



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2007–3
ОЭФ

М.Н. Уханов

**О ПОЛЯРИЗАЦИИ ПУЧКА,
ВЫВЕДЕННОГО ИЗОГНУТЫМ КРИСТАЛЛОМ**

(Представлено на конференции СПИН-2006)

Направлено в *Physical Review Letters*

Протвино 2007

Аннотация

Уханов М.Н. О поляризации пучка, выведенного изогнутым кристаллом: Препринт ИФВЭ 2007–3. – Протвино, 2007. – 4 с., 4 рис., библиогр.: 4.

Пучок частиц, рассеянный на ядерной мишени, приобретает поляризацию, если ядра имеют ненулевую анализирующую способность. Этот эффект усиливается при прохождении частицы через изогнутый кристалл. При некоторых предположениях такое усиление позволяет измерять анализирующую способность на уровне 10^{-4} при величине квадрата переданного импульса $|t| < 10^{-5} \text{ (ГэВ/с)}^2$. В случае, если анализирующая способность достаточно велика, можно получить поляризацию пучка на выходе из кристалла более 50%.

Abstract

Ukhanov M.N. On Polarization of the Beam Extracted with the Bent Crystal: IHEP Preprint 2007–3. – Protvino, 2007. – p. 4, figs. 4, refs.:4.

Particles scattered off the nuclear target acquire a polarization if the nuclei have a non zero analyzing power. This effect is enhanced when particles traverse a bent crystal. Such enhancement under certain assumptions allows one to measure the analyzing power at the level of 10^{-4} at the square of transfer momentum $|t| < 10^{-5} \text{ (GeV/c)}^2$. If it happens that the analyzing power is big enough, then one can get the beam polarization more than 50% after extraction of the primary beam with the bent crystal.

Следствие из определения анализирующей способности

Определение анализирующей способности

В настоящей работе рассматриваются процессы только упругого рассеяния. На рис. 1 дана иллюстрация определения анализирующей способности. Анализирующей способностью называется такое свойство мишени (или лучше сказать, взаимодействия), когда пучок неполяризованных частиц приобретает поляризацию после рассеяния на мишени. Из соображений симметрии поляризация имеет противоположный знак при рассеянии налево и направо в плоскости рассеяния.

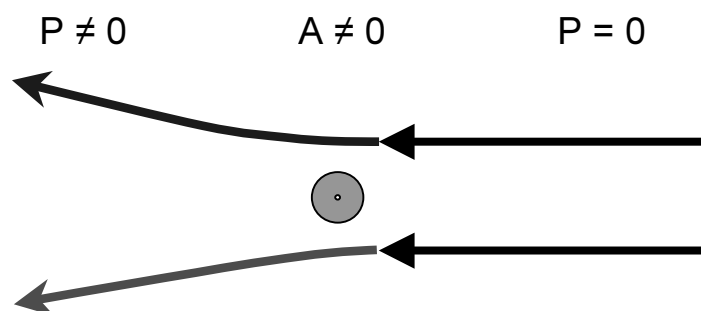


Рис. 1. Определение анализирующей способности. Пучок неполяризованных частиц приобретает поляризацию после рассеяния. Поляризация имеет противоположный знак при рассеянии налево и направо в плоскости рассеяния (плоскость рисунка).

Приложение к каналированию в изогнутом кристалле

Если мы будем рассматривать каналирование в изогнутом кристалле как серию последовательных актов рассеяния в одну и ту же сторону (например, налево, как это показано на рис. 2), тогда поляризация пучка будет возрастать после каждого акта рассеяния.

На выходе из кристалла мы будем иметь поляризацию пучка, многократно превосходящую поляризацию, получающуюся в результате однократного рассеяния.

Следствие

При ненулевой анализирующей способности пучок, выведенный изогнутым кристаллом, должен быть поляризован по определению.

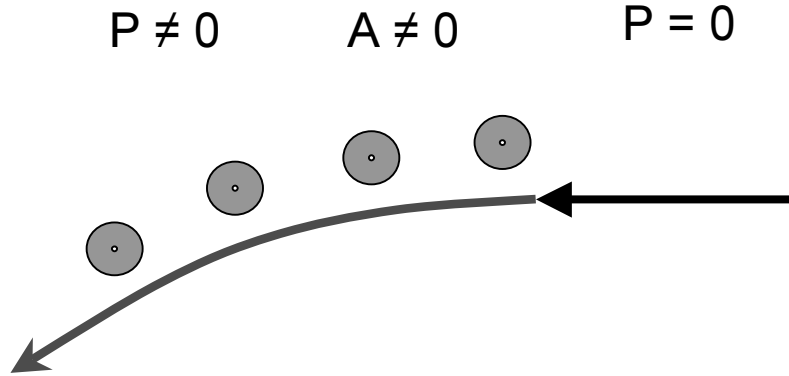


Рис. 2. Каналирование в изогнутом кристалле как серия последовательных актов рассеяния.

Численный пример

Поляризация пучка после N актов рассеяния с анализирующей способностью A в каждом из них может быть вычислена с помощью следующей формулы:

$$P = \frac{(1 + A)^N - (1 - A)^N}{(1 + A)^N + (1 - A)^N}.$$

Упрощенный случай

Критический угол каналирования в кристалле кремния для протонов с импульсом 70 ГэВ/с равен 20 мкрад (для другого импульса он вычисляется как 5 мкрад / импульс [ТэВ/с]) [1]. При угле рассеяния 20 мкрад для поворота на 100 мрад мы получаем число актов рассеяния $N = 5000$. Если взять $A = 10^{-4}$, то на выходе из кристалла поляризация равна $P = 46\%$.

В этом примере мы рассмотрели процесс каналирования как последовательность идентичных актов рассеяния на один и тот же угол, который мы приняли равным критическому углу каналирования. Цель этого примера – показать, что даже при очень незначительной величине анализирующей способности, вследствие многократного усиления эффекта в кристалле, на выходе возникает заметная поляризация выведенного пучка.

Менее упрощенный случай

Пусть частицы, захваченные в режим каналирования, рассеиваются на кристаллической решетке на любой угол в пределах критического угла каналирования. Поскольку угол рассеяния меняется, то вместе с ним меняется и анализирующая способность, так как она является функцией квадрата переданного импульса t . Вид функции $A(t)$ зависит от модели взаимодействия. При очень малых $|t|$ амплитуды упругого рассеяния могут быть аппроксимированы как $|t|^\alpha f(s)$ [2], где α зависит от спиральностей частиц в начальном и конечном состоянии, а $f(s)$ является функцией полной энергии.

В этом примере мы примем линейную зависимость анализирующей способности от угла рассеяния

$$A = A_0 \times \sqrt{\frac{t}{t_0}},$$

где $t_0 = 10^{-3} \text{ (ГэВ/с)}^2$; $|t| < |t_0|$ – квадрат переданного импульса в каждом акте рассеяния и A_0 – начальное значение анализирующей способности при $t = t_0$. Для справки, при рассеянии на 20 мкрад, как в предыдущем примере, $|t| = 2 \cdot 10^{-6} \text{ (ГэВ/с)}^2$.

Поскольку A пропорционально углу рассеяния, то конечная поляризация на выходе определяется только углом изгиба и не зависит от траектории частицы внутри кристалла.

На рис. 3 показана зависимость величины поляризации для диапазона углов изгиба кристалла. Если начальное значение анализирующей способности A_0 достаточно велико (например, $5 \cdot 10^{-3}$), тогда пучок, отклонённый кристаллом на 100 мрад, может иметь поляризацию, достигающую до 80%. Здесь уместно напомнить, что эффективность вывода пучка с помощью изогнутого кристалла сильно зависит от угла изгиба кристалла [3]. Например при изгибе на 20 мрад эффективность вывода протонного пучка с импульсом 70 ГэВ/с может превосходить 0,8, в то время как при изгибе 86 мрад её величина составит около 10^{-4} .

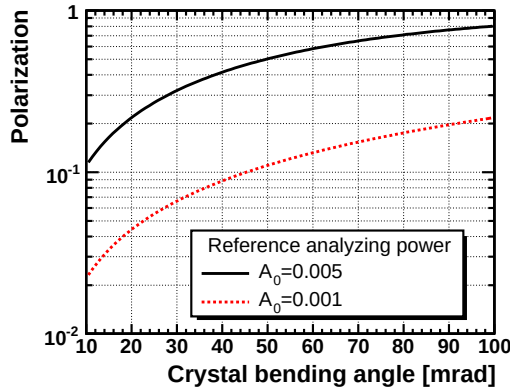


Рис. 3. Зависимость поляризации выведенного пучка от угла изгиба кристалла.

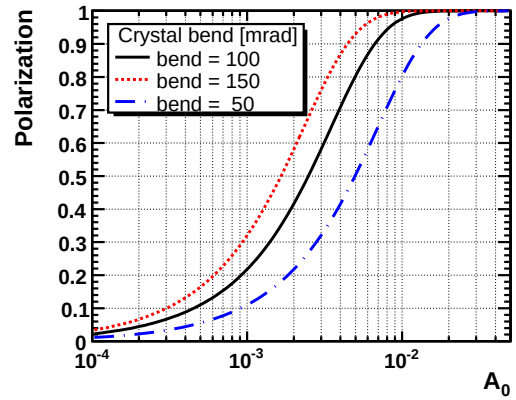


Рис. 4. Поляризация пучка, выведенного изогнутым кристаллом, в зависимости от величины начальной анализирующей способности.

На рис. 4 показана зависимость поляризации пучка от величины начальной анализирующей способности A_0 для нескольких углов изгиба кристалла. Из этого рисунка видно, что поляризация выведенного пучка может служить инструментом для измерения очень малых значений анализирующей способности $A_0 < 0,001$ в области предельно малых переданных импульсов $|t| < 10^{-5} \text{ (ГэВ/с)}^2$. Заметим, что такие величины анализирующей способности и такие области переданных импульсов с трудом поддаются измерениям другими методами, а то и вовсе недостижимы [4].

Общие замечания

Очевидно, что в общем случае, когда зависимость анализирующей способности от угла рассеяния не является линейной, вычисление поляризации пучка будет зависеть от предположений о траектории частицы в кристалле.

Очевидно также, что независимо от предположений будет очень полезно произвести измерения, поскольку никаких экспериментальных данных в настоящее время не существует. Особенно интригующими могли бы стать измерения с пучками тяжелых ионов и антипротонов.

Заключение

Поляризация пучка существенно возрастает по сравнению с однократным рассеянием, когда частицы отклоняются изогнутым кристаллом. Такое усиление позволяет измерять анализирующую способность на уровне 10^{-4} при $|t| < 10^{-5} \text{ (ГэВ/с)}^2$ при условии линейной зависимости анализирующей способности от угла рассеяния.

При этих предположениях, и если к тому же начальное значение анализирующей способности окажется достаточно большим ($>0,5\%$), можно получить поляризацию пучка на выходе из кристалла более 50%, что становится приемлемым для практических нужд.

Благодарности

Я с удовольствием благодарю моих коллег Семенова В.А., Харлова Ю.В. и Чуйко Б.В. за плодотворные дискуссии.

Эта работа была поддержана грантами РФФИ 04-02-16381-а и 06-02-28309-з.

Список литературы

1. A.G. Afonin et al. hep-ex/0111028. v1, 8 Nov., 2001.
2. С.М. Трошин и Н.Е. Тюрин. *Спин в физике высоких энергий*. – Москва, «Наука», 1991, с. 21.
3. A.G. Afonin et al. Physics/0412154. Invited talk at the International workshop “Relativistic Channeling and Related Coherent Phenomena”. Frascati (Rome) 23-26 March, 2004, and also A.G. Afonin (private communication).
4. Сотрудничество по эксперименту pp2pp в БНЛ (США) предложило использовать структуру ускорителя в качестве спектрометра для регистрации частицы, рассеянной вперед, чтобы достичь значений $|t| = 5 \times 10^{-4} \text{ (ГэВ/с)}^2$.
S. Bultmann, I.H. Chiang, R.E. Chrien et al. “*Spin Dependence in Proton-Proton Elastic Scattering at RHIC*”. Proposal of pp2pp experiment, BNL NY, Upton, August 2003 (не опубликовано).

Рукопись поступила 13 февраля 2007 г.

М.Н. Уханов.
О поляризации пучка, выведенного изогнутым кристаллом.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы *Word*.

Редактор Н.В. Ежела.

Подписано к печати	19.02.2007.	Формат $60 \times 84/8$.	Офсетная печать.
Печ.л. 0,62.	Уч.– изд.л. 0,5.	Тираж 80.	Заказ 30.
ЛР №020498	от 17.04.97.		Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,
142281, Протвино Московской обл.

