

Октуольные  $K. v. я.$  наблюдаются у всех ядер, в т. ч. и магических. Они в основном представлены первым колебат. состоянием  $3^-$ . О низкочастотных  $K. v. я.$  более высокой мультипольности данных мало. Некоторые типы гигантских резонансов также являются колебаниями формы ядра разл. мультипольности, тогда как другие не имеют классич. аналога.

Теоретич. описание  $K. v. я.$  основано на двух разл. подходах — феноменологическом и микроскопическом. В феноменологич. моделях вводятся коллективные степени свободы ядра. Соответствующий коллективный гамилтониан содержит феноменологич. параметры (индивидуальные для каждого ядра), к-рые, как правило, подбираются из условия наилучшего согласия с экспериментом. В основе микроскопич. подхода лежит представление о ядре, как системе нуклонов, движущихся в ср. поле и взаимодействующих друг с другом (остаточное взаимодействие). Последнее, как правило, вводится феноменологически. Напр., короткодействующее спаривательное взаимодействие и длиннодействующее квадрупольное, ответственное за квадрупольные степени свободы ядра. Параметры остаточного взаимодействия подбираются сразу для большой группы ядер.

Лит.: Бор О., Моттельсон В., Структура атомного ядра, пер. с англ., т. 2, М., 1977. И. М. Павловичев.

**КОЛЛЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УСКОРЕНИЯ** — методы ускорения заряж. частиц, а также их удержания в процессе ускорения, в к-рых используются собственные эл.-магн. поля, возникающие в результате взаимодействия одной группы зарядов с другой либо в результате взаимодействия группы зарядов с эл.-магн. волной или плазмой (в отличие от обычных методов ускорения, в к-рых создаваемые внеш. поля, электрические или магнитные, имеют конфигурацию, обеспечивающую как ускорение, так и удержание в процессе ускорения заряж. частиц). В зависимости от характера взаимодействия различаются способы и модификации коллективного ускорения частиц.

**История развития К. м. у.** В 1956 В. И. Векслер, Я. Б. Файнберг и Г. И. Будкер предложили использовать собственные поля заряж. частиц для целей ускорения и удержания частиц — когерентные методы, плазменные волноводы и релятивистски стабилизированный пучок [1].

Когерентные методы рассматривали взаимодействие компактного плотного сгустка частиц с эл.-магн. волной, пучком электронов или др. сгустком частиц. При достаточной малости размеров сгустка в процессе ускорения, обеспечивающей когерентное (синхронное) воздействие на всю ускоряемую группу частиц, сила, действующая на сгусток, пропорциональна квадрату числа зарядов в сгустке. Величина напряжённости ускоряющих частиц полей в этом случае может во много раз превышать достижимые техникой и составляет  $10^7 - 10^8$  В/см.

Плазменный волновод предназначен для формирования в плазме такой эл.-магн. волны, к-рая может обеспечить одновременно условия ускорения частиц и их поперечного удержания. Плазма как среда для волновода выбиралась из условия создания высокой напряжённости ускоряющего поля.

Релятивистская стабилизация основана на явлении самофокусировки для кольцевого пучка релятивистских частиц. Условие самофокусировки впервые было сформулировано У. Беннеттом в 1934 [2]. Кроме сил кулоновского расталкивания, в релятивистском пучке существует магн. сила взаимодействия параллельно движущихся частиц с зарядом одного знака, существенно ослабляющая кулоновское расталкивание. Ослабление происходит в  $\gamma^2$  раз ( $\gamma$  — релятивистский фактор, равный отношению энергии частиц к их энергии покоя). За счёт добавления в пучок покоящихся частиц с противоположным знаком заряда силы кулоновского расталки-

вания могут быть не только скомпенсированы, но и поменять знак, т. е. расталкивание превратится в стягивание пучка. Это, очевидно, имеет место при  $N_2 > N_1/\gamma^2 Z$ , где  $N_1$  и  $N_2$  — плотности соответственно движущихся частиц и покоящихся частиц «примеси». Если при этом  $N_2 < N_1$ , то добавленные покоящиеся частицы в свою очередь удерживаются суммарным кулоновским полем (магн. поле на покоящиеся частицы не действует). Т. о., при условии

$$N_1 > N_2 > N_1/\gamma^2 Z \quad (1)$$

имеет место самофокусировка релятивистского пучка с примесью зарядов противоположного знака собственными электрич. и магн. полями. Если это условие обеспечить, напр., в бетатроне, то эффективность работы ускорителя возрастёт во много раз, т. к. условие поперечного удержания пучка оказывается выполненным за счёт самофокусировки. Стягивание пучка за счёт сил самофокусировки прекращается только при сечениях кольца  $\sim 10^{-4}$  см. Полученное таким способом состояние кольцевого пучка является стационарным.

Конкретная реализация этих общих предложений пошла по ряду направлений. Рассмотрим основные из них.

**Ускорение в поле пространственного заряда.** Этот способ ускорения был открыт экспериментально в 1968 С. Грейбиллом и Дж. Аглумом [3]. Ионы уско-

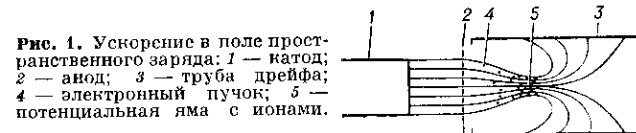


Рис. 1. Ускорение в поле пространственного заряда: 1 — катод; 2 — анод; 3 — труба дрейфа; 4 — электронный пучок; 5 — потенциальная яма с ионами.

ряются потенц. ямой пространств. заряда, создаваемой мощным электронным пучком. Электронный пучок, ускоряемый от анода к катоду, не будет распространяться в область за анодом, если его ток больше предельного; накопление пространств. заряда электронов за анодом, запирающее пучок (виртуальный катод), создаёт потенц. яму для ионов (рис. 1). Глубина ямы достигает значений, больших 1 МВ. Ионы могут создаваться за счёт ионизации электронами атомов остаточного газа или вводиться специально сформированными струями газа. При образовании ионов происходит частичная нейтрализация электронного заряда, запирающего действие накопленного электронного заряда ослабляется и электронный пучок распространяется дальше за анод. Вместе с перемещением ямы пространств. заряда происходит перемещение ионов, захваченных внутрь ямы. Величина энергии ионов ускоренных таким методом ионов может превышать энергию электронов пучка в десятки раз. Для протонов макс. полученная энергия составляет 60 МэВ, что существенно превышает глубину потенц. ямы, в к-рой ускоряются ионы. Чтобы ионы удерживались потенц. ямой электронов, движение ямы должно строго регламентироваться. Существует и изучается неск. схем, в к-рых движение ямы заранее программируется. Особенно интересным представляется ускоритель М. Фридмана [4]. В его схеме полый электронный пучок проходит через прерыватель, где создаётся последовательность полых «электронных цилиндров». Затем пучок проходит в ведущем магн. поле, образованном рядом коротких соленоидов. Когда цепочка электронных цилиндров проходит в таком «гофрированном» магн. поле, радиусы цилиндров в соответствии с полем попеременно уменьшаются и увеличиваются. При изменении радиуса заряж. цилиндров возникает перем. осевое электрич. поле, к-рое можно представить как сумму двух эл.-магн. волн: медленной прямой волны и обратной. Фазовую скорость прямой — ускоряющей — волны можно изменять за счёт изме-