

2  
И Н С Т И Т У Т  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И Я Ф 76 - 2

Е.И. Колобанов, И.Я. Тимошин

**ГРУППИРОВКА ИОННОГО ПУЧКА  
ПИЛООБРАЗНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ**

Новосибирск

1976

# ГРУППИРОВКА ИОННОГО ПУЧКА ПИЛООБРАЗНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Е.И. Колобанов, И.Я. Тимошин

## А Н Н О Т А Ц И Я

Проведена группировка пучка частиц от источника отрицательных ионов водорода с помощью пилообразного напряжения на ускоряющем зазоре. В интервал  $1/3$  периода пилообразного напряжения группируется 80% частиц пучка. Возрастание амплитуды тока в импульсе достигает 4 раз. Изучено влияние пространственного заряда пучка на группировку.

При инжекции частиц в ускорители для получения коротких ступков и увеличения интенсивности иногда применяется так называемая "клистронная" группировка /1,2,3/, заключающаяся в том, что энергия частиц пучка модулируется, и на некотором расстоянии из-за разности времен пролета образуются сгущения плотности частиц. В качестве модулирующего напряжения используется синусоидальное напряжение, развиваемое на зазоре резонатора.

При этом группировке подвергается лишь  $1/3 - 1/4$  часть частиц пучка, т.к. группирующим является сравнительно небольшой, близкий к линейному участок синусоиды. Для устранения этого недостатка группировку можно провести в 2 стадии. Вначале сгруппировать пучок с помощью пилообразного напряжения, подаваемого на группирующий зазор. При этом практически весь ток может быть сгруппирован в импульсы, следующие со скважностью 3:4. Затем, после ускорения, произвести дополнительную группировку с помощью линейного участка синусоидального напряжения соответствующим образом сфазированного резонатора. Ниже описан первый каскад группирователя для источника отрицательных ионов водорода.

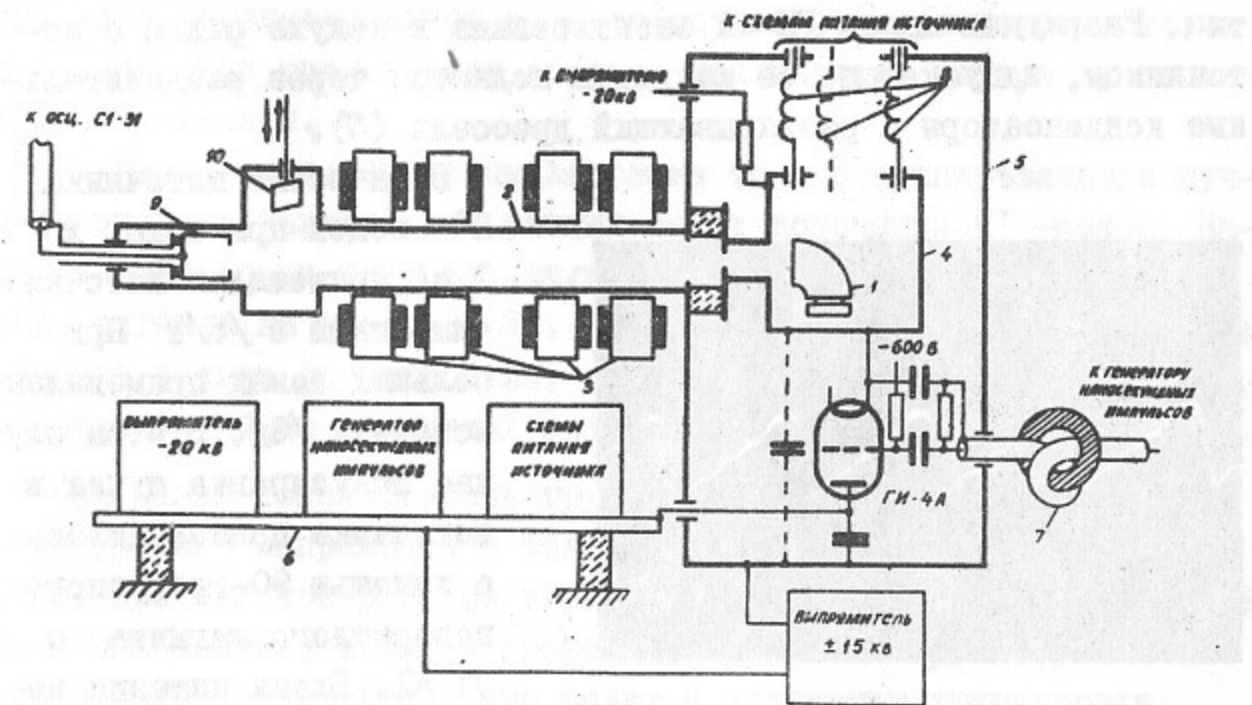


Рис. I. Схема группирователя Н<sup>-</sup>-ионов.



Схема группирователя изображена на рис.1. Пучок  $H^+$  - ионов после предварительной фокусировки в источнике (1) проходит через группирующий зазор и входит в пролетную трубу (2) из немагнитной стали диаметром 60 мм. Фокусировка частиц в трубе осуществляется с помощью двух пар магнитных квадрупольных линз (3).

Пилообразное группирующее напряжение генерируется с помощью разряда емкости камеры источника (4) на кожух (5) лампой ГИ-4А. Отпирающие лампу импульсы длительностью 20 нсек следуют с частотой 10 МГц пугами длительностью 100 мксек, повторяющимися через 1 ссек. Генератор этих импульсов был описан в /4/. Осциллограмма пилообразного напряжения, полученная с помощью измерителя временных интервалов И2-7, приведена на рис.2. Амплитуда пилы 6 кВ. Пила генерируется на фоне постоянной составляющей, так что потенциал источника меняется от -14 кВ до -20 кВ при нулевом потенциале изолированной от земли платформы (6); на которой находится выпрямитель -20 кВ, заряжающий емкость источника. Изменяя потенциал платформы с помощью регулируемого выпрямителя +15 кВ, можно соответствующим образом изменять постоянную составляющую потенциала источника, регулируя таким образом среднюю энергию ускоренных частиц. Разрядная лампа ГИ-4А смонтирована в кожухе рядом с источником, запускающие ее импульсы подаются через разделительные конденсаторы и развязывающий дроссель (7).

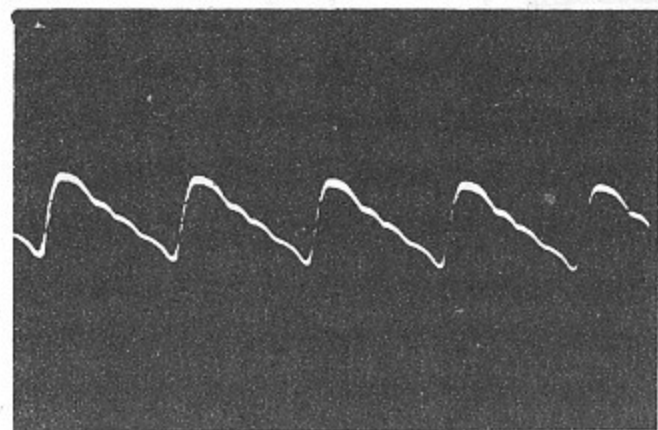


Рис.2. Осциллограмма напряжения на группирующем зазоре.

В качестве источника  $H^+$  - ионов при токах до 1 мА применялся источник, описанный в /5/. При больших токах применялся источник /6/. В этом случае фокусировка пучка в источнике производилась с помощью 90-градусного поворотного магнита с  $N = 1$ . Блоки питания источника дополнительно изолированы от платформы (6)

и находятся под постоянной составляющей потенциала источника. Высокочастотная составляющая отфильтровывается развязывающими дросселями (8) с индуктивностью 1 мГн. Запуск блоков питания производится через разделительные трансформаторы.

Ток сгруппированного пучка  $H^+$  - ионов снимался с цилиндра Фарадея (9), расположенного от группирующего зазора на расстоянии 90 см, и наблюдался с помощью осциллографа С1-31. Для визуального наблюдения вместо цилиндра Фарадея устанавливался скинтиллирующий экран (10).

В системе поддерживался вакуум  $\approx 2 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст. с помощью паромасляного насоса Н-5 с азотной ловушкой.

При фиксированном расстоянии от группирующего зазора до коллектора наилучшая группировка достигается при некотором определенном потенциале источника и соответствующих токах квадрупольных линз. Поэтому перед группировкой была отработана фокусировка пучка при различных потенциалах источника. Постоянный потенциал источника в отсутствие пилы менялся от +5 кВ до -10 кВ через 1 кВ, и при каждом потенциале токи квадрупольных линз подбирались такими, чтобы при изменении потенциала источника на  $\pm 4$  кВ ток на цилиндр Фарадея не изменялся. Во время группировки токи линз устанавливались в соответствии с потенциалом источника на середине пилы. Таким образом исключались потери пучка из-за дефокусировки.

На рис.3 приведены осциллограммы тока сгруппированного пучка на цилиндр Фарадея при разных токах источника  $H^+$  -ионов. Наряду с импульсами тока на каждом кадре дана развертка в отсутствие сигнала на входе С1-31. Постоянная составляющая тока определяется задним фронтом пилы, а также недостаточной степенью группировки из-за различных факторов.

При малых токах степень группировки определяется формой группирующего напряжения и зависит также от фазового объема пучка. При большом размере и расхождении пучка длины траекторий различных частиц, а также времена ускорения в группирующем зазоре заметно отличаются, что ведет к ухудшению группировки. Численный расчет, базирующийся на осциллограмме группирующего напряжения (рис.2) без учета разброса траекторий, дает для величины скважности значение  $\sim 10$ . Оценка вышеупомянутых



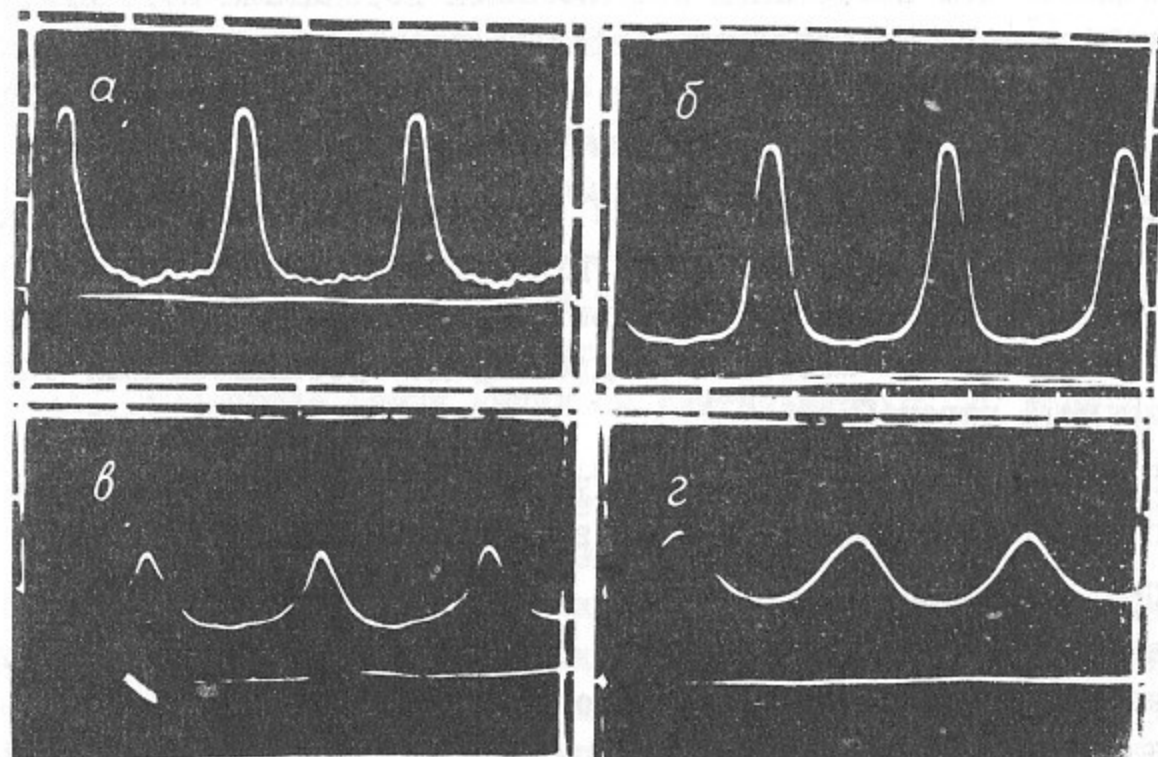


Рис.3. Осциллограммы токов  $H^-$  - ионов на цилиндр Фарадея:

- а) ток источника 0,7 мА; чувствительность 1,3 мА/деление;
- б) ток источника 3,3 мА; чувствительность 2,7 мА/деление;
- в) ток источника 5,9 мА; чувствительность 6,7 мА/деление;
- г) ток источника 8,1 мА; чувствительность 6,7 мА/деление.

факторов снижает эту величину до  $\sim 5$ . Как видно из осциллограммы рис.3 реальная степень группировки для малых токов близка к этому значению.

При достаточно больших токах главным фактором, ограничивающим степень группировки, является влияние пространственного заряда пучка. Оценку этого эффекта можно произвести следующим образом. Если предположить, что после выхода из группирующего зазора, длиной которого пренебрегаем, ступок частиц, ускоренных одним "зубом" пилы имеет форму вытянутого эллипсоида вращения с малой полуосью  $r$  и большой полуосью  $l/3$  или цилиндра длиной  $2l$  и радиусом  $r/7$ ; то продольное поле в нем для  $r/l \approx 0;1$  можно с достаточной точностью представить как

$$E = 5\rho \frac{r}{l} \xi,$$

где  $\rho$  - плотность заряда,  
 $\xi$  - продольная координата относительно центра эллипсоида.

Считая, что с этого момента начинается сжатие ступка, и полагая его в первом приближении равномерным, так что плотность заряда  $\rho$  остается постоянной по всему ступку, легко получить для скорости частиц в системе центра ступка следующее выражение:

$$V = \sqrt{(u - u_c)^2 - A \ln \frac{\xi_0}{\xi}},$$

где  $\xi_0, \xi$  - продольные координаты частицы относительно центра ступка в начальный и наблюдаемый моменты группировки соответственно.

$u_c$  - скорость центра ступка в начальный момент;

$u$  - скорость частицы с координатой  $\xi_0$  в начальный момент,

$$A = 3,2 \frac{\gamma I_0 (\tau_c - \tau)^2}{r \tau_c},$$

$\tau_c, \tau$  - времена прохождения через группирующий зазор частиц с координатами  $0$  и  $\xi_0$  соответственно,  $I_0$  - ток источника,  $\gamma = \frac{e}{m}$ . Полагая  $V=0$ , можно найти коэффициент сжатия  $\frac{\xi_0}{\xi}$ . В действительности это решение может быть применено лишь для оценки эффекта как первое приближение, т.к. коэффициент сжатия оказывается различным для разных частиц пучка; что противоречит первоначальному предположению. Кроме того, форма ступка достаточно хорошо не известна.

Как показывает визуальное наблюдение на осциллографе, пучок на цилиндре Фарадея имеет размер не более 1 см. В ускоряющем зазоре он ограничивается диафрагмой диаметром 3 см. Поэтому не будет большой ошибки, если средний радиус пучка принять 1 см. Наилучшая группировка происходила при энергии частиц на середине пилы 18-19 КэВ, так что  $(u - u_c)^2 = 2,25 \cdot 10^{14} \text{ см}^2/\text{сек}^2$ . При токе источника 3 мА  $\frac{\xi_0}{\xi} \approx 2,2$ ; при токе 8 мА  $\frac{\xi_0}{\xi} \approx 1,2$ , что находится в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными; как это видно из осцил-

лограмм рис.3.

В заключение авторы искренне благодарят Г.И.Димова за постановку задачи и постоянную помощь в работе.

#### Л и т е р а т у р а

1. J.H.Anderson, R.Batchelor, F.A.Howe, G.James, J.H.Towle, *Nucl. Instr. and Meth.* 41(1966)130.
2. K.H.Purser, A.Bahnsen, M.S.Krick, *IEEE Trans, Nucl. Sci. NS-14, no.3*(1967)174.
3. Теория и расчет линейных ускорителей. Госатомиздат, Москва, 1962.
4. И.Я.Тимошин; Е.И.Калобанов. ПТЭ; 1974; № 1; 101.
5. Г.И.Димов; Ю.Г.Конonenko; О.Я.Савченко; И.Я.Тимошин. Труды Всесоюзной конференции по ускорителям; Москва, 1968.
6. Ю.И.Бельченко; Г.И.Димов; В.Г.Дудников. ЖТФ; т.ХLV; в.1; 68 (1975).
7. Б.А.Снедков. ЖТФ; XXXV; № 2; 282 (1965).

Работа поступила - 5 ноября 1976г.

---

Ответственный за выпуск Г.А.СПИРИДОНОВ  
Подписано к печати 7.1-1976г. МН 02603  
Усл. 0,4 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.  
Заказ № 2

---

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР, вт