

Тип бета-спектрометра	$R_{\text{макс}}$	$\Omega_{\text{макс}}$ при предельном R , %
С аксиальным неоднородным полем	$10^{-4} - 10^{-3}$	0,1—0,5
Призмные	»	0,1
С длиной линзой	$5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$	1—10
С короткой линзой	$5 \cdot 10^{-4}$	

Лит.: Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия, пер. с англ., в. 1, М., 1969; Абрамов А. И., Казанский Ю. А., Матусевич В. С., Основы экспериментальных методов ядерной физики, 2 изд., М., 1977; Призмные бета-спектрометры и их применение, Вильнюс, 1971; Mladjnovič M., Development of magnetic β -ray spectroscopy, В., 1976; Defectors in nuclear science, «Nucl. Instr. and Meth.», 1979, v. 162, № 1—3. Б. Г. Ерозолимский.

БЕТАТРОН — циклический индукционный ускоритель электронов, в котором энергия частиц увеличивается за счёт вихревого электрич. поля, создаваемого изменяющимся магн. потоком, пронизывающим орбиту частиц.

В 1922 Дж. Слейпан (J. Slepian) запатентовал ускоритель, использующий вихревое магн. поле. В 1928 Р. Видероз (R. Wideröe) сформулировал условия существования равновесной орбиты, т. е. орбиты пост. радиуса (т. н. условие Видероз, см. ниже). Однако первый действующий Б. был создан лишь в 1940 Д. Керстом (D. Kerst) на основе разработанной им (совместно с Р. Сербером (R. Serber)) теории движения электронов в Б. и тщательной отработки конструкции ускорителя.

Переменный центр. магн. поток создаёт в Б. вихревую эдс индукции, ускоряющую электроны. Удержание ускоряемых электронов на равновесной круговой орбите осуществляется ведущим (управляющим) магн. полем, надлежющим образом меняющимся во времени. Радиус r мгновенной орбиты, по к-рой обращается в момент t электрон с импульсом p в азимутально-симметричном магн. поле, равен:

$$r = \frac{pc}{eB}, \quad (1)$$

где $B(r, t)$ — магн. индукция поля, e — величина заряда электрона. Для равновесной орбиты ($r=R=\text{const}$) нужно, чтобы импульс p менялся во времени пропорционально удерживающему полю B : $\dot{p} = (eR/c) \dot{B}$. Т. к. скорость изменения импульса $\dot{p} = eE$ определяется напряжённостью ускоряющего электрич. поля E на орбите, равного по закону эл.-магн. индукции $E = \Phi / 2\pi R c = (R/2c) \dot{\Phi}$ (Φ — поток магн. индукции через орбиту, $B_{\text{ср}} = \Phi / \pi r^2$ — ср. значение магн. поля внутри орбиты радиуса r), то для равновесной орбиты выполняется соотношение:

$$\dot{B}_{\text{ср}} = 2\dot{B}. \quad (2)$$

Его интегрирование даёт:

$$B_{\text{ср}}(t) = 2B(t) + \text{const}. \quad (3)$$

В частности, при синхронном изменении $B_{\text{ср}}(t)$ и $B(t)$, наиболее просто реализуемом практически, условие постоянства радиуса орбиты принимает вид:

$$B_{\text{ср}}(t) = 2B(t). \quad (4)$$

Это условие [или более точное условие (2)] наз. б е т а т р о н н ы м у с л о в и е м, условием Видероз или «условием 2 : 1».

Частица, инжектированная в ускоритель на равновесном радиусе с импульсом, определяемым соотношением (1) (т. н. равновесная частица), будет в процессе ускорения непрерывно обращаться по орбите пост. радиуса. Для частицы, инжектированной с др. нач. импульсом, мгновенная орбита будет иной, однако в процессе ускорения она станет медленно приближаться к равновесной. Можно показать, что её расстояние от равновесной будет уменьшаться обратно пропорционально B .

Для устойчивости равновесной орбиты необходимо, чтобы магн. поле B , удерживающее электроны на орбите, слегка спадало по радиусу (см. Фокусировка частиц в ускорителе): коэф. спадаания n магн. поля по радиусу, определяемый соотношением

$$n = -\frac{r}{B} \frac{\partial B}{\partial r}, \quad (5)$$

должен находиться в пределах:

$$0 < n < 1. \quad (6)$$

В действительности, чтобы избежать резонансной раскочки частиц гармониками магн. поля и др. резонансных явлений, он должен быть зафиксирован в ещё более жёстких пределах; обычно $n \sim 0,6 - 0,7$. Требуемый спад магн. поля и его однородность по азимуту достигаются с помощью спец. профилирования магн. полюсов, формирующих управляющее магн. поле, и дополнит. компенсирующих обмоток, регулирующих азимутальную вариацию поля.

В процессе ускорения амплитуды колебаний частиц около мгновенной орбиты (т. е. б е т а т р о н н ы х к о л е б а н и й) уменьшаются обратно пропорционально \sqrt{B} (т. е. для Б. обратно пропорционально \sqrt{p}), так что ускоряемый поток электронов сосредоточивается вблизи равновесной орбиты.

Типичная схема Б. показана на рис. 1. Электромагнит перем. тока создаёт перем. магн. поток между сердечниками 1 и управляющее магн. поле в зазоре между профилированными полюсными накопечниками 2.

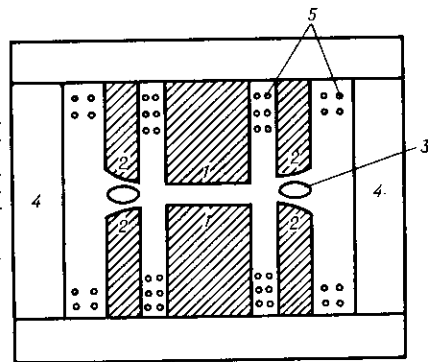


Рис. 1. Схематический разрез бета-трона: 1 — центральный сердечник; 2 — полюсные накопечники; 3 — сечение кольцевой вакуумной камеры; 4 — ярмо магнита; 5 — обмотки электромагнита.

Сердечник электромагнита выполнен из тонкого листового («трансформаторного») железа для уменьшения в нём вихревых токов. Инжектором служит электронная пушка, располагаемая вблизи вакуумной камеры 3 и периодически выпускающая электроны примерно по касательной к равновесной орбите в тот момент, когда значение управляющего магн. поля соответствует импульсу инжектируемых электронов.

Магн. поле меняется периодически (рис. 2, а), ускорение производится на участке (t_n, t_k) роста управляющего магн. поля. В конце цикла ускорения с помощью спец. «сдвигающей» обмотки паруют соотношение (2), обеспечивающее постоянство радиуса орбиты. Пучок отклоняется от равновесной орбиты и может быть выведен из ускорит. камеры (см. Выход пучка) или направлен на мишень, расположенную внутри камеры вдали от равновесной орбиты.

В большинстве Б. управляющее поле B и индуцирующийся поток меняются синхронно (рис. 2, а). При этом магн. поле на орбите не может превышать половины макс. поля $B_{\text{макс}}$, определяемого насыщением железа. Чтобы избежать этого ограничения, в некоторых установках применено т. н. п о д м а г н и ч и в а н и е: в соответствии с соотношением (3) в управляющее поле с помощью дополнит. обмотки вводится постоянная составляющая B_0 (рис. 2, б), что позволяет почти удвоить его макс. значение.