

УДК 537.533.79

Бородина А.А,

Зверева Т.С.

студенты

факультет «Физико-математический»

Воронежский государственный педагогический университет,

ОТКЛОНЕНИЕ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

КРИСТАЛЛАМИ

Аннотация: Управление потоками релятивистских частиц с применением кристаллов является актуальной темой в развитии мощной импульсной техники, где требования к пучкам заряженных частиц прогрессивно меняются в соответствии с генерирующими и ускоряющими устройствами.

Ключевые слова: кристаллы, релятивистские частицы, пучки заряженных частиц, отклонение заряженных частиц, электромагнитные поля.

DEFLECTION OF BEAMS OF CHARGED PARTICLES BY CRYSTALS

Borodina A.A.,

Zvereva T.S.

students

faculty of Physics and mathematics»

Voronezh state pedagogical University, Voronezh

Annotation: Controlling the fluxes of relativistic particles using crystals is an urgent topic in the development of powerful pulsed technology, where the requirements for charged particle beams are progressively changing in accordance with generating and accelerating devices

Key words: crystals, relativistic particles, charged particle beams, deflection of charged particles, electromagnetic fields.

Современные научные и технические открытия не происходят без участия электровакуумных приборов: электронно-лучевые приборы, ускорители заряженных частиц, электронный микроскоп.

В процессе изучения элементарных частиц, в ядерной физике, в физике твёрдого тела находят широкое применение пучки частиц больших энергий. С каждым годом всё большее использование они находят и при исследованиях в других областях: в химии, геофизике, биофизике. Одним из основных инструментов физики заряженных частиц является Ускорители заряженных частиц. Они являются причиной происхождения пучков первичных ускоренных заряженных частиц, и пучков вторичных частиц (мезонов, нейтронов, фотонов), которые получают при взаимодействии вещества с первично ускоренными частицами. Ускорение частиц происходит за счёт электрического поля, которое имеет способность изменять энергию частицы, обладающей электрическим зарядом.

Уже на протяжении нескольких лет малые ускорители находят своё применение в медицине (радиационная терапия), а также в промышленности (ионной имплантация в полупроводниках). Крупные ускорители применяются главным образом в научных целях – для исследования субъядерных процессов и свойств элементарных частиц.

Технологии по созданию наноматериалов в данное время являются перспективными, но для этого необходимо исследования свойств материалов в наноразмерных масштабах. Возникает необходимость создания инструментов, обеспечивающих анализ структуры и элементного состава наноматериалов, технологий их использования.

Среди широкого круга физических принципов, на основе которых должны разрабатываться новые инструменты, особое внимание уделяется сфокусированным пучкам заряженных частиц низких и средних энергий.

Как правило, для отклонения релятивистских частиц используются электромагниты. Разберём движение частицы в постоянном и однородном магнитном поле с индукцией B . Из-за того, что сила Лоренца направлена перпендикулярно вектору скорости, то она не способна изменить величины скорости и импульса частицы, а приводит лишь к изменению их направления, принуждая частицу двигаться по винтовой линии с радиусом:

$$R_m = \frac{cp_n}{eB}, \quad (1)$$

где p_n – проекция импульса частицы на плоскость, перпендикулярную B .

Отклонения частицы определяется соотношением:

$$\sin\theta_m = \frac{l_m}{R_m} = \frac{eBl_m}{ep_0}. \quad (2)$$

Если индукцию измерять в теслах, энергию – в гигаэлектронвольтах, а длину – в метрах, то это соотношение можно представить в виде:

$$\sin\theta_m = \frac{0,3ZBl_m}{p_0c}, \quad (3)$$

где Z – отношение заряда частицы к заряду электрона.

Значительно большие поля (до ~10 Тл) и меньшее энергопотребление достигаются в сверхпроводящих магнитах. Однако необходимость охлаждения их обмоток до низких температур создает серьезные проблемы при их производстве и эксплуатации. Тем не менее сверхпроводящие магниты начинают находить широкое применение при создании ускорителей на сверхвысокие энергии, стоимость эксплуатации которых определяется в основном потребляемой электроэнергией [3].

При помощи плоского конденсатора можно создать постоянное и однородное электрическое поле. Найдём отклонение частицы, проходящей через данное поле.

Размеры l_c обкладок много больше расстояния d_c между ними, из этого следует, что однородностью поля на краях конденсатора можно пренебречь. Если U_c – разность потенциалов между обкладками, то потенциал поля в любой точке на расстоянии y от нижней обкладки, есть:

$$U = \frac{yU_c}{d_c}. \quad (4)$$

В однородном и постоянном электрическом поле релятивистская частица движется не по параболе, как она это делает классической механике, а по более крутой кривой, которую называют цепной линией. Это связано с уменьшением проекции скорости частицы на ось x при ее движении через конденсатор.

Создание столь большого конденсатора, выдерживающего напряжение 1 млн вольт, представляет достаточно сложную техническую задачу. Да и большая длина конденсатора по сравнению с длиной электромагнитов, обеспечивающих то же отклонение, сильно ограничивает область возможных применений этого метода для транспортировки пучков релятивистских частиц, хотя он и отличается малым энергопотреблением [1].

В период развития теории о прохождении частиц через кристаллы было обнаружено, что если угол θ_0 между импульсом частицы и кристаллической плоскостью мал, то частица взаимодействует сразу со многими атомами кристаллической решетки и потенциал поля отдельных атомов может быть заменен усредненным непрерывным потенциалом U , зависящим только от расстояния от кристаллических плоскостей. Однако, движение частицы в аморфном веществе и в кристалле будут отличаться

Совершенство кристаллической структуры является основным фактором в использовании кристаллов в области высоких энергий. Таким кристаллом можно считать кристалл кремния. Проведённые эксперименты и исследования по измерению длин деканалирования показывают его высокое качество. В одном из испытаний был использован кристалл кремния длиной 150 мм и изогнут на угол 30 мрад. О совершенстве данного кристалла говорило соответствие доли отклонённых частиц расчётным величинам.

Хорошее отклоняющее свойство проявляют даже кремневые пластины массового производства, изготавливаемые для микросхем.

Существует несколько механизмов отклонения частиц большой энергии изогнутым кристаллом, связанных с финитным (каналирование) и инфинитным (надбарьерное) их движением по отношению к изогнутым цепочкам атомов или кристаллическим плоскостям атомов. Ключевым методом в процессе исследования описанных механизмов является метод компьютерного моделирования движения частиц в изогнутом кристалле.

«На основе этого метода удастся рассмотреть с единой точки зрения не только механизмы поворотов пучков изогнутыми кристаллами, связанные с плоскостным каналированием частиц, объемным отражением и многократным их рассеянием на цепочках атомов кристалла, но и исследовать промежуточные случаи» [2].

Использованные источники:

1. Анчугов О.В. Эксперименты по физике пучков заряженных частиц на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М / О.В. Анчугов, В.Е. Блинов, В.А. Богомягков // Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики. – 2009.– №4. – т. 136. – С.690 – 702.

2. Бирюков В.М. Управление пучками заряженных частиц высоких энергий при помощи изогнутых монокристаллов / В.М. Котов,

Ю.А. Чесноков // Успехи физических наук. – 1994. – №10. – С. 1017 – 1040.

3. Денисов С.П. Отклонение заряженных частиц кристаллами / С.П. Денисов // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №2.– С. 84 – 90.