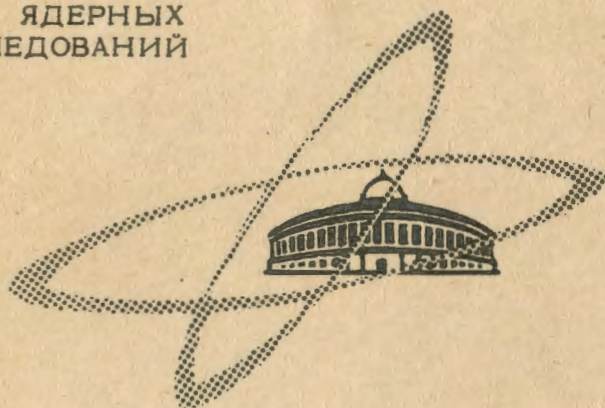


С 345e 5
С - 217

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2730



А.Н. Сафонов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
В СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАВИСИМОСТИ
ИНТЕНСИВНОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ МОДУЛЯЦИИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

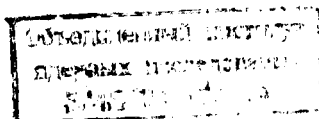
1966

P - 2730

А.Н. Сафонов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
В СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАВИСИМОСТИ
ИНТЕНСИВНОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ МОДУЛЯЦИИ

4292/3 нр



Одним из важных параметров, определяющих процесс ускорения в синхротроне, является амплитуда напряжения на дуанте U_d . Для проведения некоторых исследований необходимо знать, как меняется ее величина в зависимости от частоты. Важно также знать, как зависит U_d от постоянного анодного напряжения генератора E_a , т.к. E_a легко контролировать при работе ускорителя. Обычно амплитудно-частотную характеристику измеряют, поворачивая ротор вариатора частоты вручную с интервалом в $0,5$ или 1° и измеряя в последовательных точках напряжение на дуанте при помощи емкостного делителя, а частоту – волномером. При этих измерениях постоянное анодное напряжение в.ч. генератора E_a можно поддерживать равным не больше 2–3 кв во избежание частых электрических пробоев в вариаторе. При вычислении ускоряющего напряжения в рабочих условиях (при $E_a = 7 \div 7,5$ кв) предполагается, что U_d прямо пропорционально E_a , хотя зависимость U_d от E_a может быть нелинейной.

Напряжение на дуанте синхротрона можно также определить, если воспользоваться тем фактом ^{/1/}, что при стремлении

$$\cos \phi_a = \frac{\pi}{eV} \cdot \frac{E_a}{K \cdot \omega_a} \cdot \frac{d\omega_a}{dt} \quad (1)$$

к единице область фазовой устойчивости сужается до нуля и, следовательно, интенсивность также падает до нуля.

Для удобства дальнейших расчетов перепишем входящие в (1) величины ω_a и $\frac{d\omega_a}{dt}$ в виде:

$$\omega_a = 2\pi f; \quad \frac{d\omega_a}{dt} = 2\pi \frac{df}{da} \cdot \frac{360}{m} \cdot F = 2\pi \cdot \frac{df}{da} \cdot 36F, \quad (2)$$

где f – частота генератора, которая измеряется в зависимости от a – угла поворота вариатора частоты в градусах; $\frac{df}{da}$ – производная частотной программы; m – число пакетов ротора вариатора ($m = 10$ для синхротрона ОИЯИ); F – частота модуляции в.ч. напряжения.

Максимально возможный набор энергии за полуоборот eV можно записать следующим образом:

$$eV = eU_{go} \cdot a \cdot b, \quad (3)$$

где функция $a = \frac{eV}{eU_g}$ выражает зависимость относительного набора энергии от радиуса орбиты $\sqrt{2}$ (см. рис. 1), функция $b = \frac{U_g}{U_{go}}$ учитывает зависимость напряжения на дуанте от частоты f в течение времени ускорения, а U_{go} — напряжение на дуанте в начале ускорения.

Подставляя (2) и (3) в соотношение (1) и производя преобразования, получим:

$$\cos \phi_n = - \frac{18 E_n \frac{df}{d\alpha}}{e \cdot a \cdot b \cdot K \cdot f^2} \cdot \frac{F}{U_{go}} = A \cdot \frac{F}{U_{go}}. \quad (4)$$

Обычно $\cos \phi_n$ не остается постоянным в процессе ускорения, причем изменение его с радиусом определяется зависимостью от радиуса величин E_n , K , f , $\frac{df}{d\alpha}$, a и b . Величины E_n (полная энергия иона), $K = 1 + \frac{a}{1-a} \cdot \frac{1}{\beta^2}$ (β — относительная скорость иона, a — показатель спада магнитного поля), f и a легко выразить в зависимости от R , если известна конфигурация магнитного и электрического полей. Величина b представляет собой огибающую ускоряющего напряжения, отнесенную к напряжению на частоте захвата. Ее можно определить либо фотографированием осциллограммы ускоряющего напряжения в рабочих условиях, либо измерениями в статике при $E_n = 2-3$ кв с помощью емкостного делителя. Зависимость величины b от радиуса, показанная на рис. 1, получена вторым способом. При этом предполагается, что коэффициент пропорциональности напряжения, измеряемого на делителе, напряжению на дуанте не зависит от частоты.

На рис. 2 показана зависимость величины A от радиуса для синхротрона ОИЯИ. На радиусе 220 см A достигает максимальной величины 84 в/гц. Очевидно, что при увеличении частоты модуляции $\cos \phi_n$ достигнет единицы в первую очередь именно на этом радиусе и прибор контроля интенсивности покажет величину, близкую к нулю (уровень фонового излучения). На рис. 3 приведены зависимости интенсивности ускоренного пучка от частоты модуляции для нескольких значений постоянного анодного напряжения генератора E_n . Так как $\cos \phi_n$ прямо пропорционален частоте модуляции F , то, установив для каждой кривой значение $F = F_0$, при котором интенсивность падает до нуля, можно найти значение $\cos \phi_n$ на радиусе, где $A = A_{max}$, в любых других характерных точках кривых $I = I(F)$, например, при максимальной интенсивности. В рассматриваемом случае, как видно из рисунка, максимум интенсивности достигается при $F = F_{max} \approx 0,5 F_0$, т.е. при $\cos \phi_n$ на радиусе 220 см, равном 0,5. При этом $\cos \phi_n$ на захвате приблизительно равен оптимальному, определенному путем измерения интенсивности в зависимости от $\frac{d\omega}{dt}$ на радиусе 30 см ^{/3/}.

Интенсивность измерялась дозиметром, регистрирующим поток вторичных частиц, образующихся при соударении ускоренного протонного пучка с бериллиевой мишенью, установленной на $R = 274,5$ см.

Формулу для определения ускоряющего напряжения на захвате получим из (4):

$$U_{go} = A_{max} \cdot F_0 = 2 A_{max} \cdot F_{max}, \quad (5)$$

где $A_{max} = 84$ в/гц берется из рис. 2, а F_0 или F_{max} из рис. 3 для каждого из значений E_n . Полученная таким образом зависимость U_{go} от E_n изображена на рис.

Для нахождения амплитудно-частотной характеристики следует функцию b умножить на напряжение на захвате U_{go} .

Очевидно, что ошибка при нахождении U_{go} определяется в основном ошибками при измерении функции b , т.к. другие величины могут быть определены с хорошей точностью ($\approx 1-3\%$). Ошибка в измерениях $b = \frac{U_g}{U_{go}}$ минимальна, если коэффициент пропорциональности напряжения, измеряемого на делителе, напряжению на дуанте не зависит от частоты.

На рис. 4 показана точка, полученная непосредственным изменением напряжения на дуанте статическим вольтметром. Видно, что точка хорошо ложится на полученную кривую.

В заключение выражаю благодарность В.И. Данилову за обсуждение работы и важные замечания, И.Б. Енчевичу и В.Н. Марченко за помощь в измерениях.

Л и т е р а т у р а

1. D. Bohm L. Foldy. Phys. Rev., 72, 649 (1947).
2. И.Б. Енчевич, Г.И. Пенчев, А.Н. Сафонов. Расчет ускоряющего электрического поля синхротрона, Преприят ОИЯИ, 1854, Дубна, 1964.
3. Б.И. Замолодчиков, Д.Л. Новиков, Э.А. Полферов. Об оптимальных условиях захвата в шестиметровом синхротроне. Преприят ОИЯИ, Р-720, Дубна, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 мая 1966 г.

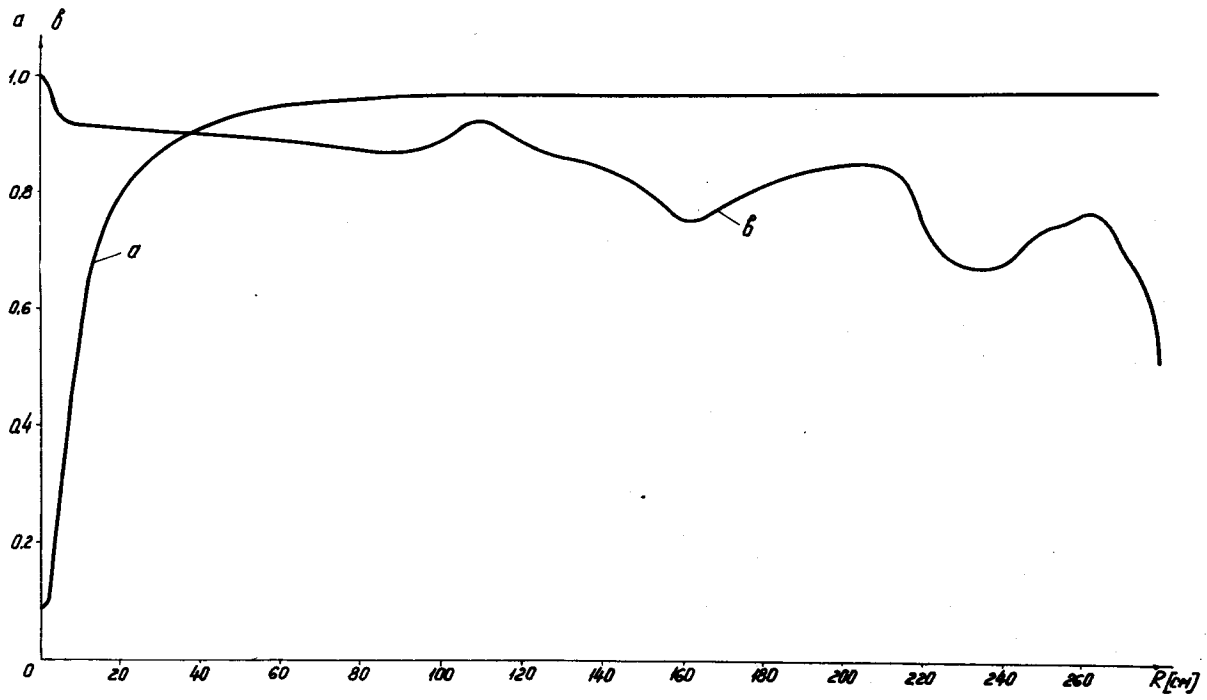


Рис. 1. Зависимость коэффициентов a и b , определяющих набор энергии ионам за оборот от радиуса орбиты.

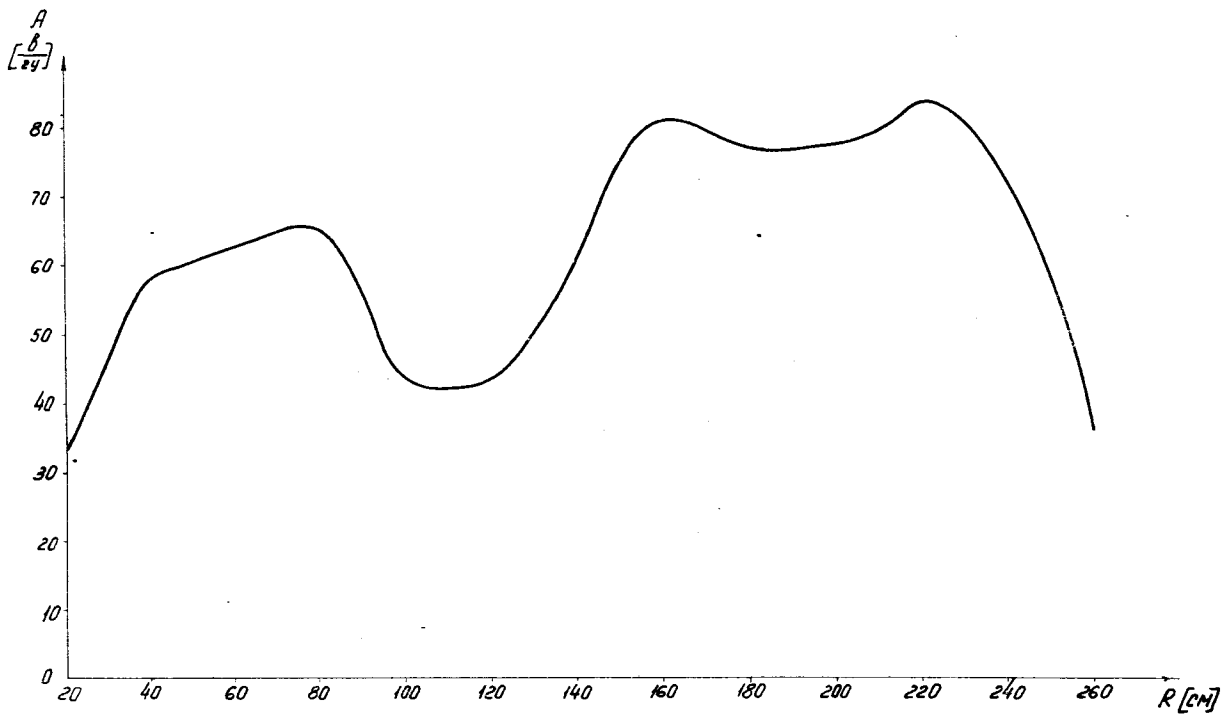


Рис. 2. Изменение величины $A = -\frac{18 E_0 df/da}{e a b K f^2}$ с радиусом в синхротроне ОИЯИ.

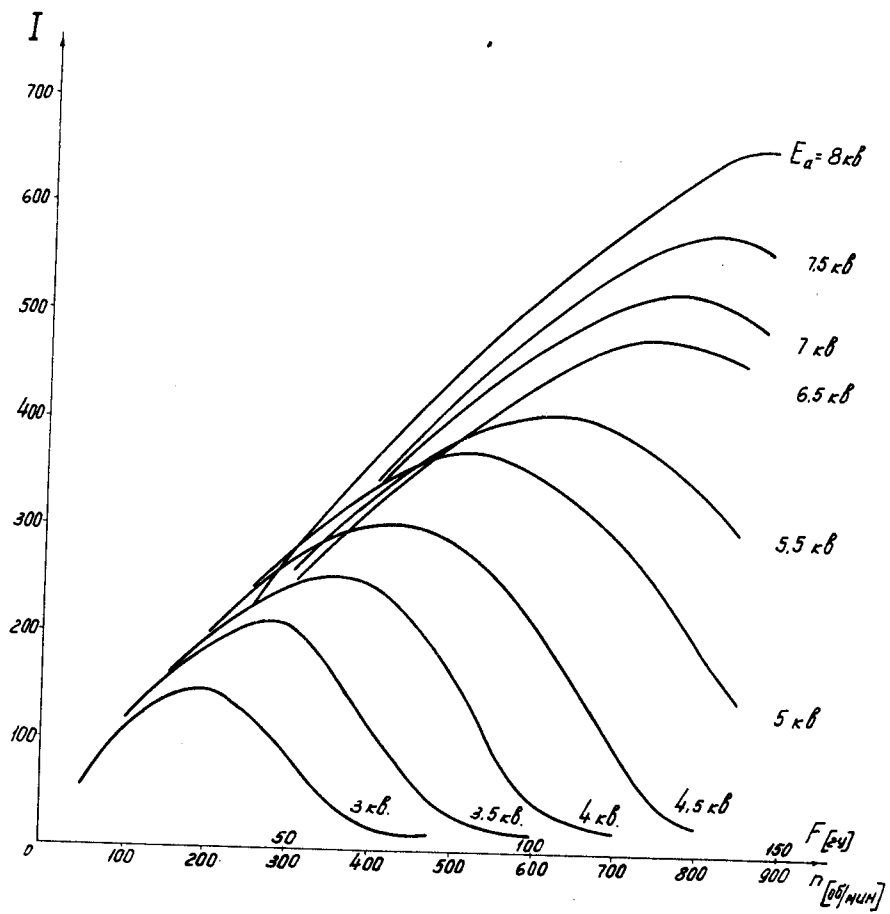


Рис. 3. Зависимость интенсивности синхротрона ОИЯИ от частоты модуляции.

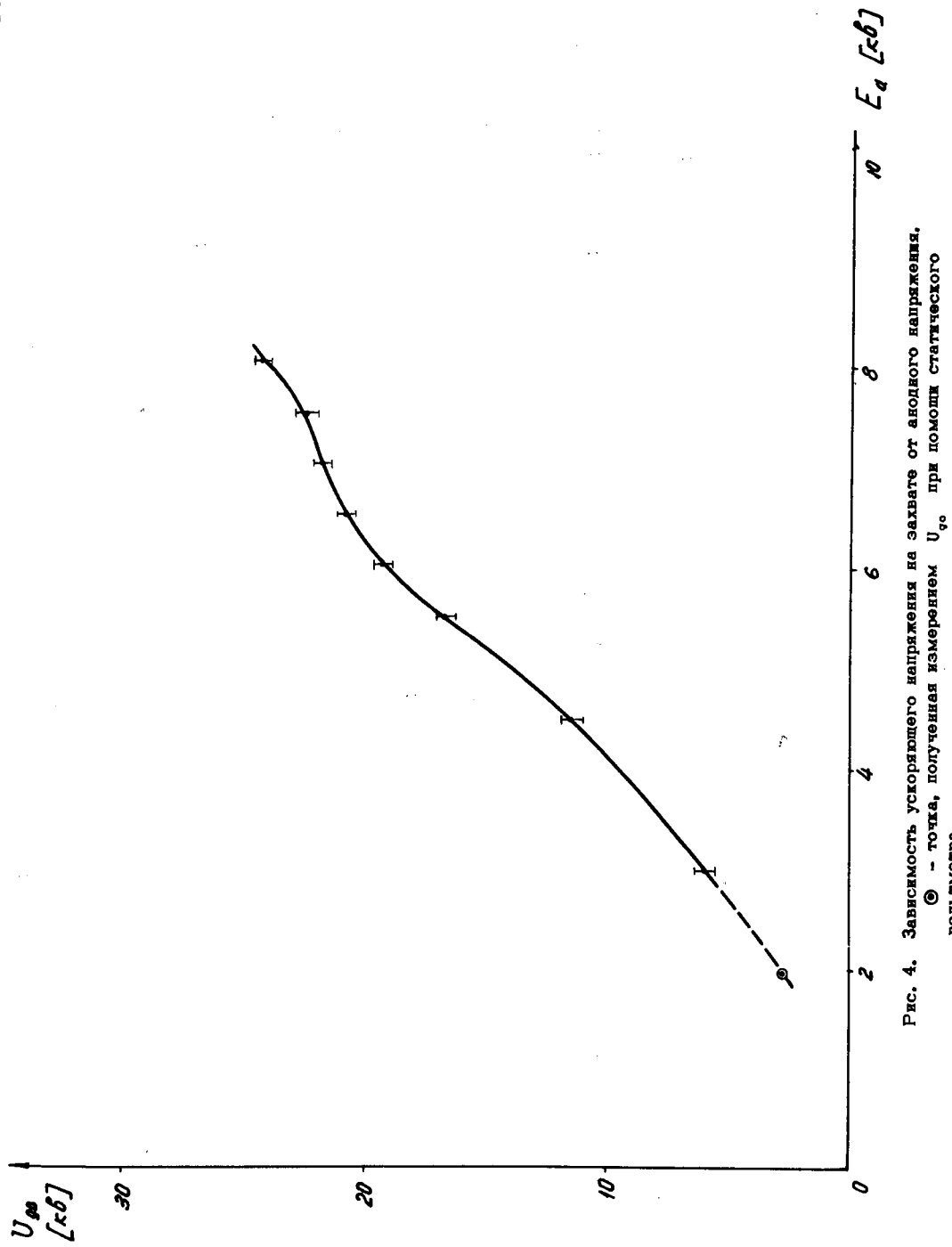


Рис. 4. Зависимость ускоряющего напряжения на захвате от анодного напряжения. \odot - точка, полученная измерением U_{90} при помощи статического вольтметра.