



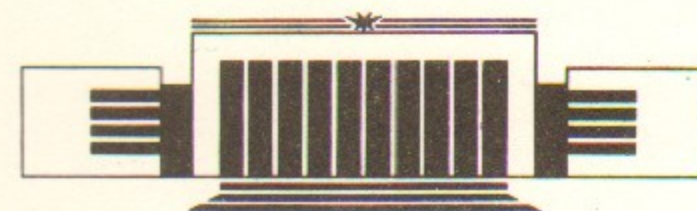
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Г.И. Будкера СО РАН

21

Д.В. Антипин, И.Н. Чуркин

КАЛИБРОВКА МНОГОКАНАЛЬНОГО
АНАЛИЗАТОРА
АТОМОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ

ИЯФ 94-36



НОВОСИБИРСК

1 Введение

На установке ПСП-2М ведутся эксперименты с горячей вращающейся плазмой. Одним из методов пассивной диагностики горячей плазмы является анализ энергетического спектра перезарядных атомов водорода, выходящих из рабочего объема установки [1].

Для этих целей и предназначен многоканальный анализатор перезарядных нейтралов (в дальнейшем МАПН). Целью данной работы являлась калибровка узлов МАПН и подготовка анализатора к работе в условиях реального эксперимента.

Для калибровки узлов анализатора использовался "Диагностический источник нейтральных атомов" (ДИНА) [4,5]

Общая блок-схема МАПН изображена на рис.1

Рабочие параметры МАПН

Количество каналов	9.
Диаметр каждого канала	5 мм.
Режим работы	импульсный.
Расстояние между центрами каналов	14 мм.
Длительность импульса	3 мс.
Диапазон анализируемых энергий	5-80 кэВ.
Тип анализатора энергий	электростатический.

2 Ионизационная камера

Ионизационная камера предназначена для ионизации быстрых атомов водорода, поступающих из области плазмы установки ПСП-2. Камера представляет собой тонкостенную металлическую коробку (16 × 200 × 400 мм).

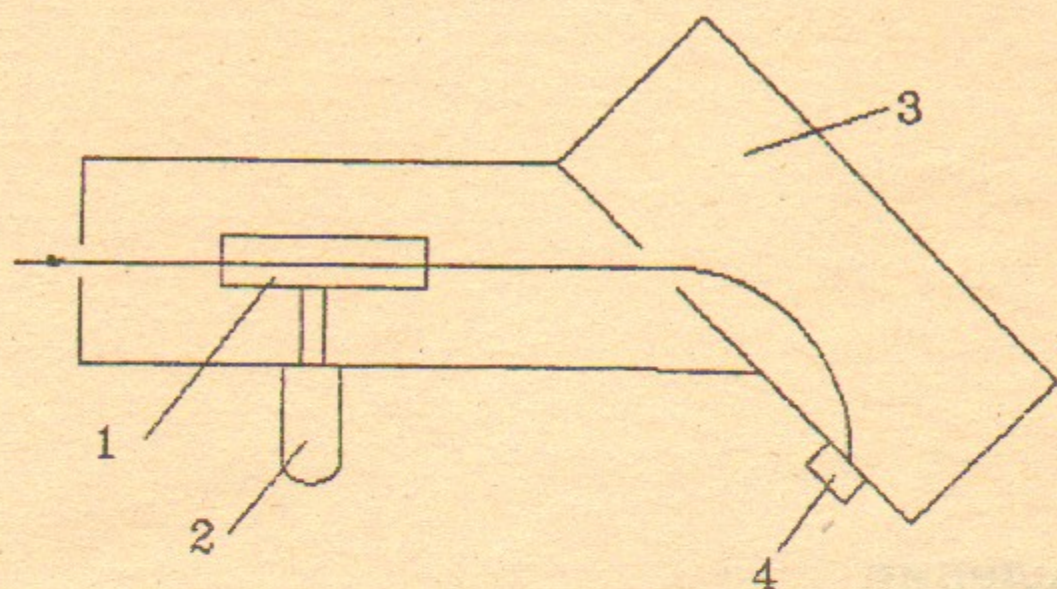


Рис. 1. Блок-схема анализатора: 1—ионизационная камера; 2—напускной клапан; 3—электростатический анализатор энергий; 4—детектор.

Газовой мишенью служит молекулярный водород, напускаемый импульсным газовым клапаном в рабочий объем камеры.

Основные газовые процессы в пространстве мишени при прохождении пучка H^0 можно выразить уравнением:

$$\frac{dn_i(x)}{dx} = n_0(x) \cdot n_m(x) \cdot G_i - n_0(x) \cdot n_i(x) \cdot G_r, \quad (1)$$

$0 \leq (x) \leq l_m$, где $l_m=40$ см—длина газовой мишени, $n_m(x)$ —плотность молекулярного водорода в мишени $n_0(x)$ —плотность потока быстрых нейтралов H^0 , $n_i(x)$ —плотность потока быстрых ионов H^+ , G_i , G_r —сечения ионизации и перезарядки.

В уравнении (1) не учтен процесс рассеяния H^0 и H^+ на молекулах мишени, но им можно пренебречь, так как при энергиях H^0 и H^+ больше 5 кэВ сечения ионизации и перезарядки много больше сечений рассеяния [2].

Газовая эффективность мишени ϵ :

$$\epsilon = \frac{n_i(l_m)}{N_0}; \quad \text{где } N_0 = n_0(x=0).$$

Для расчета величины ϵ на ЭВМ "Одренок" была создана программа, с помощью которой определялись значения ϵ в диапазоне 5—80 кэВ при различных толщинах газовой мишени $n_m \cdot l_m$ (рис.2).

Основной целью калибровки газовой мишени являлось определение величины $n_m \cdot l_m$.

На выходе газовой мишени $N_0 = n_0 + n_i$. Включая и выключая газовую мишень при подаче напряжения на электростатический анализатор, определяем ϵ по разности сигналов с прямопролетных эмиссионных датчиков:

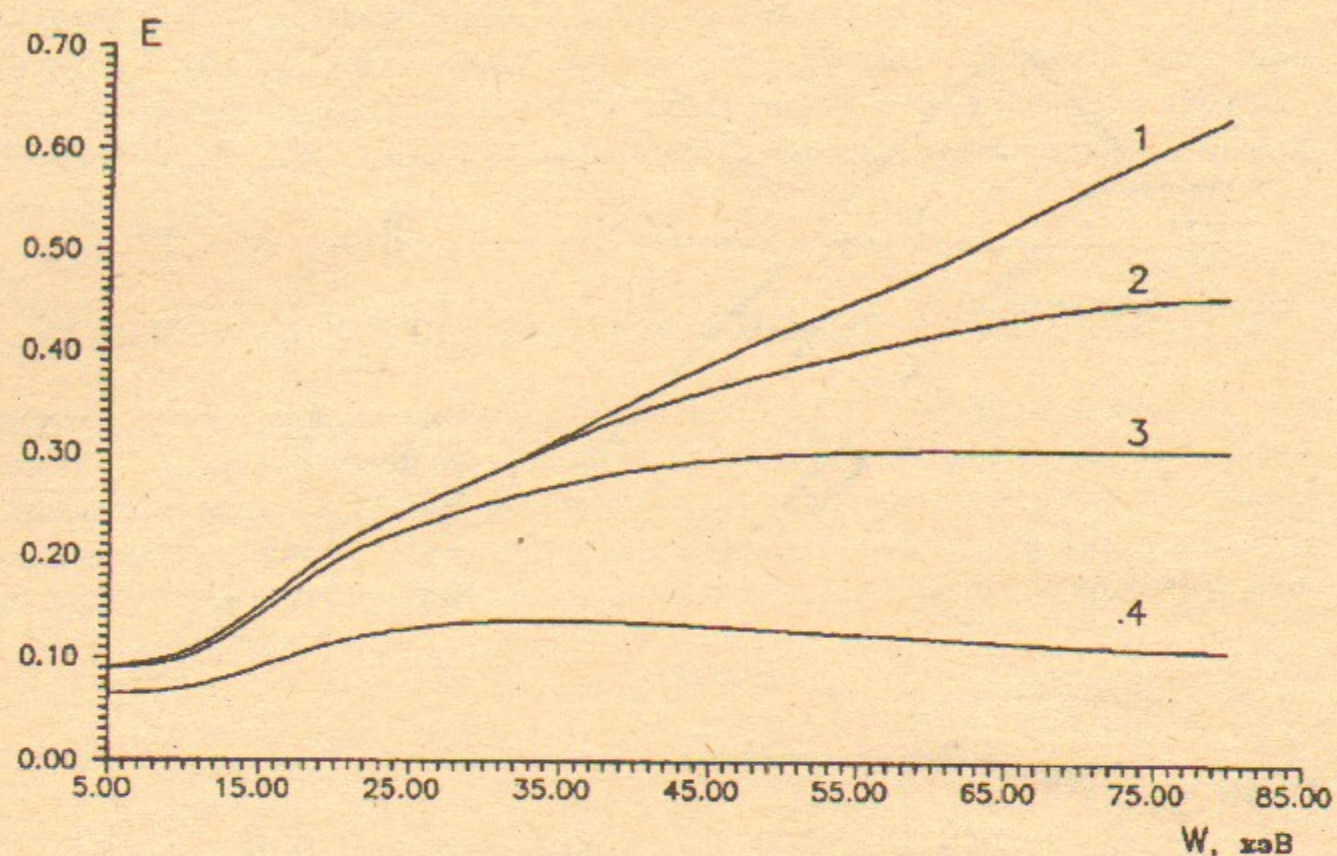


Рис. 2. Значения для кривых: 1— $4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$; 2— $0.8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$; 3— $0.4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$; 4— $0.1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

$$\epsilon = \frac{U(N_0) - U(n_0)}{U(N_0)}$$

Газовая толщина мишени:

$$n_m \cdot l_m = \frac{1}{G_i + G_r} \ln \left(1 + \frac{G_i + G_r}{G_i} \left(1 - \frac{U(n_0)}{U(N_0)} \right) \right)$$

Измерения проводились при энергии нейтралов $H^0=12$ кэВ; на электростатический анализатор подавалось напряжение 10 кВ; напуск газа в мишень производился из газовой системы, наполненной водородом под давлением 1 атм.; напряжение питания напускного клапана фиксировалось в нескольких точках и измерения проводились при различных временах задержки ($t_{\text{зад}}$ на рис.3).

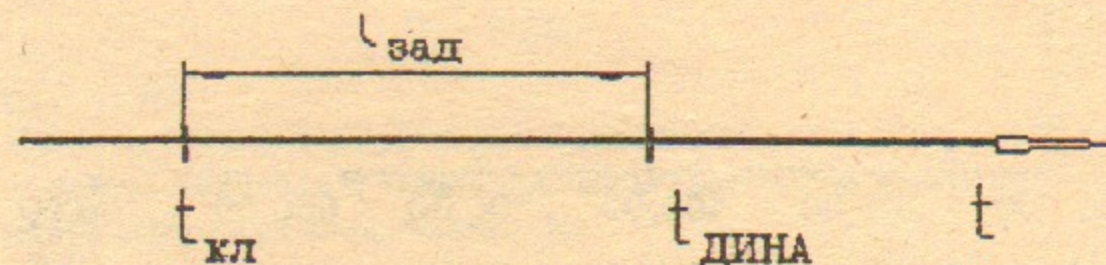


Рис. 3. $t_{\text{кл}}$ —включение напускного клапана; $t_{\text{ДИНА}}$ —запуск ДИНА.

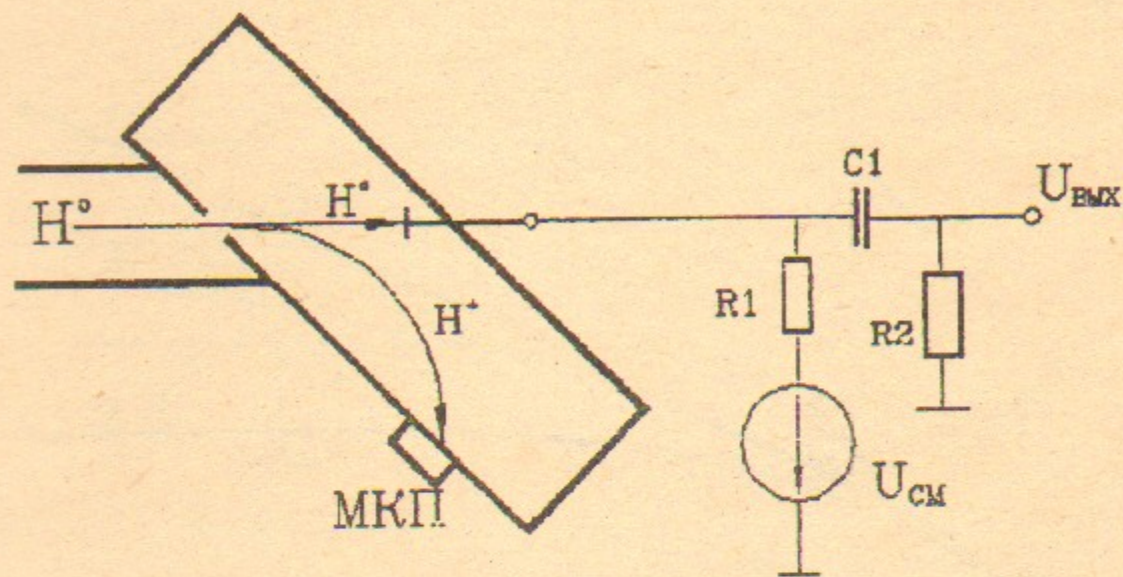


Рис. 4.

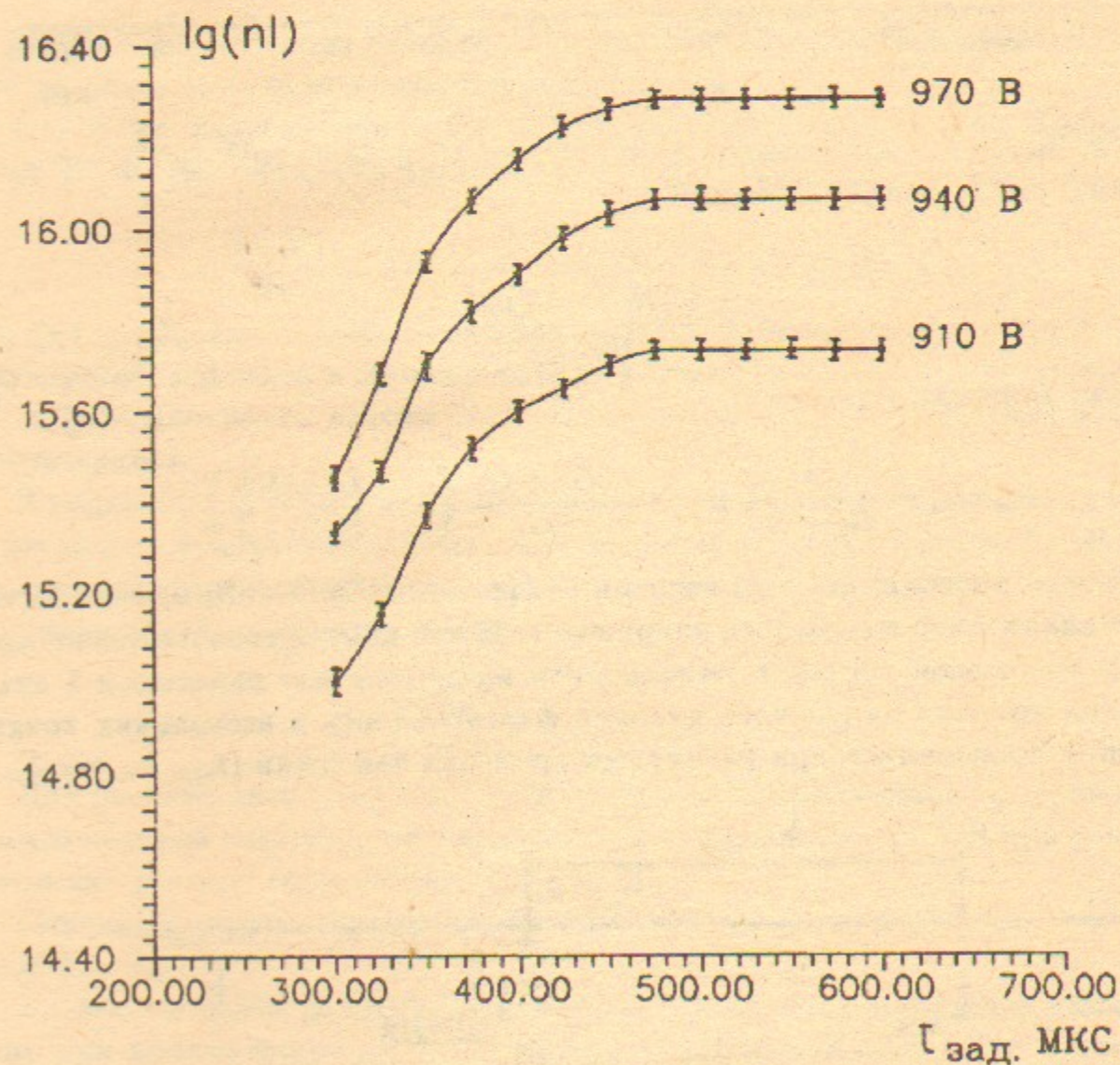


Рис. 5.

Методика и схема измерений показана на рис.4.

График зависимости представлен на рис.5. Видно, что при $t_{\text{зад}} \geq 480$ мкс кривые выходят на "полочку" стабильного значения $n \cdot l$, что говорит о полном протекании газа в мишень и его распределении по всему рабочему объему камеры.

3 Электростатический анализатор энергий

Образовавшиеся в ионизационной камере ионы H^+ поступают в электростатический анализатор энергий, который схематично представляет собой две параллельные металлические пластины с однородным электрическим полем между ними (см. рис.6). Пластина 1 изолирована от корпуса анализатора и имеет вакуумный ввод для подключения источника высоковольтного напряжения. Пластина 2 заземлена.

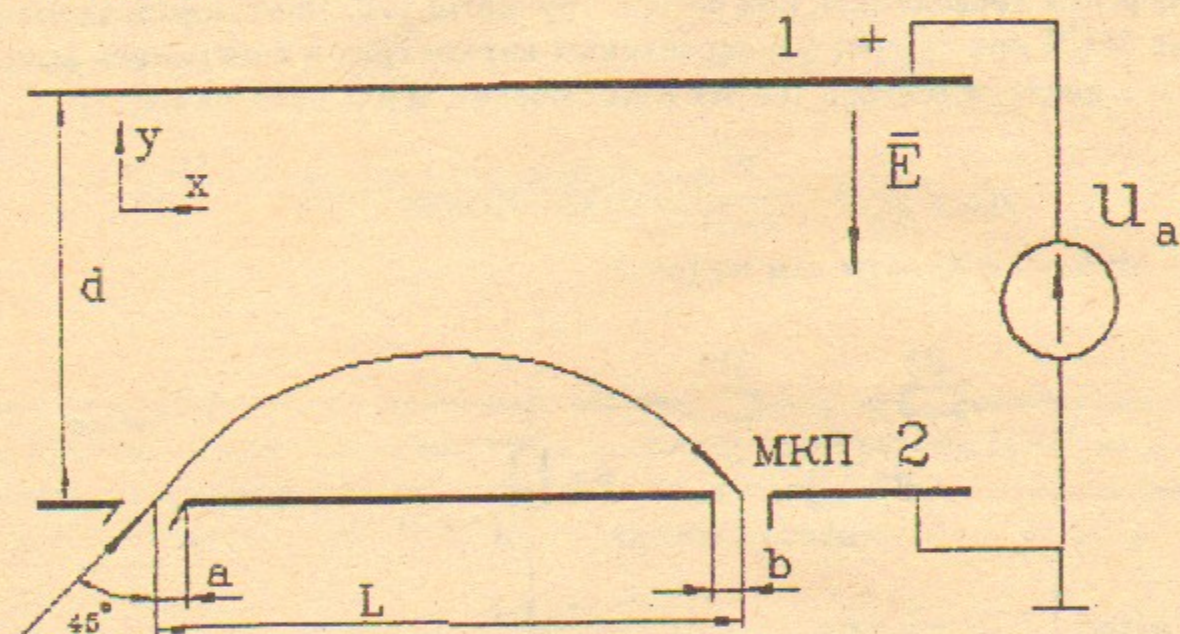


Рис. 6. Электростатический анализатор энергий: $L=20.2$ см; $a=0.2$ см; $b=0.4$ см; $d=6.2$ см.

Соотношение между энергией анализируемых частиц и напряжением на анализаторе имеет простой вид [8]:

$$W = 1.68U, \quad (2)$$

где W (кэВ), U (кВ).

Соотношение (2) следует из размеров и геометрии анализатора и было подтверждено в ходе калибровки с точностью до погрешности измерения высоковольтного напряжения на анализаторе (5%).

Угол влета частиц в анализатор 45° —при таком угле достигается фокусировка первого порядка [8].

Дисперсия (D) и относительная дисперсия (δ) анализатора [8]:

$$D = L = 20.2 \text{ см}; \quad \delta = \frac{1}{2\alpha^2}, \text{ где } \alpha \leq 0.005 \text{ rad}.$$

Относительный разброс по энергиям обусловлен геометрическими размерами анализатора:

$$\frac{\Delta E}{E} = 0.035.$$

4 Детектор частиц

В качестве детектора частиц на анализаторе использован вторично-электронный умножитель на основе МКП. В ходе калибровки был измерен относительный коэффициент усиления МКП-детектора и сделана оценка абсолютного коэффициента усиления.

Измерения проводились при энергии пучка 10 кэВ. Изменялось напряжение питания МКП при прочих фиксированных параметрах и измерялись выходные сигналы с анода детектора (схема подключения МКП дана на рис.7)

$$\frac{K}{K_0} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}(U_{\text{ном}})}; \text{ где } U_{\text{ном}} = 810 \text{ В}.$$

График этой зависимости дан на рис.8.

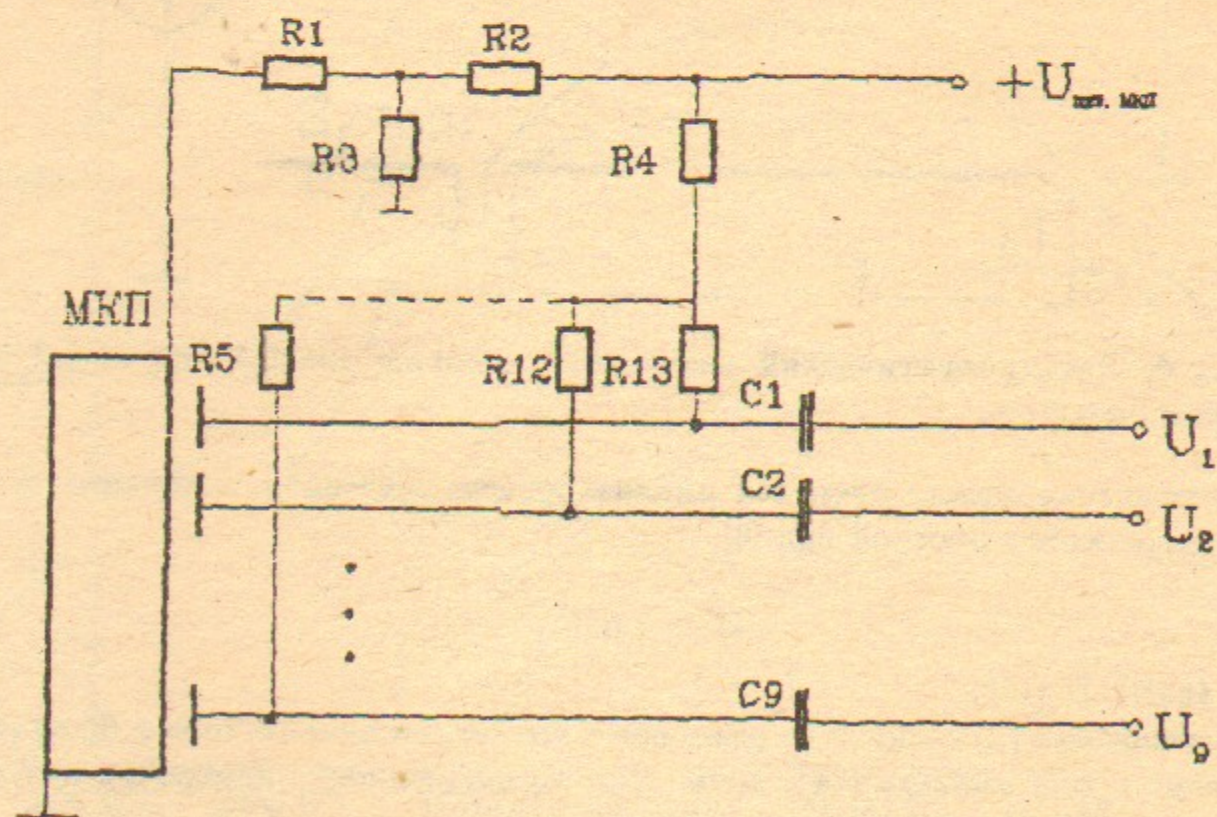


Рис. 7. Принципиальная схема МКП-детектора.

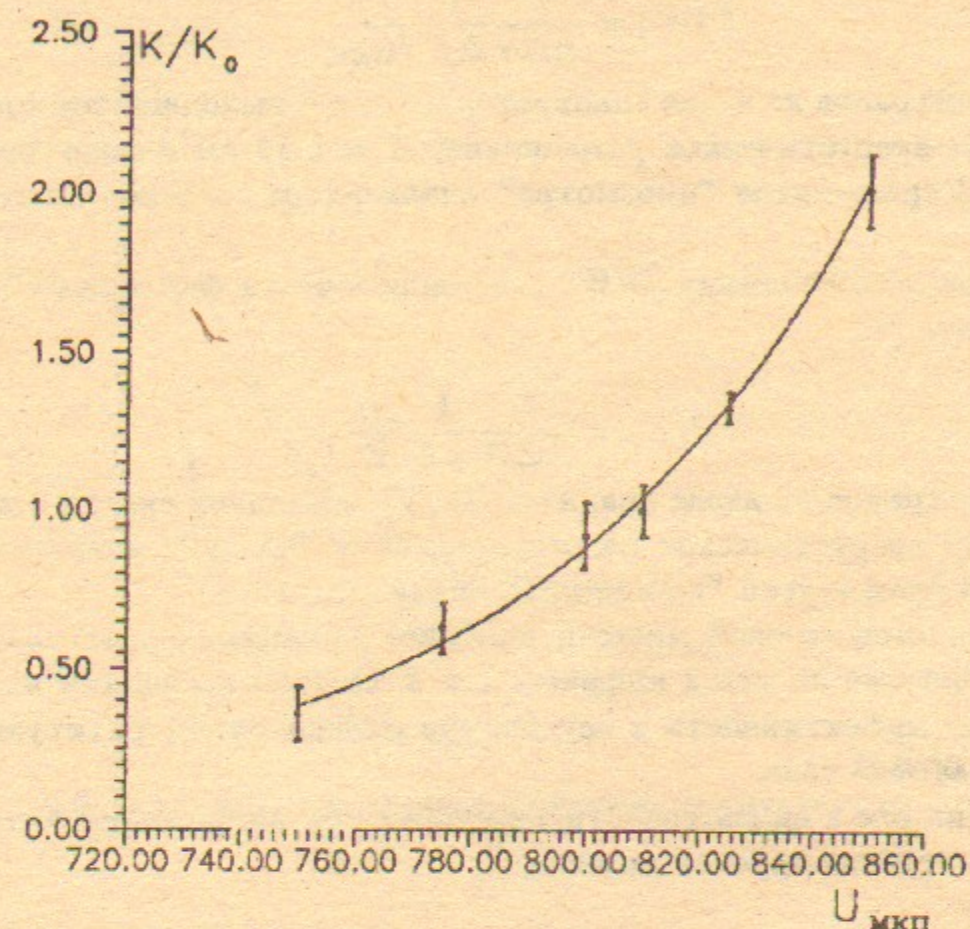


Рис. 8.

Оценим коэффициент усиления МКП при $U_{\text{ном}}$. При падении пучка протонов с энергией 10 кэВ под углом 45° к торцевой поверхности МКП из данного материала (свинцовое стекло) коэффициент вторичной электронной эмиссии порядка 0.6 (электрон/ион) [3,7]. Коэффициент усиления МКП не менее:

$$K_{\text{МКП}} = \frac{1.5 \cdot 10^{-5} \text{ А}}{0.6 \cdot 3 \cdot 10^{-9} \text{ А}} = 8 \cdot 10^3.$$

Величина тока ионов на входе МКП оценивалась по изменению сигнала с прямопролетных ламелей при включении/выключении анализатора.

5 Заключение

В результате данной работы планировалось получить общую зависимость между выходным током МКП-детектора и током быстрых нейтралов H^0 на входе анализатора в диапазоне энергий 5–80 кэВ. С использованием ДИНА были проведены измерения при энергиях нейтралов до 14 кэВ.

Были определены режимы работы газовой мишени и коэффициент усиления МКП-детектора по входному току. Полученные данные позволяют оценить коэффициент преобразования анализатором входного тока нейтральных атомов водорода.

$$D(W) = \frac{1}{A\Delta\gamma} \frac{1}{\Delta E} \frac{N_0}{I_{\text{МКП}}},$$

где N_0 —ток нейтралов на входе анализатора; $I_{\text{МКП}}$ —выходной ток с детектора; $\Delta E = 0.035E$ —энергетическое разрешение; $A = 0.16 \text{ см}^2$ —апертура канала; $\Delta\gamma = 3.1E - 4$ срад.—угол “просмотра” анализатора (обусловлен геометрией канала).

Можно сравнить величину $D(W)$ с калибровочным фактором $C(E)$, полученным в работе [6].

$$C(E) = \frac{1}{A\Delta\Omega} \frac{1}{\Delta E} \frac{gI_0}{V},$$

где I_0 —ток нейтралов на входе анализатора; V —выходной сигнал с детектора; $\Delta E = 0.038E$ —энергетическое разрешение; $A = 0.5 \text{ см}^2$ —апертура канала; $\Delta\Omega = 1.9E - 4$ срад.—угол “просмотра” анализатора.

Из всех режимов газовой мишени наиболее удобными представляются режимы, обозначенные на рис.2 цифрами 1 и 4. Однако последний из них дает малую газовую эффективность и неустойчив относительно флуктуаций количества напускаемого газа.

Кривая 1 (на рис.5 ей соответствует кривая при напряжении питания клапана 970 В) аппроксимируется прямой:

$$\epsilon = 0.09 + 0.0053 \cdot W.$$

Тогда величина $D(W)$:

$$D = 1/(\epsilon \cdot K_{\text{МКП}}) = 1/(720 + 42 W), \quad K_{\text{МКП}} \text{ при } UK_{\text{ном}}.$$

Данная оценка может быть использована с точностью не лучше 30%. При падении протонов на МКП-пластину под углом 45° коэффициент вторичной электронной эмиссии быстро растет от 0.14 электрон/ион (при 300 эВ) до 0.6 э/ион (при 2 кэВ), оставаясь затем постоянным вплоть до 60 кэВ [3,7,9].

Таким образом,

$$N_0 = A\Delta\gamma\Delta E D(W) I_{\text{МКП}},$$

где $I_{\text{МКП}}$ —выходной ток детектора, N_0 —входной ток H^0 .

Характер кривой $D(W)$ на рис.9 соответствует характеру калибровочной зависимости для подобного анализатора в работе [6].

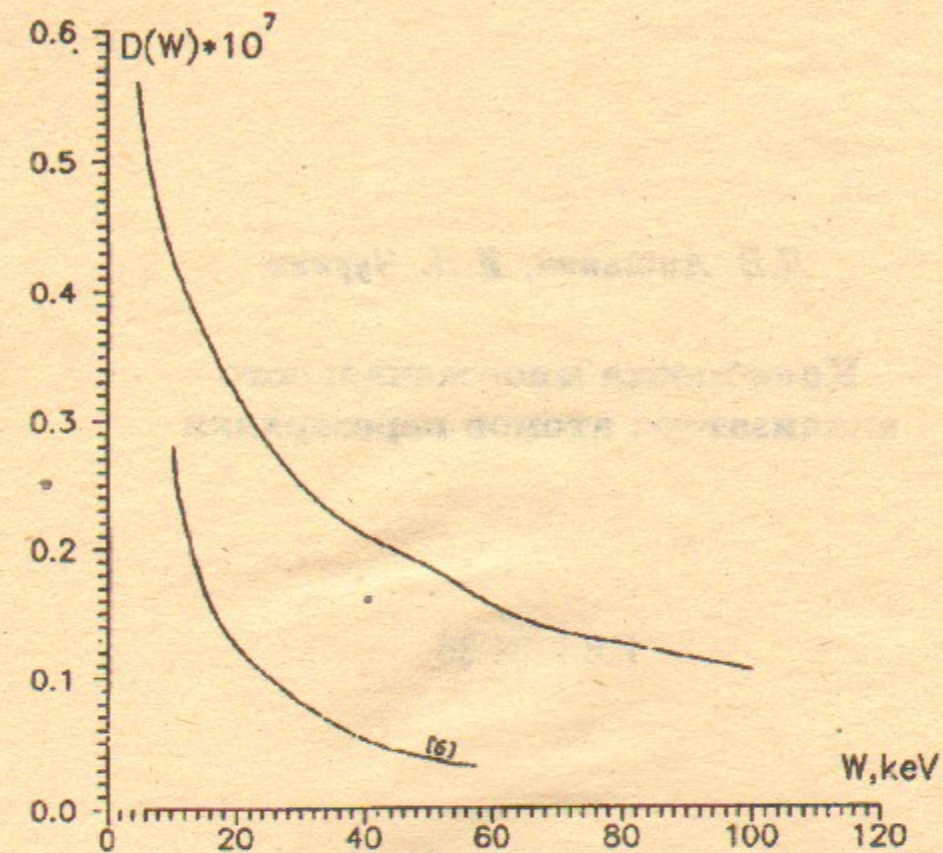


Рис. 9.

Литература

1. Г.Ф.Абдрашитов, А.В.Белобородов, В.И.Волосов, В.В.Кубарев, Ю.С.Попов, Ю.Н.Юдин. Горячая вращающаяся плазма (эксперимент ПСП-2). Препринт 89-109, ИЯФ СОРАН.
2. C.F.Barnett, J.A.Ray, E.Ricci, M.I.Wilker, E.W.McDaniel, E.W.Thomas, H.B.Gilbodi. Physics division atomic data for controlled fusion research. Oak Ridge National Laboratory, operated by Union Carbide Corporation, 1977.
3. B.Tatry, J.M.Bosqued, H.Reme. Nuclear Instruments and methods, 1969, v.69, p.254.
4. Г.И.Димов, Г.В.Росляков. Вопросы атомной науки и техники, 1984, вып.3, стр.3.
5. Г.И.Димов, Г.В.Росляков, В.Я.Савкин. ПТЭ, 1977, N4, с.29.
6. W.E.Neuzen, Jr. W.C.Turner, W.F.Cummins. Rev. of Scientific Instruments, 1979, v.50, N10, p.1227.
7. C.N.Burrouz, A.J.Lieber, V.T.Zaviantseff. Rev. of Scientific Instruments, 1967, v.38, p.1477.
8. В.П.Афанасьев, С.Я.Явор. Электростатические энергоанализаторы для пучков заряженных частиц. М.: Наука, 1978.
9. В.Х.Литвинштейн. Диагностика плазмы. Сборник статей, вып.5 М.: Энергоатомиздат, 1986, стр.165.