

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 — 1972

УДК 621.384.634.3

Н. И. ТУЛИНОВА

## О ВЛИЯНИИ НА ЗАХВАТ ЭЛЕКТРОНОВ В БЕТАТРОННЫЙ РЕЖИМ УСКОРЕНИЯ МОМЕНТА ВПУСКА ЧАСТИЦ В КАМЕРУ

Исследуется влияние на захват электронов в бетатронный режим ускорения момента впуска частиц в камеру. Показано, что захват электронов осуществляется практически внутри всей «области захвата».

В ранее выполненных работах [1—3] отмечалось, что на захват электронов в бетатронный режим ускорения существенное влияние оказывает момент впуска частиц в камеру. Но в большинстве этих работ длительность импульса инжекции ( $\tau_{\text{дл}}$ ) была сравнима с величиной «области захвата» ( $\Delta t$ )<sup>1</sup>, поэтому использование этих экспериментов для изучения зависимости процесса захвата от времени впуска частиц является недостаточно оправданным.

В настоящей работе описаны эксперименты, выполненные при продолжительности инжекции, соответствующей сотым долям  $\Delta t$ .

### Экспериментальные результаты

Эксперимент проводился на бетатроне НИИЯФ МГУ (энергия 3 Мэв), основные характеристики которого описаны в [4—5].

В работе измерялась зависимость интенсивности  $\gamma$ -излучения на выходе бетатрона ( $N_\gamma$ ) от момента впуска частиц в камеру при переменной длительности импульса инжекции ( $\tau_{\text{дл}}$ ) и при различных значениях тока инжекции ( $I$ ).

Зависимость  $N_\gamma$  от момента впуска частиц при длительностях импульса инжекции меньших продолжительности оборота частиц в камере ( $T_0$ ). На рис. 1 изображены кривые зависимости  $N_\gamma$  от величины  $\tau = t_{\text{max}} - t_{\text{min}}$ , которая представляет собой отклонение момента инжекции ( $t_{\text{инж}}$ ) от момента, соответствующего максимальной возможной фазе инжекции ( $t_{\text{max}}$ ). Кривые получены при напряжении инжекции  $U = 1$  кв и длительности импульса  $\tau_{\text{дл}} = 20$  нсек для двух значений тока инжекции. (При таком инжекционном напряжении

<sup>1</sup> «Областью захвата» обычно называют промежуток времени, в течение которого радиус мгновенной орбиты изменяется от радиуса инжекции ( $R_{\text{инж}}$ ) до радиуса равновесной орбиты ( $R_0$ ).

$T_0 \sim 30$  нсек,  $\Delta t \sim 1$  мсек.) Кривая 1 соответствует началу области коллективного захвата, кривая 2 — области максимальной интенсивности  $\gamma$ -излучения. Кривые нормированы на одинаковую интенсивность при  $\tau = 0,4$  мсек. Из хода кривых можно сделать следующие выводы.

Во-первых, захват электронов осуществляется практически внутри всей области захвата.

Во-вторых, внутри области захвата при относительно малых токах доля захваченных в режим ускорения электронов по существу не зависит от момента инжекции.

И в-третьих, при больших токах наблюдается уменьшение доли захваченных электронов при инжекции на мгновенные орбиты, расположенные вблизи внешней стенки камеры.

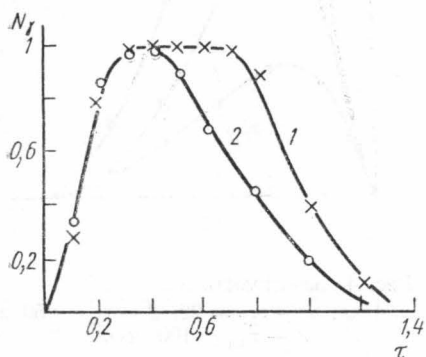


Рис. 1. Зависимость  $N_\gamma = f(\tau)$ . 1 —  $I = 5$ , 2 —  $I = 70$  ма

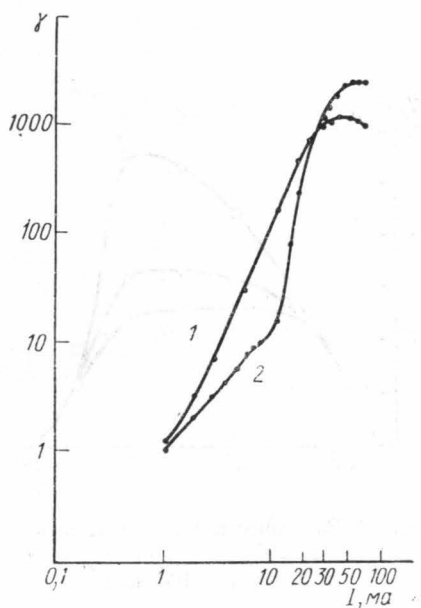


Рис. 2. Зависимость  $N_\gamma = f(I)$ . 1 —  $\tau \sim 0,2$ ; 2 —  $\tau \sim 0,8$  мсек

Количественное описание третьего явления в настоящее время провести трудно. Качественно же этот эффект понять можно. В самом деле, радиальное расширение пучка при больших инжекционных токах и подход его вследствие бетатронных колебаний к внешней стенке камеры приводят к оседанию большей части инжектируемых частиц на стенках, в результате чего центр пучка смещается в глубь камеры. Дальнейшая судьба оставшихся частиц определяется взаимным расположением мгновенной орбиты и центра вновь сформированного пучка. Если радиус мгновенной орбиты близок к  $R_0$ , то амплитуда бетатронных колебаний оставшейся части пучка уменьшается, что приводит к захвату значительной доли электронов в режим ускорения. Для случая, когда  $R_{\text{мг}}$  проходит вблизи внешней стенки камеры, амплитуда бетатронных колебаний не только не уменьшается, но даже может возрасти, в результате чего потеря электронов будет наблюдаться и при последующих оборотах.

Зависимость  $N_\gamma$  от момента впуска частиц при длительностях импульса инжекции, соответствующих продолжительности нескольких оборотов частиц в камере. При исследовании влияния на эффективность захвата момента впуска частиц в области длительностей импульса порядка 1 мсек оказалось, что характер кривых зависимости  $N_\gamma$  от  $I$ , относящихся к разным моментам впуска, существенно

различен. На рис. 2 изображены две кривые, полученные при условиях  $U=1$  кв,  $\tau_{дл}=1$  мсек. Из рисунка видно, что по мере приближения мгновенной орбиты к внешней стенке камеры доля захваченных в режим ускорения частиц возрастает в области малых токов и уменьшается в области больших. Из полученных экспериментов с длинными импульсами трудно дать хотя бы качественное объяснение этому явлению.

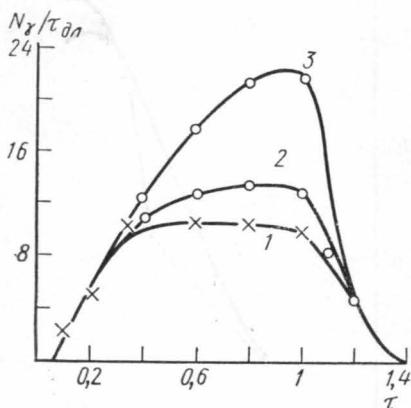


Рис. 3. Зависимость  $N_\gamma = f(\tau)$ ,  $u = 1$  кв. 1 —  $\tau_{дл} = 22$ , 2 —  $\tau_{дл} = 50$  и 3 —  $\tau_{дл} = 100$  нсек

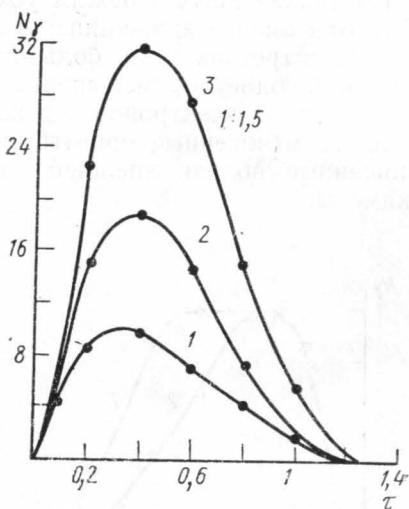


Рис. 4. Зависимость  $N_\gamma = f(\tau)$ ,  $u = 1$  кв. 1 —  $\tau_{дл} = 22$ , 2 —  $\tau_{дл} = 50$  и 3 —  $\tau_{дл} = 100$  нсек

нию. Объяснить его можно с помощью данных, полученных при запуске бетатрона импульсами малой и промежуточной длительности. Были сняты зависимости  $N_\gamma$  от  $\tau$  при трех значениях  $\tau_{дл}$  (22, 50 и 100 нсек) при малых и больших инжекционных токах. На рис. 3 приведены результаты, полученные при малых токах ( $I=5$  ма). Поскольку в данном случае мы имеем дело с областью токов, где  $N_\gamma$  зависит от  $\tau_{дл}$  линейно, для сравнения формы кривых удобно пользоваться единицей  $N_\gamma/\tau_{дл}$ .

Из рисунка видно, что если длительность импульса соответствует нескольким оборотам частиц в камере, то по мере приближения мгновенной орбиты к внешней стенке камеры доля частиц, захваченных в режим ускорения, возрастает. Можно предположить, что этот факт связан с взаимодействием между витками. Совершенно очевидно, что чем меньше удалена мгновенная орбита от источника, тем меньше эффективное расстояние между витками в пучке при прочих равных условиях и тем интенсивнее межвитковые взаимодействия, способствующие захвату частиц в режим ускорения.

Качественно ясно, что при возрастании тока инжекции относительное влияние взаимодействия между витками на процесс захвата частиц будет уменьшаться, поскольку в области больших токов на первый план выступают процессы взаимодействия внутри одного витка. Это положение иллюстрируется кривыми зависимости  $N_\gamma$  от  $\tau$  (рис. 4), снятыми при  $I=70$  ма (область максимальной интенсивности  $\gamma$ -излучения). Из рисунка видно, что действительное изменение  $\tau_{дл}$  не приводит к существенному изменению формы зависимости  $N_\gamma$  от длительности импульса.

Во всех трех случаях ( $\tau_{\text{дл}} = 22, 50$  и  $100$  нсек) более эффективным будет выпуск на орбиты, прилежащие к равновесной.

С точки зрения этих фактов могут быть поняты основные закономерности в поведении кривых, изображенных на рис. 2. Действительно, при малых токах инжекции интенсивность  $\gamma$ -излучения возрастает при выпуске частиц на орбиты, расположенные вблизи внешней стенки. В случае больших токов выход оказывается больше при инжекции на радиусы, далеко отстоящие от внешней стенки.

Итак, исследование зависимости  $N_\gamma$  от момента выпуска частиц в камеру при  $\tau_{\text{дл}} < T_0$  показало, что захват электронов осуществляется практически внутри всей «области захвата». Внутри области захвата при относительно малых токах доля захваченных в режим ускорения электронов практически не зависит от момента инжекции и при больших токах наблюдается уменьшение доли захваченных электронов при инжекции на мгновенные орбиты, расположенные вблизи внешней стенки.

При удлинении импульса инжекции до нескольких  $T_0$  наблюдаются следующие закономерности.

При малых токах инжекции по мере приближения мгновенной орбиты к внешней стенке камеры доля частиц, захваченных в режим ускорения, возрастает.

В области больших токов, как и прежде, более эффективным является выпуск на орбиты, прилежащие к равновесной.

В заключение выражаю благодарность О. С. Колотому и Ю. Н. Лобанову за помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gonella L. Inst. and Meth., **22**, 269, 1963.
2. Лобанов Ю. Н. и др. CFRN, Symp., **1**, 484, 1956.
3. Коробочко Ю. С. ЖТФ, **27**, № 4, 1957.
4. Тулинова Н. И. ЖТФ, **36**, 484, 1966.
5. Колотов О. С. и др. «Приборы и техника эксперимента», **5**, 37, 1965.
6. Лобанов Ю. Н., Тулинова Н. И. ЖТФ, **31**, 194, 1961.

Поступила в редакцию  
17.11 1970 г.

НИИЯФ