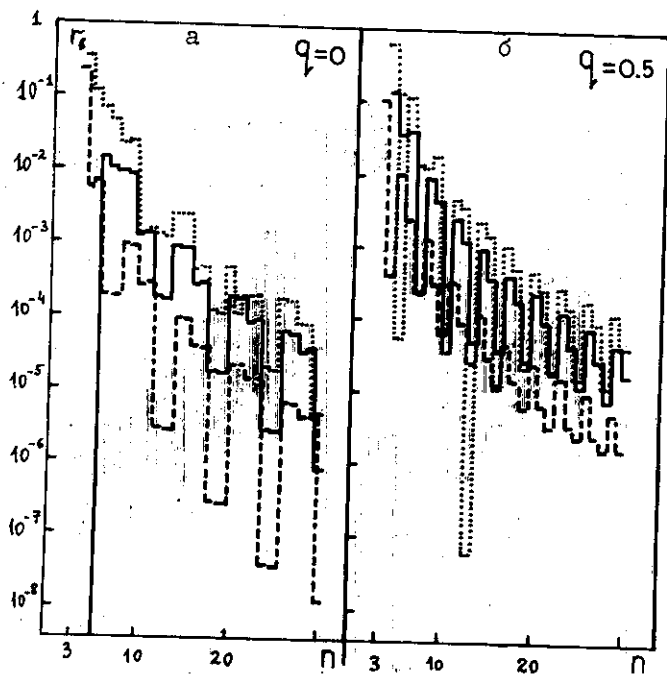


Рис.5 Зависимость  $\Gamma_6$  от номера зоны для позитронов различных энергий. Пунктирная линия соответствует энергии 0,85МэВ, сплошная линия - 2,4434 МэВ (вырожденная ситуация), точечная - 4 МэВ; а) для центра зоны Бриллюэна,  $q=0$ ; б)  $q=0,5$

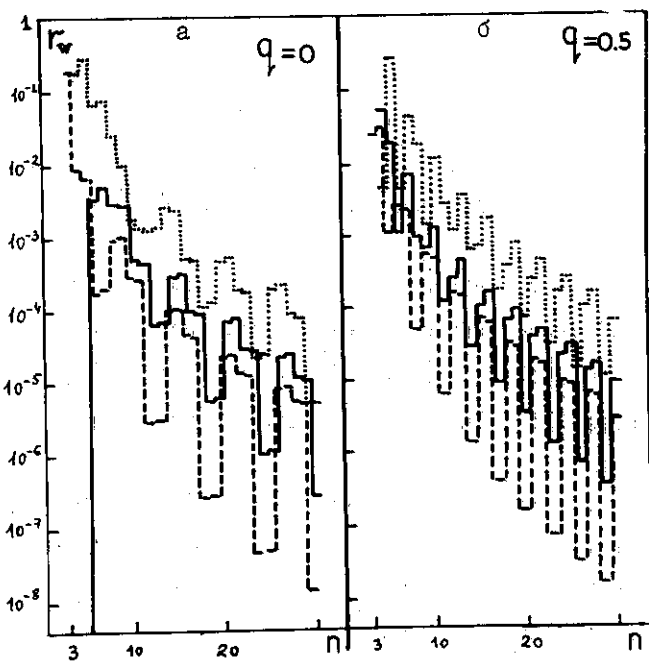


Рис.6 Зависимость  $\Gamma_w$  от номера зоны для тех же значений энергии позитронов, что и на рис.5;  
 а) для  $q = 0$ ; б) для  $q = 0.5$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каган Ю., Бабахаян Э.А., Кононец Ю.В. Особая роль надбарьерных состояний в картине каналирования электронов в кристаллах. Письма в ЖЭТФ, 1980, т.31, вып.12, с.776-780.
2. Бабахаян Э.А., Воробьев С.А., Кононец Ю.В., Попов Д.Е. Энергетическая зависимость структуры угловых распределений электронов при плоскостном каналировании. Письма в ЖЭТФ, 1982, т.35, вып.5, с.184-187.
3. Кулешов Е.А., Шпатов Э.Т. Ориентационная зависимость образования  $F$  - центров в монокристалле  $NaCl$ . ФТТ, 1973, т. 15, вып.6, с.1945-1946.
4. Karlin V.V., Plotnikov S.V., Tsekhanovsky I.A., Vorobiev S.A. Bound States of Swift Electrons for a  $\langle 111 \rangle$  axis of Silicon.- Phys.Lett., 1975, vol.54, No.6, p.447-448.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука, 1974.
6. Babakhanyan E.A., Kononets Yu.V. Energy Band Structure and Bloch Functions in the Planar Channeling Model with the Kronig-Penney Potential. Physica Status Solidi, 1980, vol.98b, No.1, p.59-77.

Рукопись поступила 6 июня 1983 г.

Редактор Л.П.Мукаян  
Тех.редактор А.С.Абрамян

газ 291

ВФ- 04498

Тираж 270

Препринт ВФИ

Формат издания 60x84/16

написано к печати 20/IX-83 0,5 уч.-изд.л. Ц. 8 к.

Издано Отделом научно-технической информации  
ванского физического института, Ереван 36, Маркаряна 2

индекс 3624