

ной фокусировки в пространственно-однородной структуре. Направление сил, действующих на движущуюся частицу, в каждой из координатных плоскостей меняется на длине пути, соответствующей половине периода ВЧ-поля. Длина периода фокусировки составляет

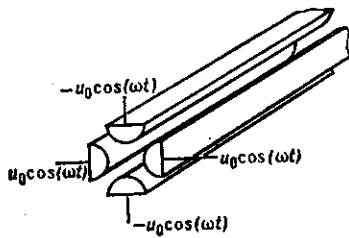


Рис. 2. Пространственно-однородный квадрупольный фокусирующий канал.

$\beta\lambda$, где $\beta = v/c$, v — скорость частицы, λ — длина волны электр. поля в свободном пространстве. Макс. градиент фокусирующего поля в первом приближении равен $2u_0/a^2$, где u_0 — амплитуда ВЧ-напряжения, a — мин. расстояние от оси до электрода.

В канале с П.-о. к. ф. может быть создана продольная ускоряющая компонента электр. поля за счёт периодич. изменения потенциала вдоль продольной оси симметрии с периодом $\beta\lambda$, что позволяет использовать этот тип фокусировки в линейном ускорителе. Необходимое изменение потенциала возникает при периодич. модуляции расстояний с периодом $\beta\lambda$ между противоположными электродами, если фазы модуляции для электродов с противоположными полярностями сдвинуты на 180° . Другими словами, когда расстояние между электродами, лежащими в горизонтальной плоскости, возрастает, то расстояние между электродами, лежащими в вертикальной плоскости, уменьшается. Амплитуда разности потенциалов на периоде ускорения $\beta\lambda/2$ в первом приближении составляет $u = 2Au_0$, где

$$A = (m^2 - 1) / [m^2 I_0(ka) + I_0(mka)],$$

m — отношение макс. расстояния от оси симметрии до ближайшей точки электрода к минимальному, $k = 2\pi/\beta\lambda$, I_0 — модифициров. ф-ция Бесселя нулевого порядка. При модуляции формы электродов и заданном их мин. расстоянии от оси ускорителя сила фокусировки снижается примерно на 40—50%; появляется, как и при пространственно-периодич. фокусировке (см. Квадрупольная фокусировка), высокочастотный дефокусирующий эффект.

В линейных ускорителях с П.-о. к. ф. сила фокусировки не зависит от энергии частиц и от их фазы относительно ВЧ-поля. Все частицы фокусируются примерно одинаково. Это позволяет спец. образом использовать эффект автофокусировки. В непрерывном пучке на входе ускорителя сгустки частиц следуют вплотную друг за другом, но по мере роста скорости частиц они раздвигаются, сохраняя приблизительно неизменные геометрич. размеры и, следовательно, пост. плотность пространственного заряда. Захват частиц в режим ускорения может достигать 95—97%, что вдвое выше лучших значений этого параметра в др. известных структурах. Линейные ускорители с П.-о. к. ф. могут работать при весьма низких нач. скоростях частиц. Но при малых нач. скоростях сохраняется высокое предельное значение тока пучка.

Эффект П.-о. к. ф. используется в инжекторах протонных и тяжелоядерных синхротронов. Использование П.-о. к. ф. в линейных ускорителях дало возможность получить сильноточные пучки ионов, применяемые в ряде новых технологий: в создании высокопоточных нейтронных генераторов для радиац. материаловедения, связанного с проблемами термоядерных реакторов; формировании сильноточных пучков протонов для электроядерного метода «наработки» ядерного го-

рючего, для уничтожения радиоактивных отходов АЭС; создании линейных ускорителей сверхтяжёлых мало-зарядных ионов для ионного термоядерного синтеза, создании малогабаритных генераторов мощных атомных пучков. Осн. трудности создания линейного ускорителя были связаны с низким коэф. захвата частиц в режим ускорения и с высокой энергией инжекции, при к-рой электростатич. предускорители теряли электр. прочность.

В линейных ускорителях протонов и ионов H^- используются частоты в диапазоне 80—450 МГц. Для создания ВЧ-напряжения на четырёхпроводной линии в этом диапазоне применяются четырёхкамерные объёмные резонаторы разл. конструкции с продольной магн. волной.

В зависимости от типа иона и требуемых параметров пучка в линейных ускорителях тяжёлых ионов используются частоты в диапазоне 6—30 МГц. Разработаны резонансные структуры в виде четвертьволновых отрезков коаксиальной линии с разрезным внутр. стеблем; разработаны также резонансные структуры, содержащие сосредоточенные индуктивности.

В модулиров. четырёхпроводных линиях применяются преим. цилиндрич. электроды с периодическими меняющимся диаметром или плоские электроды перем. длины, каждый из к-рых ограничен в сечении полукругом с постоянным по всей длине радиусом.

Область устойчивости поперечных колебаний частиц по координатам и импульсам на входе канала с П.-о. к. ф. изменяется с частотой перем. фокусирующего поля. Реализованы разл. методы согласования статич. пучка на входе канала с перем. областью устойчивости.

Лит.: Капчицкий И. М., Теория линейных резонансных ускорителей, М., 1982, с. 130; Klein H., Development of the different RFQ accelerating structures and operation experience, «IEEE Trans. Nucl. Sci.», 1983, v. NS-30, № 4, p. 3313.

И. М. Капчицкий.

ПРОСТРАНСТВЕННОПОДОБНЫЙ ВЕКТОР в частной (специальной) и общей теории относительности — четырёхмерный вектор, сумма квадратов пространственных компонент к-рого больше квадрата его временной компоненты. П. в., имеющий начало в к.-н. точке четырёхмерного пространства-времени, лежит вне внутр. полостей светового конуса с вершиной в данной точке. Всегда существует система отсчёта, в к-рой временная компонента П. в. обращается в нуль, и у него остаются только пространственные компоненты. В Минковского пространстве-времени с метрич. тензором $(+1, -1, -1, -1)$ квадрат длины П. в. A отрицателен:

$$(A)^2 = A^4 A_\mu = (A^0)^2 - A^2 < 0 \quad (\mu = 0, 1, 2, 3).$$

Здесь A^0 — временная, $A^i (i = 1, 2, 3)$ — пространственные компоненты 4-вектора $[A = (A^1, A^2, A^3)]$. См. Относительности теория, Тяготение. И. Д. Новиков.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ГРУППЫ СИММЕТРИИ — группы симметрии, описывающие атомные структуры кристаллов. Представляют совокупность операций симметрии, включающую операции симметрии точечных групп симметрии и трансляции (параллельный перенос). Существует 230 П. г. с. Выведены в 1890 Е. С. Фёдоровым и независимо А. Шёнфлисом (A. Schoenflies), названы фёдоровскими группами. См. также Симметрия кристаллов.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СИММЕТРИИ — симметрии четырёхмерного пространства-времени, в к-ром осуществляютс физ. явления. С однородностью и изотропностью пространства-времени связана инвариантность фундам. физ. законов относительно трансляций и вращений четырёхмерных систем координат, в к-рых эти законы формулируются. Группа таких преобразований наз. Пуанкаре группой. Подгруппа вращений в пространстве-времени наз. группой Лоренца преобразований. Следствием указанных симметрий являются законы сохранения энергии-импульса и угл. момента. Существует также симметрия относительно отраже-