

5558

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 5558



ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

В.П. Саранцев, В.П. Рашевский, А.К. Каминский,  
В.И. Миронов, В.П. Фартушный, А.П. Сергеев,  
В.Г. Новиков, С.И. Тютюнников, А.М. Каминская

ЭКСПЕРИМЕНТЫ  
ПО УСКОРЕНИЮ  $\alpha$ -ЧАСТИЦ  
КОЛЛЕКТИВНЫМ МЕТОДОМ

1971

Р9 - 5558

В.П. Саранцев, В.П. Рашевский, А.К. Каминский,  
В.И. Миронов, В.П. Фартушный, А.П. Сергеев,  
В.Г. Новиков, С.И. Тютюников, А.М. Каминская

**ЭКСПЕРИМЕНТЫ  
ПО УСКОРЕНИЮ  $\alpha$ -ЧАСТИЦ  
КОЛЛЕКТИВНЫМ МЕТОДОМ**

Направлено в "Письма ЖЭТФ"

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

В 1956 году В.И.Векслер<sup>[1]</sup> указал на возможность осуществления новых методов ускорения, использующих коллективные взаимодействия. В течение нескольких последних лет эти идеи успешно развиваются в теоретическом и экспериментальном плане сначала в СССР<sup>[2]</sup>, а потом и в других странах мира.

Коллектив Отдела новых методов ускорения ОИЯИ достиг большого прогресса в развитии коллективного метода ускорения, получив ускоренные  $\alpha$ -частицы на модели коллективного линейного ускорителя ионов. Тем самым экспериментально доказана работоспособность нового метода ускорения.

Для ускорения протонов или тяжелых ионов новым методом необходимо создание плотного электронного сгустка. В модели коллективного ускорителя ионов ОИЯИ в качестве такого сгустка выбрано кольцо электронов, вращающихся в магнитном поле. Для инъекции электронов используется индукционный линейный ускоритель ЛИУ-3000. Пучок с током 100а и энергией 1,5 Мэв инжектируется в мягкофокусирующее поле адгезатора на радиус 40 см. Включение импульсных полей обеспечивает "промашку" пучка и его дальнейшее адиабатическое сжатие до радиуса 6 см.

На первых оборотах пучок имеет эллиптическое сечение с полуосями в радиальном направлении  $a_r \sim 1,6$  см и аксиальном 1,2 см. В процессе адиабатического сжатия происходит уменьшение его поперечных размеров<sup>[3]</sup>.

Расчеты показывают, что при учете изменения частоты бетатронных колебаний, связанной с захватом ионов из гелиевой среды, в которой происходит сжатие, при давлении  $P = 10^{-7}$  мм рт.ст. на конечной стадии сжатия кольцо имеет в сечении размеры  $\sim 1$  мм.

Измерения радиального сечения кольца, сделанные в процессе его вывода из потенциальной ямы, подтверждают эти расчеты.

На рис. 5,6 представлены система витков адгезатора и магнитное поле, создаваемое этой системой. Как видно из этих рисунков, для вывода кольца и его ускорения необходимо адиабатически деформировать магнитный барьер - нарушить его симметрию так, чтобы на ступок действовала выталкивающая сила в  $z$ -направлении. Для этого в определенный момент с помощью разрядника (9) шунтируются витки № 4,5,6. В результате в адгезаторе создается магнитное поле (график его также представлен на рис. 6), градиент которого в аксиальном направлении создает необходимую ускоряющую силу. Проблема удержания ионов электронным кольцом при ускорении накладывает определенные требования на градиент магнитного поля<sup>[4]</sup>. Регулировка градиента достигается выбором времени включения разрядника (9) и солениода 7. Измерить локальные значения градиента с высокой точностью затруднительно. Поэтому при ускорении кольца средний градиент магнитного поля на участке ускорения 40 см выдерживался порядка 10 эр/см. При таком градиенте поля ускорение кольца меньше предельного и позволяет ускорить двухзарядные  $L$ -частицы до энергии 30 Мэв. Как следует из расчетов<sup>[4]</sup>, отношение числа ускоренных  $L$ -частиц к первоначально захваченным в потенциальную яму кольца составляет 30%.

Ускоренное кольцо, нагруженное  $L$ -частицами, попадает на мишень, представляющую из себя медную фольгу. Мишень стоит в области сильного спада магнитного поля, но непосредственно перед мишенью помещен флажок, на который высаживается электронная компонента. Однако, из-за неравномерности высаживания электронного кольца происходит размазывание энергии  $L$ -частиц в сторону больших энергий.

Для регистрации пучка  $L$ -частиц и определения его основных параметров была применена методика измерения наведенной активности на медной мишени. Эта активность является результатом взаимодействия ускоренных альфа-частиц с ядрами  $Cu^{63}$ ,  $Cu^{65}$ . Основные ядерные реакции, идущие на меди, следующие:  
 $Cu^{63}(\alpha, n) Ga^{66}$   $T_{1/2} = 9,4$  час.  $Cu^{63}(\alpha, 2n) Ga^{65}$   $T_{1/2} = 15$  мин.  
 $Cu^{65}(\alpha, n) Ga^{68}$   $T_{1/2} = 70$  мин.  $Cu^{65}(\alpha, 2n) Ga^{67}$   $T_{1/2} = 78$  час.  
Наиболее удобным изотопом для регистрации  $\gamma$ -излучения является изотоп  $Ga^{66}$ ,  $\gamma$ -спектр которого содержит две интенсивные линии 511 кэв и 1040 кэв. Поскольку измерения проводились через 4 + 5 час. после облучения, то вклад от других каналов реакции в линию 511 кэв будет незначителен из-за малого периода полураспада  $Ga^{68}$ ,  $Ga^{65}$ .<sup>[5]</sup>

Побочной реакцией на меди является взаимодействие тормозного излучения электронов с ядрами  $Cu^{63}$  и  $Cu^{65}$ . Порог фотоядерной реакции на  $Cu^{65}(\gamma, n)$  11 Мэв. Для оценки влияния выхода изотопов из этих реакций было проведено облучение медной мишени кольцом электронов в момент их максимального сжатия. В гамма-спектре от этой мишени в интересующих нас энергетических диапазонах активность отсутствует. Таким образом, по измерениям  $\gamma$ -спектров от медной фольги можно судить об энергии и числе  $L$  частиц, падающих на мишень.

Были проведены оценки эффективности регистрации  $L$ -частиц по этому изотопу. Они показали, что можно регистрировать потоки  $L$ -частиц с числом  $N_L > 5 \cdot 10^8$  и энергией  $E_L > 10$  Мэв.

Для определения параметров пучка  $L$ -частиц были поставлены

мишени на расстоянии 40 см от медианной плоскости. Мишень сделана наборной из 5 медных и алюминиевых фольг. Толщина медной фольги 12 мг/см<sup>2</sup>, толщина алюминиевой фольги 5,4 мг/см<sup>2</sup>. Спустя 4 → 5 часов после облучения производилось измерение активности фольг на сцинтилляционном спектрометре. На рис. 1 представлен полный  $\gamma$ -спектр, на рис. 2-4 представлены основные параметры спектрометра, зависимость эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов от энергии и калибровочная прямая.

$\gamma$ -спектр содержит две линии с энергиями 511 кэв и 1040 кэв. Производилось измерение периода полураспада этой активности, которое дает значение  $T_{1/2} = 9$  час. Для измерения энергии было произведено измерение активности по слоям. Результаты измерений представлены на рис. 7. Отсюда видно, что максимальный выход приходится на 4 медную фольгу. Используя результаты работ [6,7] и результаты облучения такой же стопки фольг на циклотроне У-200 Лаборатории ядерных реакций, были произведены оценки энергии падающих  $L$ -частиц. Эти оценки дают значение  $E_L = (29 \pm 6)$  Мэв.

Погрешность в определении энергии обусловлена ошибкой измерения толщины медных фольг, которая соответствует 10%, и неточностью в определении положения максимума в функции возбуждения.

Зная энергию  $L$ -частиц, можно по выходу изотопа на 4 фольге определить интегральный поток падающих  $L$ -частиц по формуле

$$N_L = \frac{N_0}{\sigma_{(L,n)} N_{Ag}} \quad (I)$$

где  $N_0$  - число активных ядер  $Ga^{66}$  в начальный момент времени,  $N_{Ag}$  - число ядер мишени на один см<sup>2</sup>.

$$N_0 = \frac{I_{\text{пика}} \cdot e^{\lambda t_{\text{из}}}}{2 \cdot \epsilon (1 - e^{-\lambda t_{\text{из}}})} \quad (2)$$

$I_{\text{пика}}$  - площадь по фотопикам;

$2$  - абсолютный квантовый выход;

$\epsilon$  - эффективность регистрации квантов;

$t_{\text{из}}$  - время от конца облучения до начала измерения;

$t_{\text{из}}$  - время измерения;

$\lambda$  - постоянная распада  $Ga^{66}$ .

Вычисления дают нам величину интегрального потока  $L$ -частиц  $N_L \approx 5 \cdot 10^9$ .

Ошибка в определении числа  $L$ -частиц в основном определяется ошибкой в измерении энергии  $L$ -частиц 20% и толщины медной мишени 10%. Таким образом, поток  $L$ -частиц определен

$$N_L = (5 \pm 1,5) \cdot 10^9$$

Проведенные эксперименты и измерения показали наличие ускоренных  $L$ -частиц и, тем самым, однозначно доказали принципиальную возможность коллективного метода ускорения.

В заключение авторы приносят благодарность всем сотрудникам отдела, принимавшим участие в проведении экспериментов и обсуждении результатов, в особенности: Рашевской А.А., Хабарову В.С., Кожухову И.В., Иванову И.Н., Перельштейну Э.А., Рубину Н.Б., Прейзендорфу В.А., а также сотрудникам ЛЯР Оганесяну Ю.Ц. и Шамсутдинову А.Т.

ЛИТЕРАТУРА

1. a) V.I.Veksler. Principle of Acceleration of Charged Particles. CERN Symposium, vol.1, p.80 (1958).

б) Векслер В.И. Когерентный принцип ускорения заряженных частиц. Атомная энергия, 5. 427 (1957).

2. а) Векслер В.И., Саранцев В.П. и др. Коллективное линейное ускорение ионов. Препринт ОИЯИ Р-9-3440, Дубна 1968.

б) V.I.Veksler et al. Collective Linear Acceleration of Ions. Proceedings of Sixth International Conference on High Energy Accelerators. Cambridge p.289, 1967.

3. И.Н.Иванов, М.Л.Иовнович, А.Б.Кузнецов, Ю.Л.Обухов, К.А.Решетникова, Н.Б.Рубин, В.П.Саранцев, О.И.Ярковой. Вопросы движения частиц в адгезаторе. Препринт ОИЯИ Р9-4132. Дубна 1968.

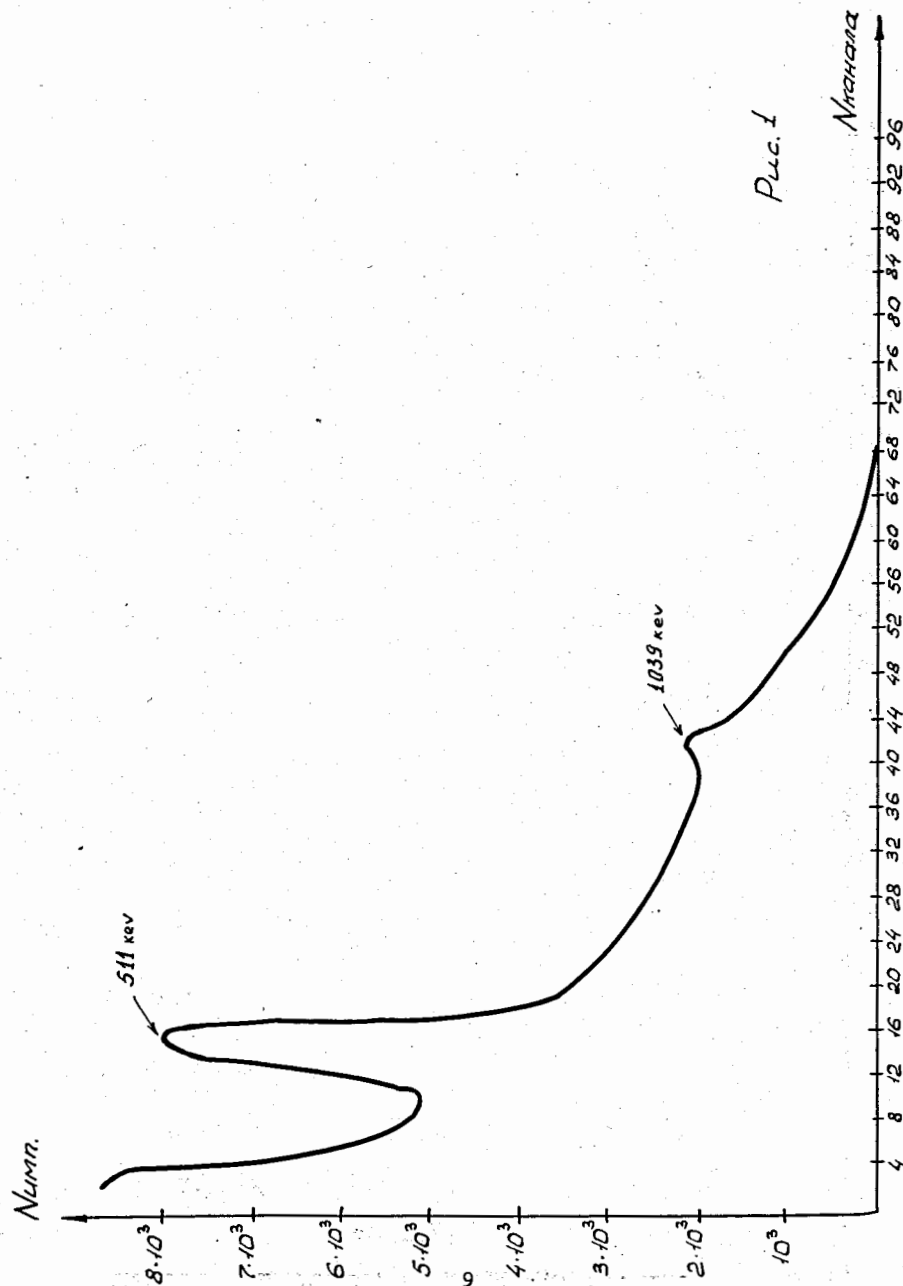
4. И.Н.Иванов, Э.А.Перельштейн, В.П.Саранцев. К вопросу об ускорении ионов электронным кольцом в спадающем магнитном поле. Доклад на II Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц. Москва 1970г.

5. Table of Isotops, 1968.

6. Phys.Rev.v.116, n.5, 1959, p.1193.

7. Northcliffe, Nuclear Date Tables. Section A, v.7, N 3 - 4, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 января 1971 года



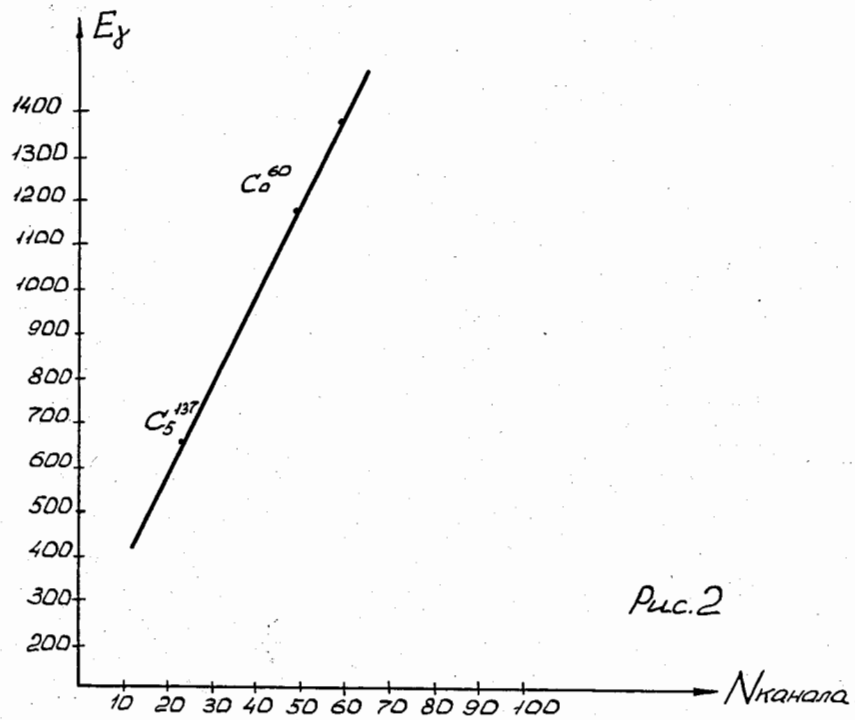


Рис. 2

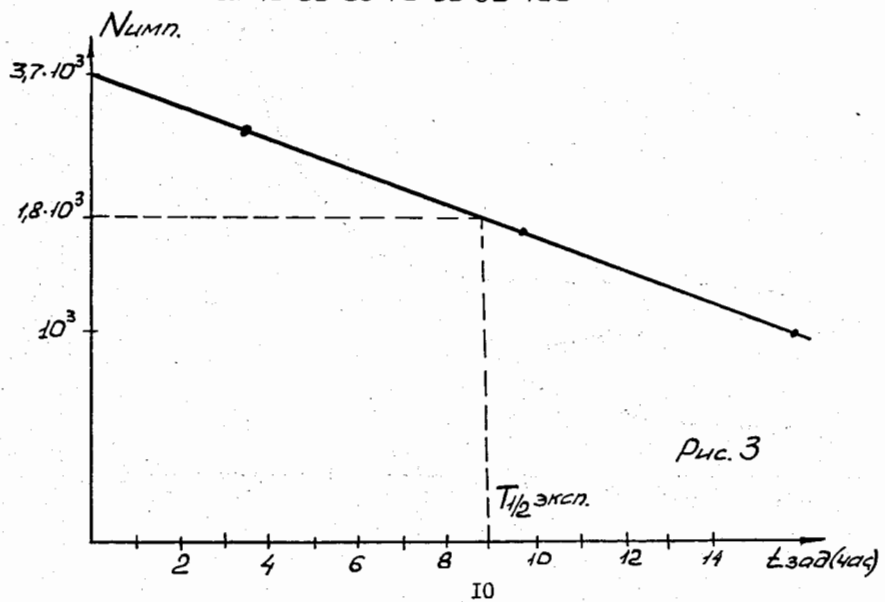
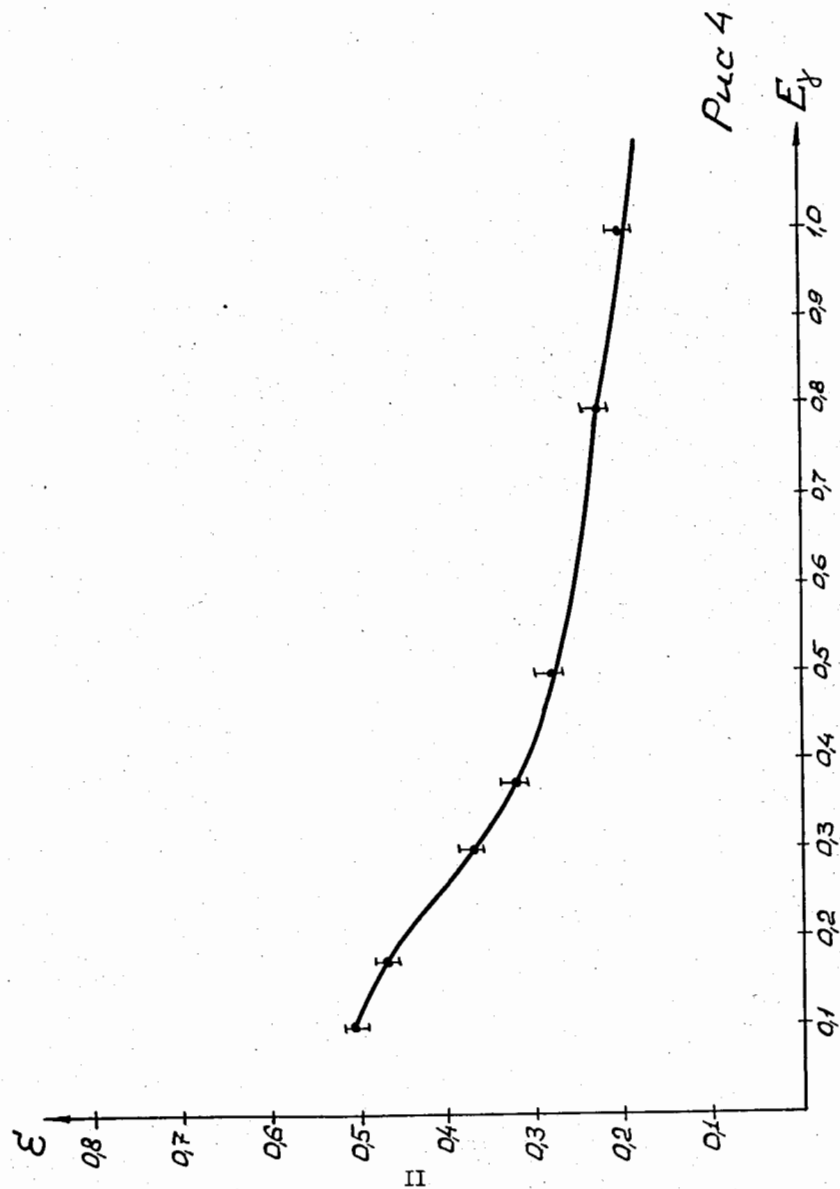


Рис. 3



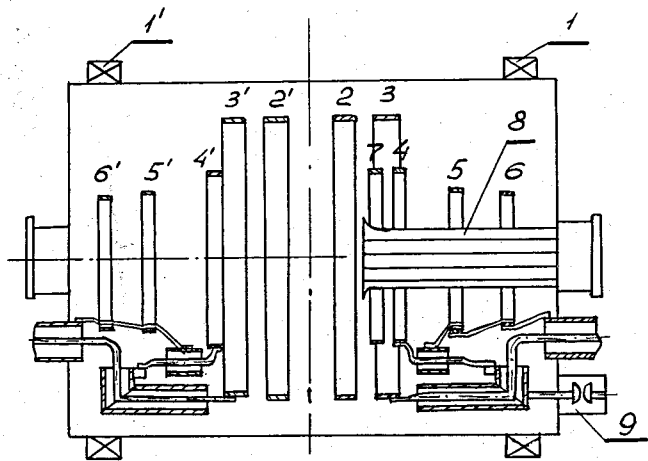


Рис. 5

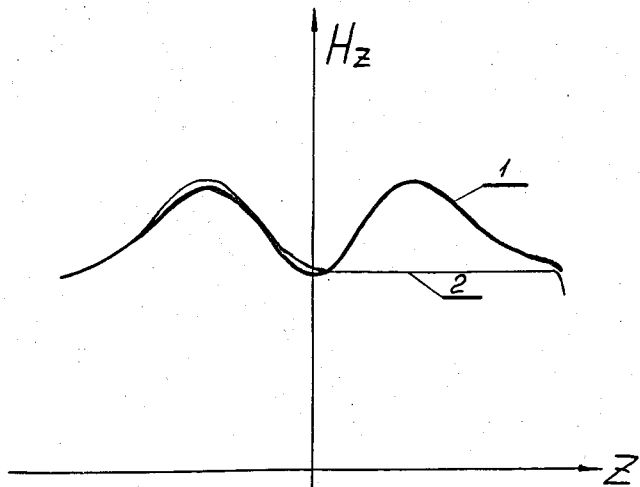


Рис. 6

12

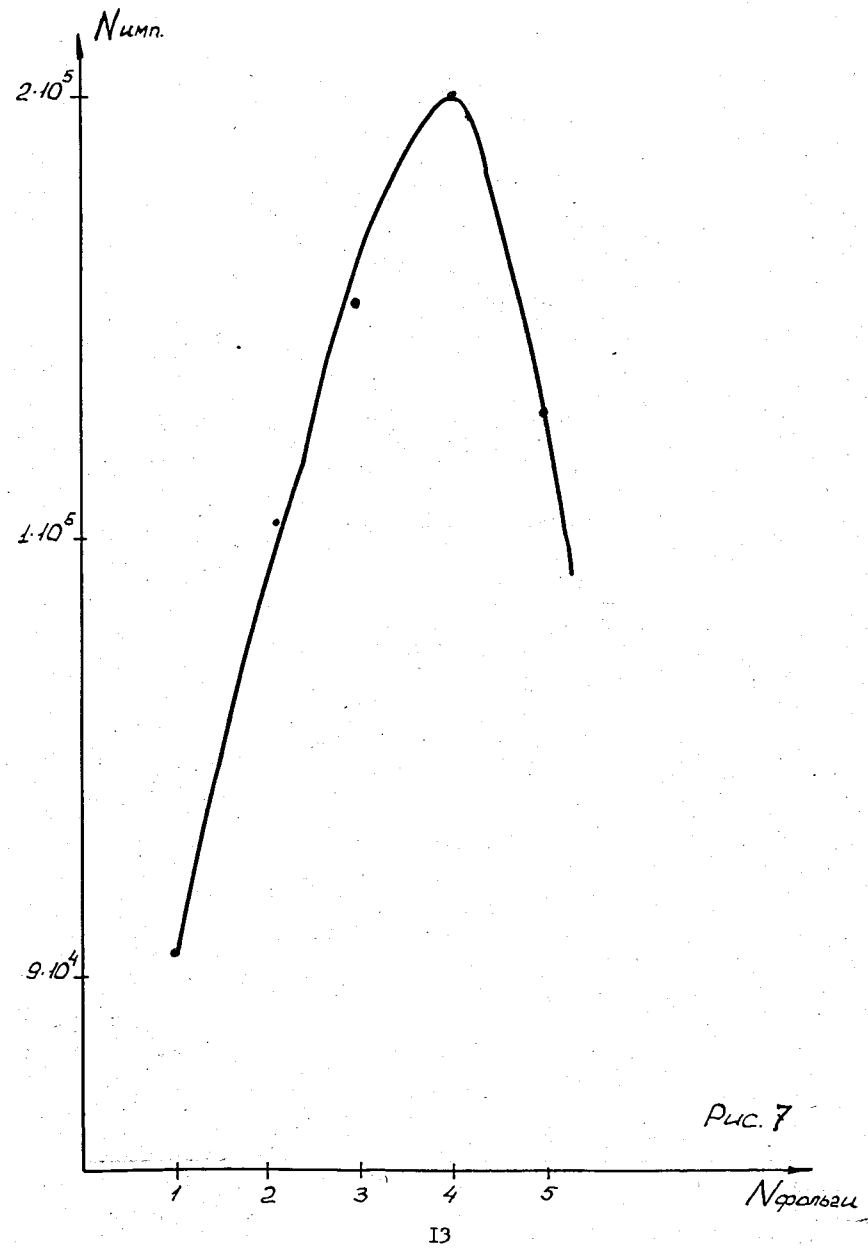


Рис. 7

13