

СИНХРОБЕТАТРОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ В СПЕЦИАЛЬНЫХ
РЕЖИМАХ РАБОТЫ СИНХРОТРОНА

З. Д. Артемьева, К. Н. Шогин, А. С. Яров

УДК 621.384.612

Рассмотрены условия возбуждения синхробета-
тронных резонансов в синхротроне ФИАН на 680 Мэв.
Проведены экспериментальные исследования проявле-
ний этих резонансов.

В резонансных циклических ускорителях заряженных частиц на-
личие связи между бетатронными и синхротронными колебаниями вбли-
зи резонансов бетатронных колебаний возбуждает так называемые
синхробетаатронные резонансы. Это явление возникает тогда, ког-
да частоты бений амплитуд при бетатронных резонансах оказыва-
ются равными частоте синхротронных колебаний /1/.

В отсутствие синхротронных колебаний (например, в бетатро-
не) тот или иной бетатронный резонанс возникает при условии

$$aQ_x + bQ_z = c, \quad (1)$$

(где a, b, c - целые числа, а $Q_{x,z}$ - безразмерные частоты бета-
тронных колебаний), характеризуемом определенной линией резонан-
са на диаграмме устойчивости ускорителя.

При необходимости учесть в ускорителе наличие синхротрон-
ных колебаний резонансное соотношение (1) превращается в усло-
вие синхробетаатронных резонансов

$$aQ_x + bQ_z = c + dQ_s \quad (2)$$

при целых d . Во всех циклических ускорителях $Q_s \ll Q_{x,z}$.
Поэтому влияние синхротронных колебаний приводит к появлению на
диаграмме устойчивости рядом с линией условия (1) бетатронного
резонанса семейства дополнительных линий, описываемых условием
(2). Расчеты /2/ показывают, что основные проявления синхробе-
таатронных резонансов быстро уменьшаются с увеличением d , а
влияние на резонанс возбуждающей и стабилизирующей нелинейно-

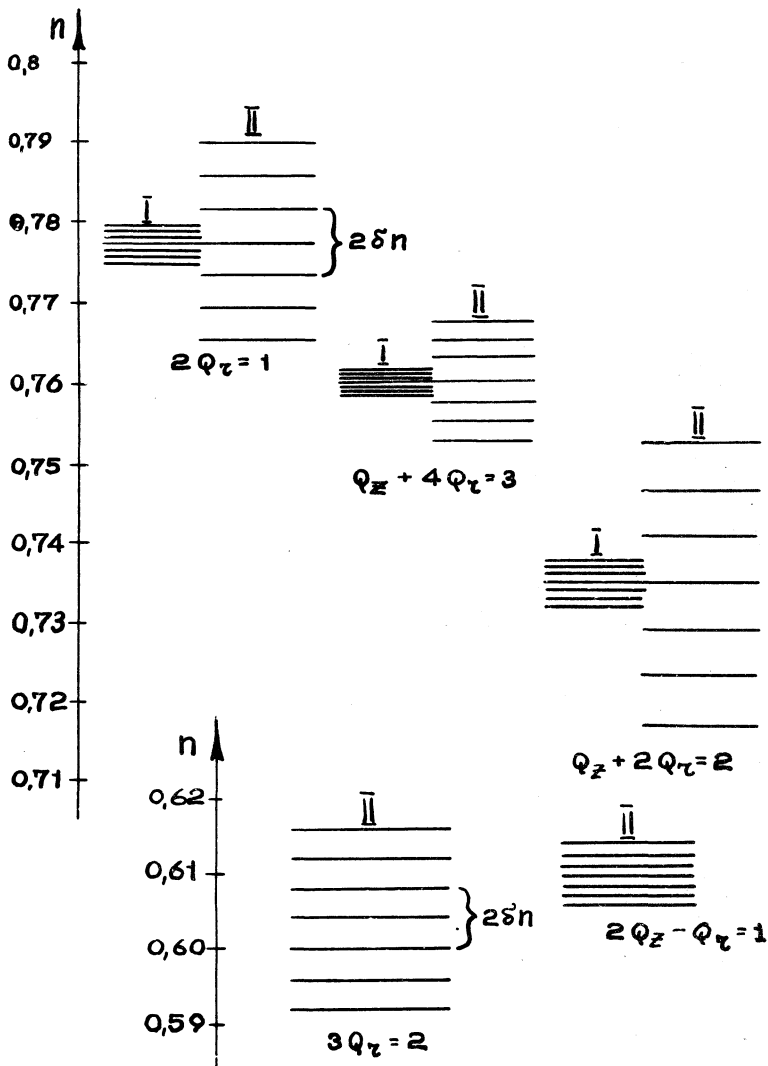
стей подобно их влиянию на соответствующий бетатронный резонанс при $a = 0$.

В процессе увеличения энергии частиц рабочая точка ускорителя должна быть достаточно удалена от опасных бетатронных резонансов. В этих условиях синхробетатронный резонанс, расширяя область проявления соответствующего бетатронного резонанса, вызывает, как правило, лишь некоторое ужесточение допуска на возможную динамику рабочей точки в течение цикла ускорения. В специальных же условиях работы ускорителя, когда резонансы бетатронных колебаний являются неизбежным компонентом режима (резонансный вывод частиц, режимы исследования резонансов и др.), влияние синхробетатронных колебаний может стать существенным и должно учитываться.

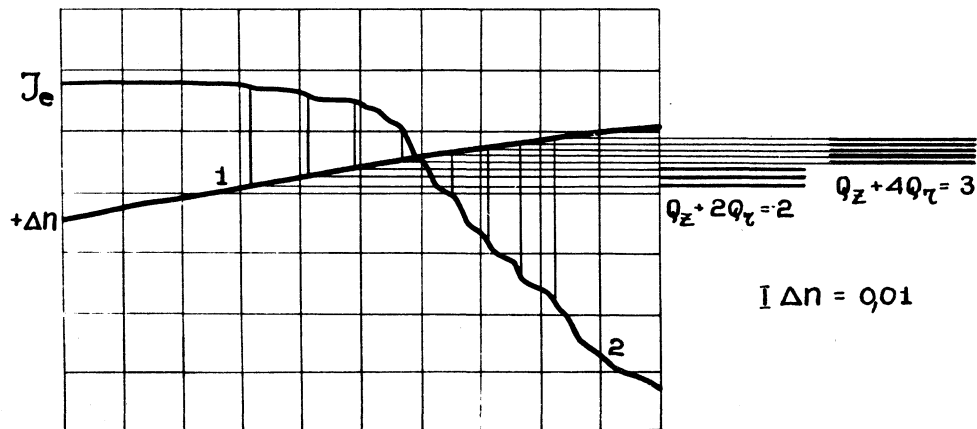
В данной работе, выполненной на синхротроне ФИАН с максимальной энергией 680 Мэв, рассмотрены характер и степень расщепления линий важнейших для работы ускорителя резонансов бетатронных колебаний, экспериментально на ускоряемом пучке исследованы основные проявления синхробетатронных резонансов.

На рис. 1 приведены расчетные величины δn расщепления линий бетатронных резонансов при $a = 0, \pm 1, \pm 2$ в единицах показателя n магнитного поля ускорителя в соответствии с принятой для синхротрона ФИАН /3/ методикой исследований резонансов бетатронных колебаний. Соответствующие формулы резонансов указаны на рисунке. Цифрами I, II отмечены первый (синхрофазотронный) и второй (синхротронный) этапы резонансного ускорения /1/. В конце первого этапа при энергии электронов ~ 120 Мэв линии резонансов $Q_z + 2Q_T = 2$, $Q_z + 4Q_T = 3$ и $2Q_T = 1$ расщепляются слабо из-за малости величины соответствующей частоты (~ 20 кГц) синхротронных колебаний. В начале второго этапа ускорения при частоте синхротронных колебаний ~ 190 кГц расщепление уже существенно. Резонансы $3Q_T = 2$ и $2Q_z - Q_T = 1$ рассматриваются в конце ускорения при энергии ~ 600 Мэв на плоской части импульса магнитного поля синхротрона.

Рис. 2,3 иллюстрируют результаты эксперимента на ускоряемом пучке. Луч 1 осциллограммы рис. 2 показывает изменение величины показателя n в процессе возбуждения бетатронных резонансов $Q_z + 2Q_T = 2$ и $Q_z + 4Q_T = 3$ в режиме II (рис. 1) работы синхротрона. Луч 2 иллюстрирует ступенчатый, вследствие проявления

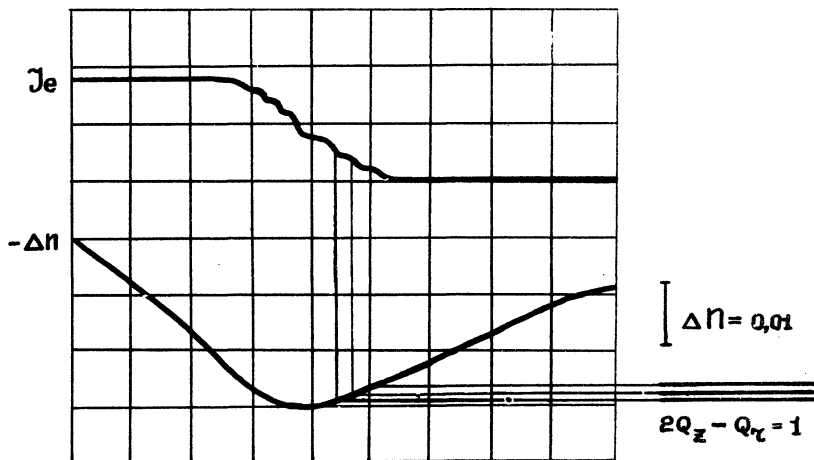


Р и с. I. Линии важнейших синхротронных резонансов в синхротроне ФИАН



Р и с. 2. Проявление синхробетатронных резонансов вблизи суммарных резонансов связи $Q_z + 2Q_\gamma = 2$ и $Q_z + 4Q_\gamma = 3$

синхробетатронных резонансов, характер потерь интенсивности пучка частиц при этих резонансах. Каждая ступенька на луче 2 - результат прохождения пучком соответствующей линии синхробетатронного резонанса. Приведенное на рис. 2 геометрическое построение



Р и с. 3. Синхробетатронный резонанс вблизи разностного резонанса связи $2Q_z - Q_T = 1$

иллюстрирует характер расщепления линий этих резонансов. Наблюдаемые в опытах проявления синхробетатронных резонансов показали величины расщепления

$$\begin{aligned} \delta n_{\text{эксп}} &= 0,006 \text{ для резонанса } Q_z + 2Q_T = 2, \\ \delta n_{\text{эксп}} &= 0,0025 \text{ для резонанса } Q_z + 4Q_T = 3. \end{aligned}$$

Соответствующие расчетные величины составили тоже 0,006 и 0,0025.

На рис. 3 приведены иллюстрации проявления резонанса $2Q_z - Q_T = 1$ в конце цикла ускорения синхротрона. Нижняя осциллограмма - закон возмущения показателя поля n . Верхняя - закон изменения интенсивности при резонансе. Соответствующее расщепление линии резонанса дало $\delta n_{\text{эксп}} = 0,0022$ при расчетной величине $\delta n_{\text{расч}} = 0,002$. В условиях данного опыта в синхротроне на 680 Мэв ожидалось возбуждение резонанса $3Q_T = 2$.

Анализ соответствующего синхробетатронного резонанса показал, что наблюдаемый резонансный эффект является резонансом $2Q_z - Q_r = 1$. Дополнительные исследования по синхротронному излучению пучка подтвердили правильность диагностики наблюдаемого явления по синхробетатронному резонансу.

Ступенчатый характер потерь пучка при резонансах (рис. 2,3) в условиях заметного расщепления линий резонансов (рис. 1) указывает на опасность значительной модуляции интенсивности в режимах медленного вывода пучка, используемых для необходимой раскочки колебаний бетатронные резонансы.

Описанные методика и результаты эксперимента на синхротроне показывают возможность сравнительно простыми средствами /3/ получить важную информацию о проявлениях синхробетатронных резонансов, существенных для специальных режимов работы резонансных циклических ускорителей. В ряде случаев, как показано, метод может быть успешно использован для идентификации резонансных явлений.

Поступила в редакцию
26 апреля 1974 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. А. Коломенский, А. Н. Лебедев. Теория циклических ускорителей. Физматгиз, 1962 г.
2. Д. Ф. Орлов. ЖЭТФ, 32, 130 (1957).
3. З. Л. Артемьева и др. ПТЭ № 1, 12 (1968).