

ляет получать, напр., такие важные характеристики, как границы областей устойчивых и неустойчивых движений, а в нек-рых случаях установить «механизмы» дестабилизации и предложить способы предотвращения развития неустойчивостей.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хакин С. Э., Теория колебаний, 13 изд., М., 1981; Пейн Г., Физика колебаний и волн, пер. с англ., М., 1979; Рабинович М. И., Трубецков Д. И., Введение в теорию колебаний и волн, М., 1984.

ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ — ускорители заряженных частиц, в к-рых траектории частиц близки к прямым линиям. Л. у. образуют 4 обособленные группы: высоковольтные ускорители, линейные индукц. ускорители, линейные резонансные ускорители, коллективные ускорители (см. Коллективные методы ускорения). Термин «Л. у.» чаще применяется ко 2-й и 3-й группам. Широкое развитие Л. у. связано с рядом их преимуществ перед циклич. ускорителями: возможностями получения пучков ускоренных частиц повышенной интенсивности и высокой плотности, простотой вывода пучка, практич. отсутствием тормозного излучения частиц.

Несмотря на различие в схемах построения во всех Л. у. в связи с однократным прохождением заряж. частиц через ускоряющие зазоры применяют сильные ускоряющие поля. Это приводит к необходимости использовать мощные генераторы для создания ускоряющих полей, тем самым ограничивая применение Л. у. для ускорения тяжёлых частиц (протонов и ионов) в области высоких энергий (>1–2 ГэВ), где более выгодно применять циклические ускорители. В последнем случае Л. у. тяжёлых частиц используются как инжекторы-предускорители. Это ограничение не распространяется на электронные Л. у., которые находят применение вплоть до самых высоких энергий.

Л. у. используются как для фундам. физ. исследований, так и в прикладных целях (в медицине, в дефектоскопии, материаловедении, для ионной имплантации, при радиа.-хим. обработке материалов, стерилизации продуктов и т. д.). Особенно широко распространены Л. у. электронов.

Линейный индукционный ускоритель — Л. у., в к-ром для ускорения используется эдс индукции, возникающей при изменении во времени магн. потока, охватывающего прямолинейные траектории частиц. Ускоряющее поле в индукц. Л. у. за время пролёта частиц существенно не меняется.

Идея индукц. Л. у. предложена А. Бауэрсом (A. Womersley) в 1923 и впервые реализована в нач. 60-х гг. Н. Кристофилосом (N. Christophilos) в США. Первый индукц. Л. у. в СССР был построен (в те же годы) под руководством В. И. Векслера. Принцип действия ускорителя легко понять на примере упрощённой схемы, показанной на рис. 1. Вдоль оси ускорителя установлены ферромагн. кольца (индукторы) 1, охватываемые токовыми обмотками 2. На индукторах размещены также вторичные витки 3 с разрывами — ускоряющими зазорами. При подаче на обмотку 2 импульса напряжения $u_{ген}$ в индукторах происходит изменение магн. потока, к-рое по закону эл.-магн. индукции создаёт в ускоряющих зазорах электрич. напряжение

$$u_y = -S \frac{\partial B}{\partial t}, \quad (1)$$

где S — площадь сечения сердечника, $\partial B/\partial t$ — скорость изменения магн. индукции. Для обеспечения моноэнергетичности ускоренных частиц в пучке в течение времени ускорения τ необходимо поддерживать линейное во времени изменение индукции. В этом случае

$$u_y = -S \Delta B/\tau = \text{const},$$

где ΔB — суммарное изменение потока индукции в сердечнике. Частица с зарядом q (для электронов и

протонов $|q|=e$, где e — элементарный электрич. заряд), прошедшая N ускоряющих зазоров, получит приращение энергии (в эВ)

$$\Delta w = qNS \Delta B/\tau. \quad (2)$$

Величина $NS \Delta B/\tau$ представляет собой скорость изменения полного магн. потока, сцепленного с траекторией заряж. частицы при прохождении ею всей цепочки индукторов. Она численно равна сумме напряжений ускоряющих зазоров. Если длину ускорителя обозначить через L_y , то среднее по длине ускоряющее поле, характеризующее темп ускорения частиц, будет равно

$$E_0 = NS \Delta B/\tau L_y. \quad (3)$$

Для создания сильных полей (порядка 0,2–1 МВ/м) при сохранении приемлемых габаритов индукторов

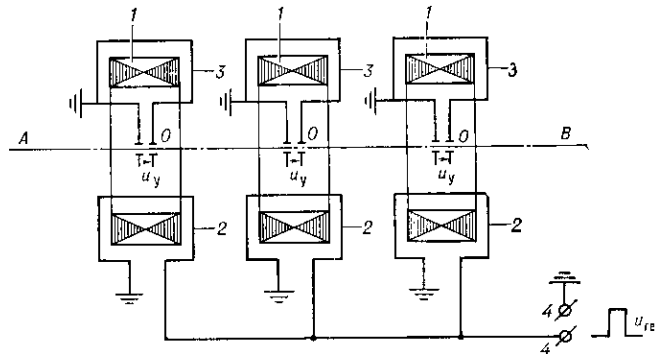


Рис. 1. Упрощённая схема линейного индукционного ускорителя (разрез): 1 — ферромагнитные индукторы; 2 — обмотка возбуждения магнитного потока; 3 — вторичные витки с ускоряющими зазорами; u_y — ускоряющее напряжение (эдс индукции); АВ — траектория ускоряемой частицы; 4—4 — клеммы генератора импульсного напряжения; О — апертурные отверстия для прохода пучка.

длительность цикла ускорения не должна превышать неск. мкс. При длительности импульса меньше десятков нс потери энергии на перемагничивание достигают значений, при к-рых использование сердечника становится малоэффективным. В этом случае применяют безжелезные индукц. Л. у. В них, как правило, ускоряются пучки с очень большими токами (до неск. МА).

Совр. индукц. Л. у. состоят из ряда секций, каждая из к-рых содержит неск. индукторов, параллельно соединённых с импульсным генератором. Ускорит. тракт объединён ускорит. трубкой, внутри к-рой поддерживается высокий вакуум. Секции вместе с импульсным генератором составляют модуль, а сам ускоритель представляет собой набор модулей, кол-во к-рых определяется заданной энергией частиц. В ускорителях, индукц. секция к-рых находится в воздухе, напряжённость E_0 лежит в пределах от 0,2 МВ/м до 0,75 МВ/м. Дальнейшее повышение E_0 ограничено прочностью электрич. прочностью ускорит. трубки. В случае размещения индукц. секции в специальной изолирующей среде (напр., в фреоне под давлением) значения E_0 достигают 1 МВ/м. При совр. состоянии техники индукц. Л. у. могут иметь большие средние и импульсные мощности в пучке (10–100 МВт), хотя ср. мощность в пучке действующих ускорителей сравнительно невелика (5–200 кВт). Наиб. крупным ускорителем этого типа является сооружаемый в США ускоритель электронов «АТА», в к-ром энергия электронов равна 50 МэВ, ток пучка 10 кА, длительность импульса $\tau \sim 70$ нс. Пачки из 10 импульсов следуют с частотой 5 Гц, импульсы внутри пачки — с частотой 1000 Гц. При большой мощности пучка важной характеристикой индукц. Л. у. является кид индукц. системы, к-рый повышается с увеличением интенсивности пучка.

Для фокусировки сильноточных электронных пучков используются продольные магн. поля, создаваемые соленоидами. В нек-рых случаях при ускорении