

## Электронный синхротрон на 300 Мэв Томского политехнического института

В. П. АНОХИН, А. Г. ВЛАСОВ, А. А. ВОРОБЬЕВ, В. Н. ЕПОНЕШНИКОВ, И. А. ГАБРУСЕНКО,  
Б. Н. КАЛИНИН, Л. Г. КОСИЦЫН, В. А. КОЧЕГУРОВ, В. Н. КУЗЬМИН, Г. А. СИПАЙЛОВ,  
Б. А. СОЛНЦЕВ, В. И. ТОЛМАЧЕВ, И. П. ЧУЧАЛИН

УДК 621.384.612

Электронный синхротрон на 300 Мэв, запущенный в марте 1966 г. в Научно-исследовательском институте ядерной физики при Томском политехническом институте, создавался как модель электронного синхротрона на 1500 Мэв. В дальнейшем оказалось целесообразным использовать его для проведения ядерных исследований.

Планируемые на ближайшее время работы в этой области разбиваются на две основные группы: исследование сечений ядерного фотоэффекта и исследование процессов фоторождения  $\pi$ -мезонов на легких ядрах.

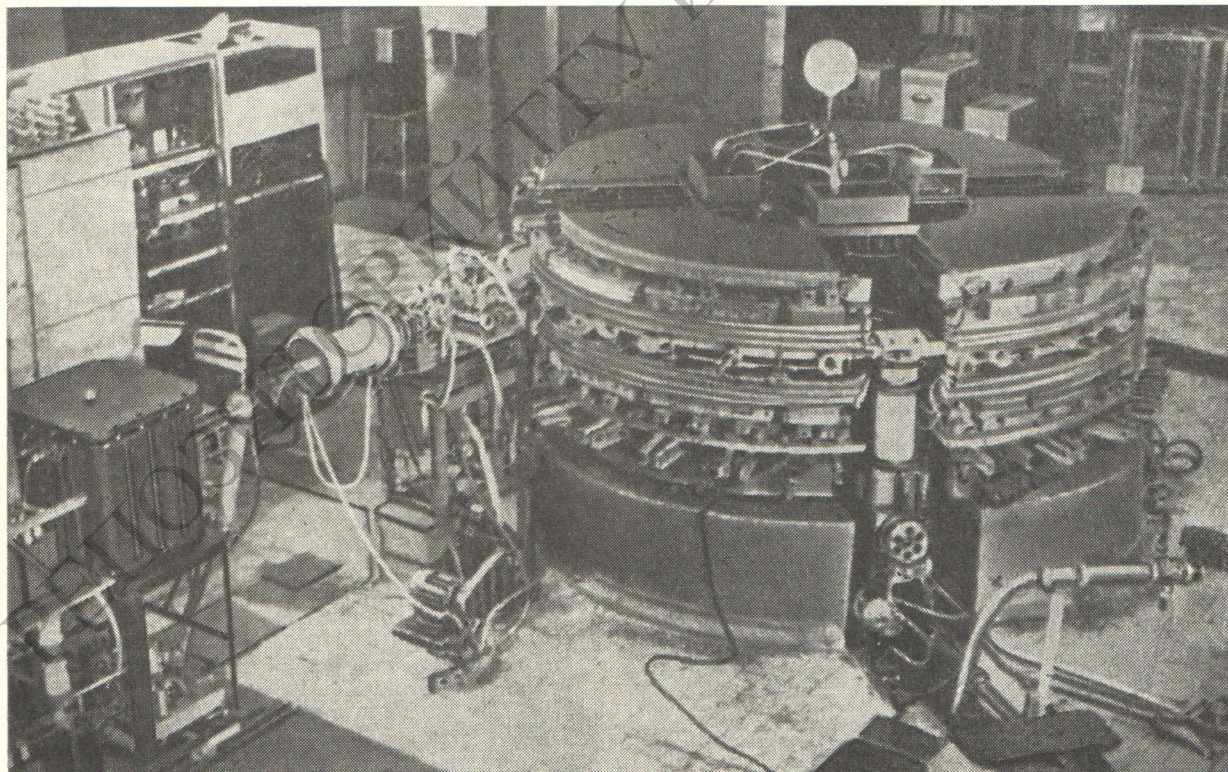
Общий вид установки представлен на рисунке. Характерная особенность синхротрона — глубокая модуляция частоты ускоряющего напряжения, поскольку электроны инжектируются при энергии 250 кэв.

Электромагнит синхротрона состоит из четырех квадрантов, разделенных прямолинейными промежутками длиной 0,6 м. Магнитопровод выполнен из 24 блоков, имеющих С-образное поперечное сечение зазором наружу. Радиус орбиты в квадранте 0,95 м, показатель спада поля 0,65.

Общий вес стали магнита 14,7 т, меди — 1,5 т. Синхротрон работает в импульсном режиме при частоте повторения 1 гц. Для возбуждения электромагнита используется разряд батареи конденсаторов. Амплитуда тока в обмотке 758 а при напряжении 8,7 кв. Напряжение на батарее конденсаторов стабилизируется с точностью  $\pm 0,5\%$ . Для снижения потребляемой мощности предусмотрен перезаряд батареи конденсаторов через электромагнит.

В качестве инжектора используется двухэлектродная ускорительная трубка, которая питается импульсным трансформатором на 250 кв. Импульс напряжения трансформатора имеет прямоугольную форму при стабильности плоской части не хуже 0,07%.

Из ускорительной трубки пучок по тракту инжекции поступает в вакуумную камеру и с помощью электростатического инфлектора, расположенного в прямолинейном промежутке, выводится параллельно орбите. Вследствие сравнительно низкой энергии инжекции частота ускоряющего поля в начале цикла ускорения должна изменяться от 28,2 до 37,5 Мгц в течение при-



Общий вид синхротрона на 300 Мэв.

мерно 300 мксек. В связи с этим весь ВЧ-тракт разбит на два канала. Первый канал работает в течение синхронного режима ускорения и обеспечивает изменение частоты ускоряющего напряжения от 28,2 до 37 Мгц. Поскольку время работы первого канала мало, в нем используются импульсные лампы ГИ-14Б, способные развивать достаточную мощность в заданной полосе частот.

Первый канал состоит из частотно-модулированного генератора мощностью около 3 квт и усилителя, обеспечивающего на выходе мощность порядка 6 квт. Частотная модуляция осуществляется изменением индуктивности контурной катушки генератора. Катушка намотана на ферритовые кольца и расположена в зазоре специального электромагнита. Величина и форма тока возбуждения этого электромагнита определяют программу модуляции. Такая система позволила значительно снизить модулирующий ток и упростить схемы его формирования.

Обе ступени первого канала модулируются по аноду импульсами прямоугольной формы, причем выходная ступень включается позже, чтобы переходные процессы при включении автогенератора успели затухнуть.

Второй канал работает в течение основной части цикла ускорения и обеспечивает ускоряющее напряжение амплитудой 1100 в на частоте 37,5 Мгц. Потери частиц при переходе от синхронного режима ускорения к синхротронному незначительны. Ускоряющим устройством являются спаренные тороидальные резонаторы. Полоса пропускания одного из них расширена шунтированием его активным сопротивлением.

В каждый из резонаторов для сокращения его габаритных размеров введены сосредоточенные емкости. Добротность широкополосного резонатора равна 4, узкополосного 160.

Резонаторы расположены в непосредственной близости друг от друга, поэтому для уменьшения связи между ними частоты далеко разнесены (30 и 37,5 Мгц). Во избежание потерь энергии электронами в результате взаимодействия с узкополосным резонатором при переходе из синхронного режима в синхротронный предусмотрен скачок частоты с 37 до 37,5 Мгц.

В настоящее время улучшаются отдельные узлы синхротрона и стабильность его работы. В дальнейшем предусматривается увеличить частоту следования импульсов.

Поступило в Редакцию 1/VIII 1966 г.

## О коэффициенте захвата частиц в ускоритель

А. С. БАКАЙ

УДК 621.384.6

Область устойчивого движения частиц в ускорителе или накопителе ограничена на фазовой поверхности энергия-фаза сепаратрисой — интегральной кривой, проходящей через точку типа «седло». При трении или медленном изменении энергии частиц сепаратриса не является замкнутой кривой (см. рисунок) и выделяет семейство фазовых траекторий (на рисунке область, заполненная этими траекториями, не заштрихована), асимптотически стремящихся к равновесной траектории, которой на рисунке соответствует фокус  $\Phi$ .

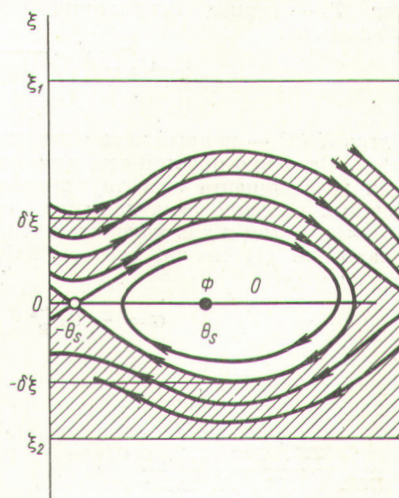
При вычислении коэффициента захвата обычно подсчитывается отношение числа частиц, попавших в момент инжекции в область осцилляции фазы  $O$ , к полному числу инжектируемых частиц. Однако при этом не учитываются те частицы, которые первоначально попали на незаштрихованные участки фазовой поверхности над областью  $O$ , но со временем оказались в этой области. Такая частица попадает то в ускоряющие, то в замедляющие фазы ВЧ-поля и в среднем не получает от него энергии. Поэтому со временем ее энергия вследствие потерь на излучение и увеличения равновесной энергии (в ускорителе) становится равной равновесной энергии. Захват частицы в режим ускорения зависит от ее фазы в этот момент. Как видно из рисунка, начальные условия, приводящие в область  $O$ , густо перемежаются. Поэтому естественно определить вероятность того, что фазовая траектория, начинающаяся над областью  $O$ , в конечном счете оказывается в области  $O$ , как относительную величину незаштрихованных участков. Такую вероятность удается подсчитать [1].

Заметим, что в работе [2] коэффициент захвата уточняется учетом влияния изменения энергии частиц в процессе ускорения на форму области осцилляции фазы  $O$ , однако при этом не учитывалась возможность захвата в режим ускорения частиц, инжектированных в часть фазовой поверхности над областью  $O$ .

Уравнения, описывающие изменение энергии и фазы частицы, после линеаризации по энергии и усреднения по быстрым переменным примут следующий вид [3]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\xi} &= \varepsilon (\cos \theta - \cos \theta_s) - \Gamma \xi; \\ \dot{\theta} &= \alpha \xi, \quad \xi = \frac{E - E_s}{E_s}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $E_s$  и  $\theta_s$  — равновесные значения энергии и фазы, а коэффициенты  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  и  $\Gamma$  зависят от конкретного вида ускорителя или накопителя. Для ускорителя они не



Общий вид фазовой картины в плоскости энергия-фаза (жирной линией изображена сепаратриса).