

Б.28

35

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

ПРЕПРИНТ И ЯФ 74-74

П.И.Батурин, С.Г.Попов, Д.К.Топорков

МИШЕНИ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЯ

Новосибирск

1974

МИШЕНИ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЯ
П.И. Батурин, С.Г. Попов, Д.К. Топорков

А Н Н О Т А Ц И Я

Описаны мишени в виде высокоинтенсивного молекулярного пучка в вакууме для проведения экспериментов в электронном накопителе. На расстоянии 23 см от среза сопла давление в струе 10^{-3} торр, вакуум в накопителе $\sim 10^{-7}$ торр, размер мишени 7 мм.

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной
физики СО АН СССР
ИНВ. № _____

THE TARGETS FOR STORAGE RING
P. I. Baturin, S. G. Popov, D. K. Toporkov

A B S T R A C T

The targets for experiments in the electron storage ring are described representing the high intensity molecular beam in vacuum. At the distance of 23 cm from the nozzle edge the pressure in the beam is 10^{-3} torr, the storage ring vacuum $\leq 10^{-7}$ torr, the target size is 7 mm.

В работе /1/ показана возможность проведения экспериментов в электронном накопителе с внутренней мишенью. Можно отметить ряд важных преимуществ использования накопителей в таких экспериментах.

Линейные и циклические ускорители работают со скважностями порядка $10^4 + 10^1$. Из-за этого при работе с электроникой допустимые интенсивности пучка приходится снижать обратно пропорционально скважности. Накопитель позволяет сделать электронный пучок практически непрерывным во времени и тем самым поднять предел средней допустимой интенсивности пучка.

Применение в накопителе весьма тонких мишеней позволяет регистрировать вторичные частицы, а вероятность взаимодействия электрона с мишенью не падает с уменьшением толщины мишени, так как электрон проходит через мишень большое количество раз.

Кроме того, угловой и энергетический разброс частиц в накопителе можно сделать значительно уже, чем в существующих ускорителях.

Наиболее привлекательным является режим сверхтонкой мишени, когда время жизни пучка больше времени затухания колебаний и определяется однократными процессами. В качестве мишени может быть использована струя газа, паров металла или жидкости. Дальнейшие оценки проведем для электрон-позитронного накопителя ВЭП-2 при энергии 100 МэВ. Расчетные величины приведены в /2/. В частности время затухания колебаний равно 1 сек. Время жизни пучка из-за однократного упругого рассеяния на ядрах остаточного газа (воздуха) $\tau_{одн} = \frac{1.4 \cdot 10^{-4}}{p \text{ [торр]}}$, из-за тормозного излучения $\tau_{торм} = 1.4 \cdot 10^{-4} / p \text{ (торр)}$; из-за однократного рассеяния на электронах остаточного газа (выбивание σ электронов) $\tau_s = 3 \cdot 10^{-4} / p \text{ (торр)}$. Для того, чтобы использовать электронный пучок с установившимися параметрами (энергетический разброс, поперечные размеры) время жизни частиц должно быть много больше времени затухания, например, 10 сек. Если считать, что вакуум на дорожке определяется мишенью, то это соответствует давлению в струе воздуха $1 \cdot 10^{-2}$ торр (длина орбиты $1.2 \cdot 10^3$ см, ширина струи 0,5 см). Этот расчет практически соответствует в нашем случае мишени из азота или кислорода. Для оценки необходимой плотности водородной струи нужно учесть, что тормозное

излучение и однократное рассеяние на ядрах пропорциональны $Z(Z+1)$ и Z^2 , а рассеяние на электронах мишени пропорционально Z , Z - заряд ядра. Расчет для водорода дает необходимую плотность в струе $3 \cdot 10^{-1}$ торр.

Адекватным методом получения мишени в нашем случае нам кажется метод высокоинтенсивного молекулярного пучка, получивший в настоящее время большое развитие /3,4,5/.

Формирование таких струй в нашем случае осложнено необходимостью иметь перепад давлений в струе относительно давления в остальной части накопителя, по крайней мере на четыре порядка (для тех же Z).

В случае применения паромасляной откачки в качестве источника частиц используется сходящееся сопло. На некотором расстоянии от сопла помещается отсекающая диафрагма, вырезающая из потока узкий пучок молекул. Отраженные молекулы откачиваются насосами с высокой скоростью откачки. Интенсивность струи зависит от многих параметров и детально обсуждалась в работах /6,7/. Следует лишь отметить такие механизмы ослабления интенсивности как возникновение скачка уплотнения на конусе отсекающей диафрагмы, рассеяние молекул пучка на отраженных от диафрагмы молекулах, рассеяние молекул на остаточном вакууме. В предварительном исследовании нами было установлено, что при расходах газа через сопло до $1 \text{ нсм}^3/\text{сек}$ применение расходящегося сопла Лавала не дает выигрыша в интенсивности по сравнению со сходящимся соплом, а вакуумные условия за диафрагмой при той же интенсивности несколько хуже. Было определено также оптимальное расстояние между соплом и диафрагмой.

Конструкция газовой мишени (рис.1) состоит из источника, экспериментального объема и приемника струи. Экспериментальный объем представляет макет прямолинейного промежутка накопителя ВЭП-2 и имеет размеры $140 \times 140 \times 500$ мм. Для получения сверхвысокого вакуума в экспериментальном объеме применяется откачка напылением титана на поверхность, охлажденную до температуры жидкого азота совместно с магниторазрядным насосом, имеющим скорость откачки 100 л/сек по воздуху. Скорость откачки из экспериментального объема определяется проводимостью соединительных труб и

составляет 10^3 л/сек по воздуху. Объем отсекается от источника и приемника клапанами $\text{ДВ}70$ и $\text{ДВ}35$ с тефлоновыми уплотнениями. Уплотнение всех фланцев индиевое. Вакуум измеряется лампой ИМ12. Предельное значение вакуума в объеме $< 10^{-9}$ торр. В приемнике струи используется магниторазрядный насос со скоростью откачки 600 л/сек .

Источником частиц является сходящееся сопло с диаметром выходного отверстия $0,1 \text{ мм}$. На расстоянии 11 мм от сопла помещается отсекающая диафрагма с диаметром отверстия 1 мм . Наружный и внутренний угол отсекающего конуса 60° и 55° , длина 5 мм . Поток газа из сопла откачивается вакуумным агрегатом ВА2-3 на выходе которого стоит бустерный насос БНЗ. С целью получения максимальной плотности диафрагма и сопло помещены в экспериментальный объем, а клапан $\text{ДВ}70$ отсекает их от диффузионного насоса. Измерение параметров струи проводилось в центре объема на расстоянии 60 мм от диафрагмы, лампой ЛН2 с носиком, имеющим отверстие диаметром 1 мм . Распределение интенсивности струи при расходе водорода через сопло $1 \text{ нсм}^3/\text{сек}$ приведено на рис.2. Давление в струе оценивалось по повышению давления в объеме при закрытии клапана приемника. При расходе водорода $1 \text{ нсм}^3/\text{сек}$ давление в струе в центре объема 10^{-4} торр, вакуум в объеме $4 \cdot 10^{-7}$ торр. При дальнейшем увеличении расхода газа плотность струи практически не возрастает, а вакуум в объеме растет экспоненциально. На рис.3 приведены зависимости давления в струе и в объеме от расхода газа через сопло. В данной мишени можно использовать любой газ, однако, производительность насосов не позволяет получить достаточные плотности в мишени.

Для откачки больших количеств газов, давления паров которых при низких температурах малы, можно использовать ловушки, охлажденные до этих температур (азотные, гелиевые и т.д.). На установке, схема которой приведена на рис.4, были проведены исследования с целью получения плотных мишеней из аммиака NH_3 , ацетилена C_2H_2 , паров воды и углекислого газа CO_2 . Источником частиц является сопло Лавала с диаметром критического сечения $0,13 \text{ мм}$, диаметр выходного отверстия 6 мм , длина диффузорной части 35 мм . Конфузорная часть имеет такой же угловой раствор и длину 5 мм . На расстоянии 15 и 30 мм от среза сопла помещены

две отсекающие диафрагмы с отверстиями диаметром 4 мм. Они отбрасывают часть потока на стенки цилиндрической медной ловушки, охлаждаемой жидким азотом, где молекулы прилипают с вероятностью близкой к единице. С помощью медного держателя диафрагмы укреплены на трубке, подводящей к соплу газ. Для предотвращения конденсации воды в подводящей трубке имеется нагревающий элемент. На расстоянии 70 мм от среза сопла помещена коллимирующая диафрагма с диаметром отверстия 2 мм, которая определяет размер мишени. Для получения предварительного разряжения в источнике используется диффузионный насос НИС. Далее струя проходит экспериментальный промежуток и попадает в приемник. Приемник представляет цилиндрический объем, в котором находится ловушка, охлажденная жидким азотом. Для измерения струи здесь же находится подвижная лампа ЛМ2 с носиком, имеющим отверстие диаметром 1 мм. Расстояние между лампой и срезом сопла 46 см. Для получения сверхвысокого вакуума в приемнике установлен насос НОРД100. Источник и приемник отсекаются от экспериментального объема, описанного выше, клапанами ДУ 35.

На рис.5 приведено распределение интенсивности в струе из паров воды на расстоянии 46 см от сопла. Для аммиака, углекислого газа, ацетилена распределения аналогичны. Видно, что струя хорошо сформирована, размер струи 15 мм. Это соответствует размеру в центре экспериментального промежутка около 7 мм, на расстоянии 3 мм от оси струи перепад давления около двух порядков. Давление струи в центре экспериментального объема оценивалось по повышению давления при закрывании клапана приемника. Увеличение давления в 20-40 раз, говорит о том, что 5-2% струи не попадает в приемник. При давлении струи 10^{-3} торр вакуум в объеме $\sim 10^{-7}$ торр и линейно зависит от интенсивности (рис.6). Применение азотных ловушек в экспериментальном объеме должно улучшить вакуумные условия. На рис.7 приведены зависимости давлений в струе от расхода газа через сопло, измеренные с помощью ЛМ2. Можно считать, что давление струи в центре объема $P_{стр} \sim 50$ Рлм. При расходах газа $1,5$ нсм³/сек начинается резкий рост интенсивности, что, по-видимому, связано с формированием струи сверхзвуковым соплом. Отметим, что применение сопла с $l/d \sim 1$, где l - длина диффузора, d - диаметр выходного отверстия, из работы /5/ в нашей геометрии привело к потере интенсивности при расходах газа 3-6 нсм³/сек более, чем на порядок, а потеря в интенсивности в случае звукового соп-

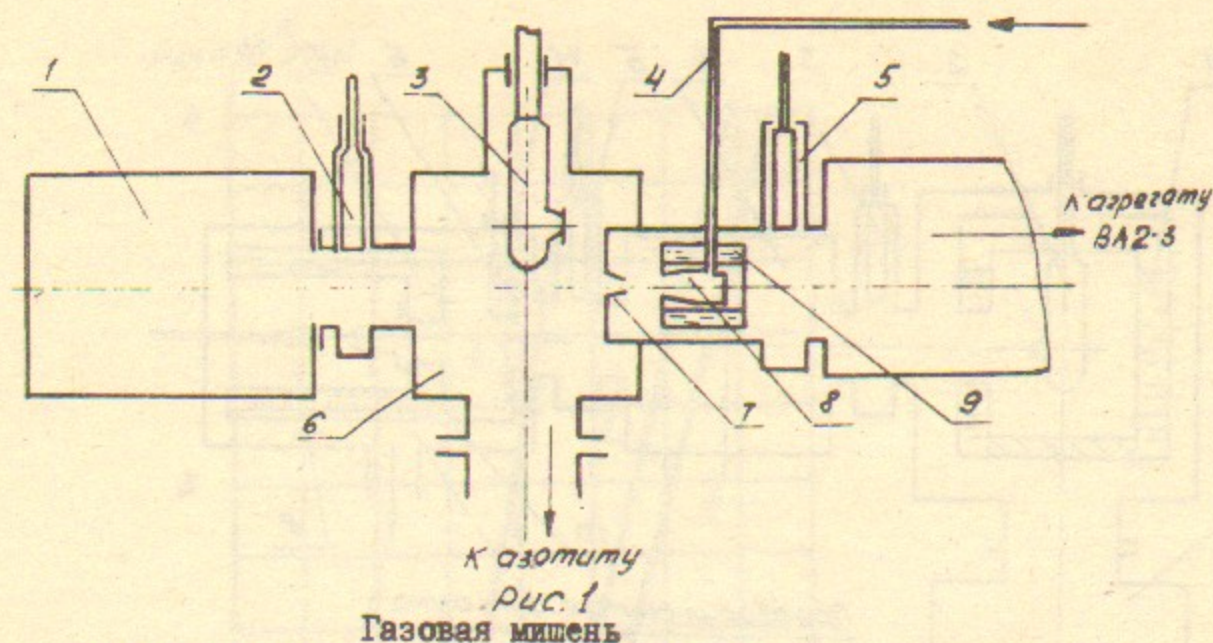
ла составляла около двух порядков при тех же расходах газа. Время устойчивой работы 3-4 часа, после чего необходимо удалять конденсат из ловушки источника.

Данный источник позволяет получить плотность в струе, близкую к максимально возможной для режима сверхтонкой мишени при удовлетворительном вакууме на орбите электронного пучка. В дальнейшем предполагается использовать ловушки, охлажденные жидким гелием, что позволит получить плотные мишени практически любых газов.

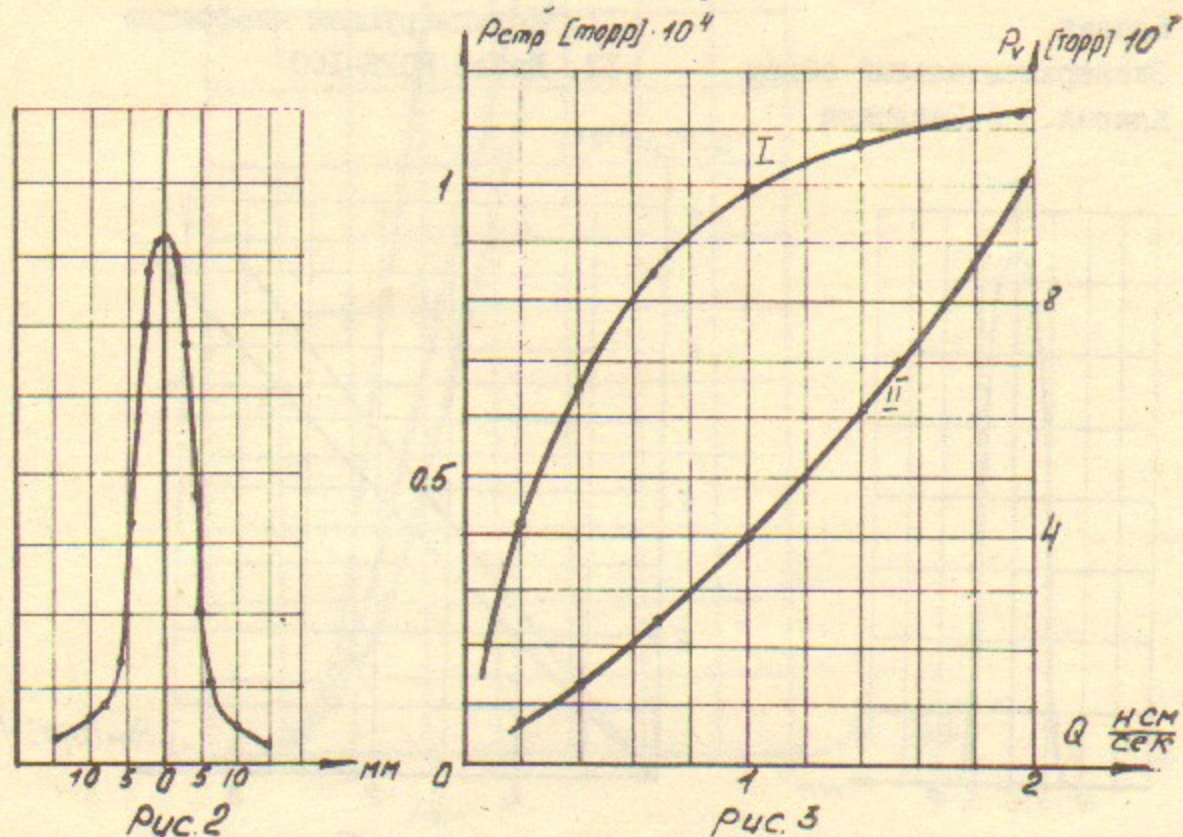
В заключение авторы выражают благодарность НИКОЛЕНКО Д.М. и ТРАХТЕНБЕРГУ Э.М. за полезные обсуждения.

Литература

1. Г.И.Будкер, А.П.Онучин, С.Г.Попов, Г.М.Тумайкин. Эксперименты с мишенью в электронном накопителе. Препринт ИФ, Новосибирск, 1967 г.
2. В.Л.Ауслендер, С.И.Мишнев, А.Н.Скринский. Расчетные параметры пучка в накопителе ВЭШ-2. Препринт ИФ, Новосибирск, 1965 г.
3. J. Deckers and J.B. Fenn *Rev. Sci. Instrum* 34, 96 [1963]
4. Gary R Parr and James W. Taylor *Rev. Sci. Instrum* 44, 1578 [1973]
5. В.Б. Юферов, Е.И. Скибенко, А.М. Ильченко, М.Ю. Бредихин, А.И. Маслов. ПТЭ, 1971, № 1, 183
6. T.R. Govers, R.L. Le Roy and J.M. Deckers, *Rarefied Gas Dynamics*, edited by L. Trilling and H.Y. Wachmann [Academic, New York, 1969] vol II, p 985.
7. R. Campagne, *Rarefied Gas Dynamics*, edited by J.H. De Leeuw [Academic, New York, 1966] vol II, p 279.



- | | |
|-------------------|-----------------------------|
| 1. Насос МЭРН-600 | 5. Клапан |
| 2. Клапан | 6. Экспериментальный лобъем |
| 3. Лампа ЛМ-2 | 7. Диафрагма. 8. Сопло |
| 4. Подвод газа | 9. Ловушка азотная |



Распределение интенсивности в водородной струе (Относительные единицы)

Давление в струе (I) и в объеме (II) в зависимости от расхода газа через сопло.

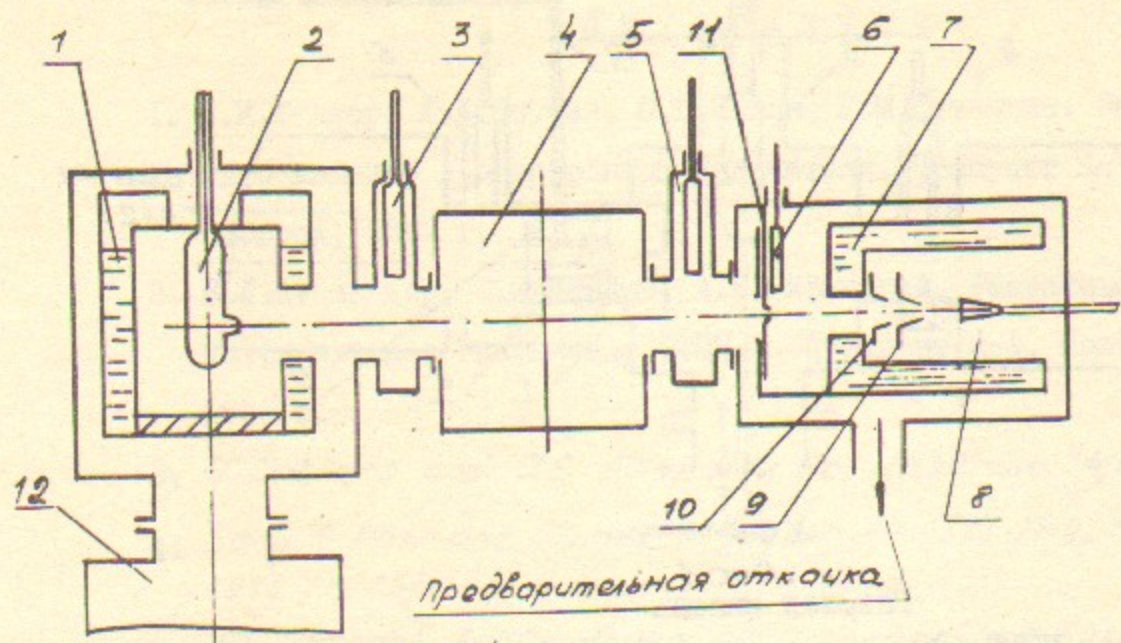


Рис 4

Газовая мишень с криогенной откачкой

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1. Криогенная ловушка | 7. Азотная ловушка. 8. Сопло. |
| 2. Измерительная лампа ЛМ-2 | 9,10 Отсекающие диафрагмы |
| 3. Клапан | 11. Коллимирующая диафрагма |
| 4. Экспериментальный объем | 12. Насос НОРД-100 |
| 5. Клапан. 6. Заслонка | |

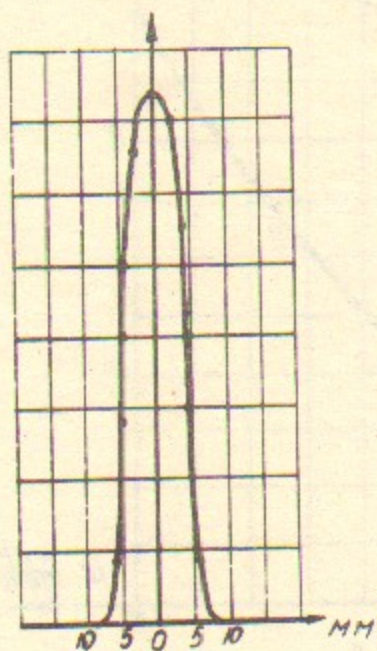


Рис 5

Распределение интенсивности в струе из паров H_2O

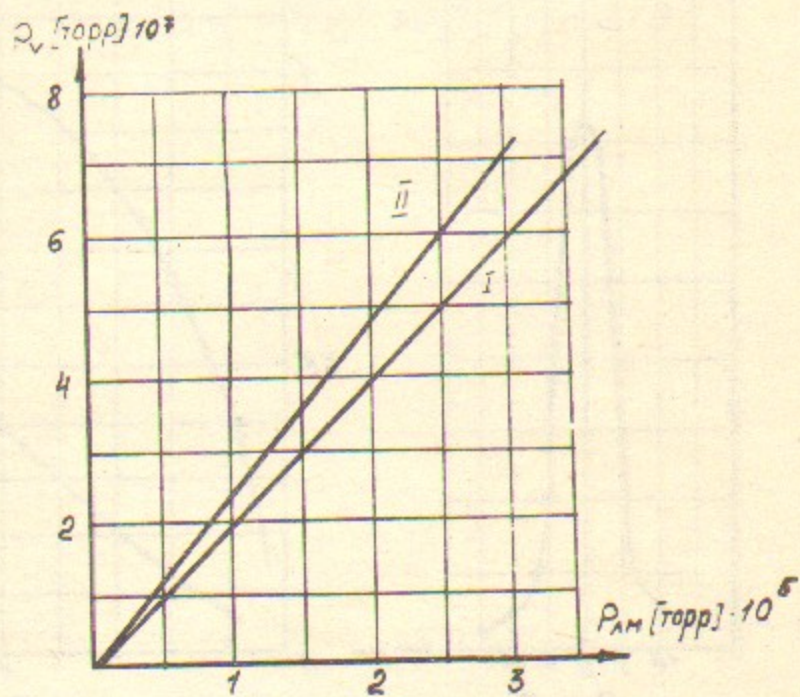


Рис 6

Зависимость давления в объеме от интенсивности
 I - пары H_2O
 II - углекислый газ CO_2

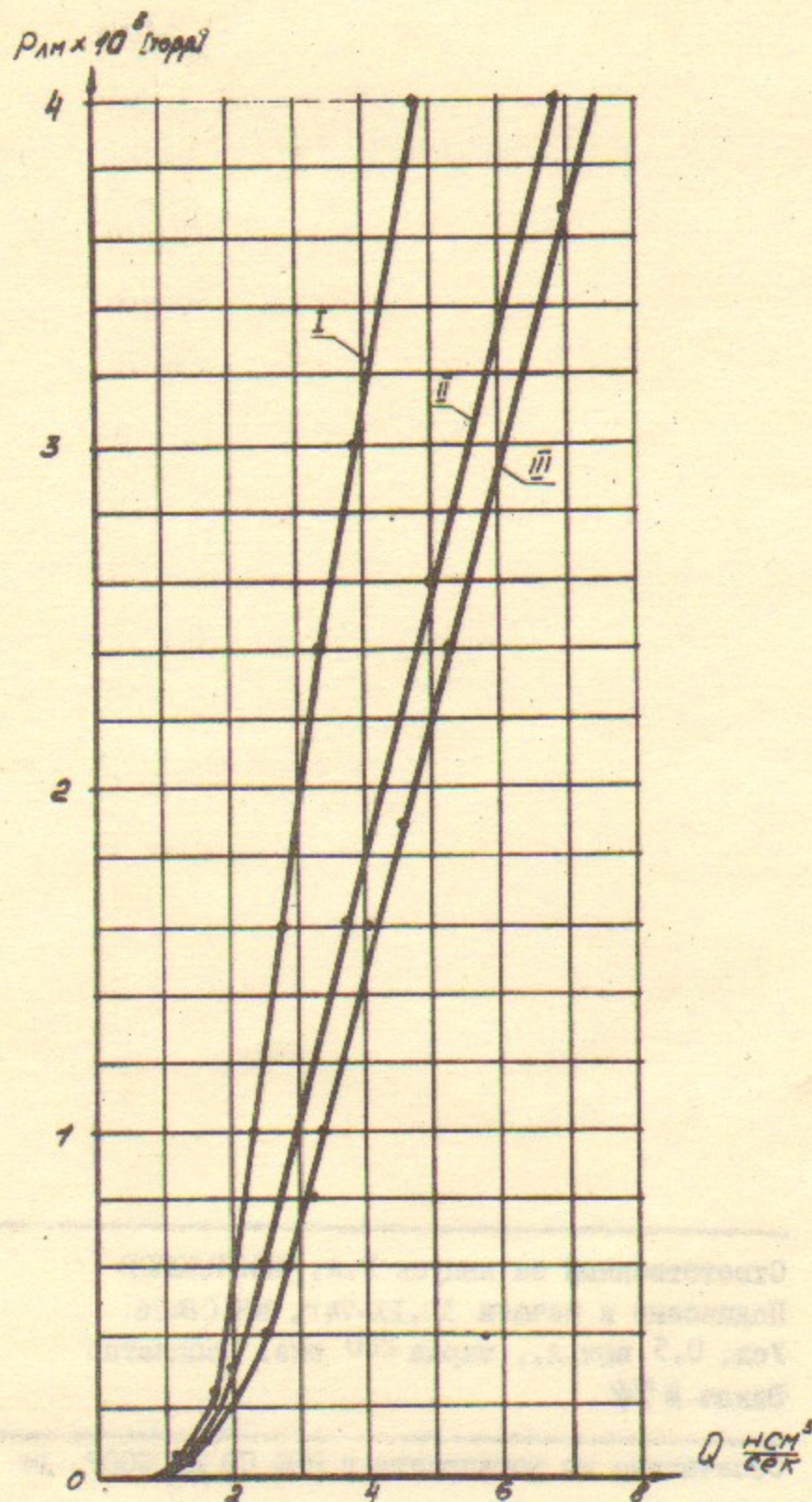
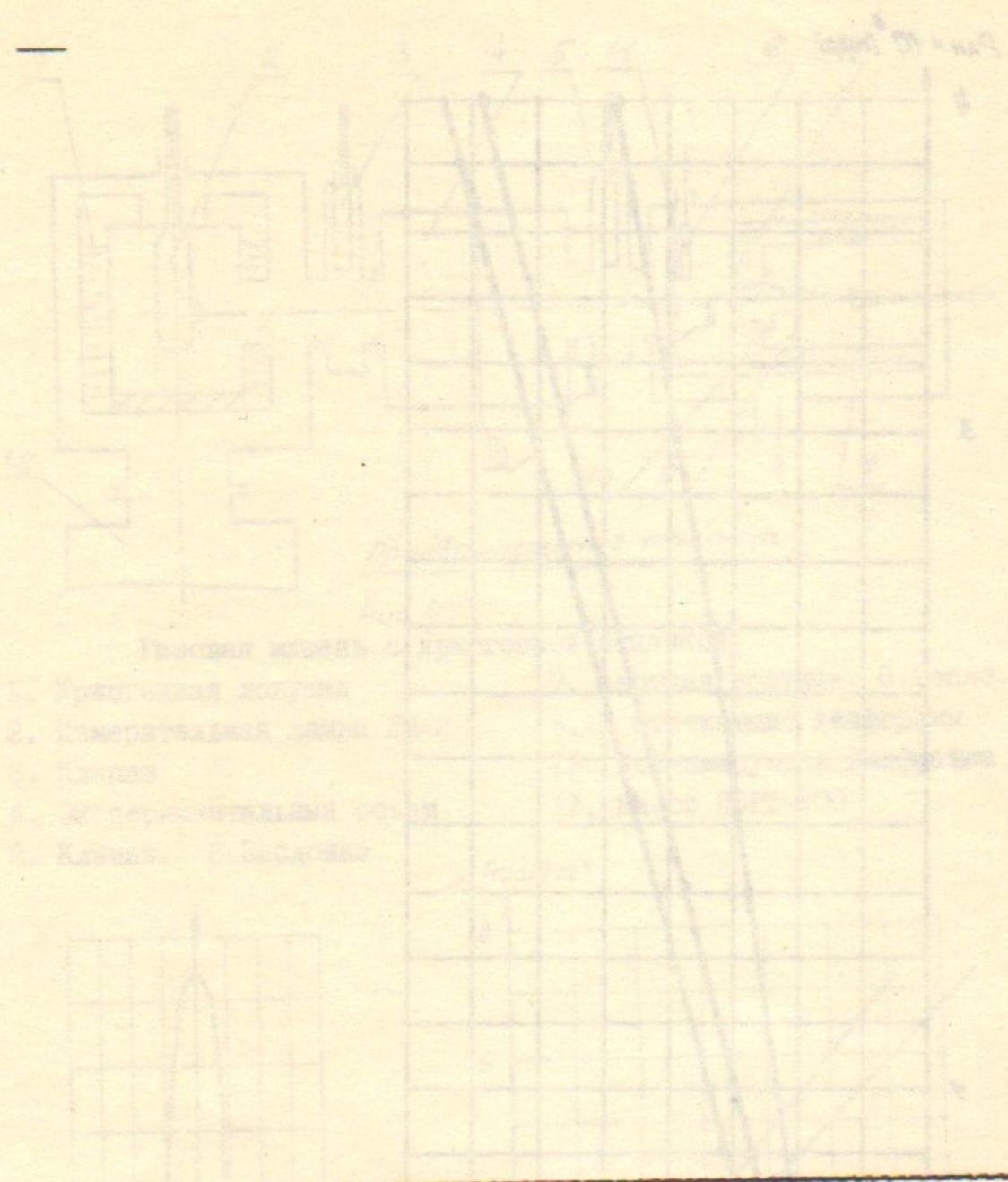


Рис 7

Давление струй в зависимости от расхода газа через сопло, измеренное на расстоянии 46 см от среза сопла лампой ЛМ-2 (Давление струй в центре объема $P_{струй} \approx 50$ Рлм)
 I - ацетилен C_2H_2 , II - углекислый газ CO_2 , III - аммиак



Ответственный за выпуск Г.А. СПИРИДОНОВ
Подписано к печати 30.IX-74г. МН 08476
Усл. 0,5 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно
Заказ № 74

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР, вт