

С 3458

A-662

29/xii-66

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9-2922



А.В. Андросов, Э. Колтаи, Г.М. Осетинский,
Д. Сабо, И.А. Чепурченко

КОРРЕКЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА
УСКОРЕННЫХ ИОНОВ
МЕТОДОМ АСИММЕТРИЗАЦИИ КВАДРУПОЛЕЙ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1966

9 -2922

А.В. Андросов, Э. Колтаи, Г.М. Осетинский,
Д. Сабо, И.А. Чепурченко

КОРРЕКЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА
УСКОРЕННЫХ ИОНОВ
МЕТОДОМ АСИММЕТРИЗАЦИИ КВАДРУПОЛЕЙ

4672/1 чр.



В в е д е н и е

При эксплуатации электростатического генератора (ЭГ) типа Ван-де-Граафа иногда наблюдаются отклонения пучка ускоренных ионов от оптической оси, которые вызваны нерегулярными изменениями в работе различных элементов генератора. Эти смещения пучка иногда имеют место при изменении режима работы ионного источника системы фокусировки пучка на входе в ускорительную трубку. Иногда эти смещения появляются при увеличении напряжения генератора из-за плохой юстировки трубки при ее изготовлении. Указанные недостатки в работе ЭГ особенно ощутимы в тех случаях, когда проведение эксперимента связано с использованием коллиматоров малых диаметров (1–2 мм), расположенных на больших расстояниях (8–10 метров) за магнитным анализатором. Для устранения указанных смещений необходимо применение корректирующей системы, создающей одинаковые условия входа для пучка при попадании в магнитный анализатор независимо от входных условий ускоренного пучка.

В различных лабораториях эти проблемы решались различными методами^{/1-2/}. Большой интерес представляет корректор лаборатории тандем-генератора в Копенгагене^{/3/}, где для корректировки пучка используется асимметризованный магнитный квадрупольный дублет. Эта система обладает той особенностью, что, помимо коррекции положения пучка, с ее помощью можно произвести формирование ускоренного пучка, что совместно с фокусирующей способностью магнитного анализатора приводит к повышению интенсивности пучка, проходящего через магнитный анализатор.

В отличие от предыдущих работ на электростатическом генераторе Объединенного института ядерных исследований разработан способ коррекции пучка с использованием асимметризованных квадрупольных электростатических линз. Выбор электростатических квадрупольных дублетов для указанной выше цели связан с простотой их изготовления, удобством размещения и сравнительно несложной схемой питания.

2. П р и н ц и п п о с т р о е н и я

Описываемый корректор пучка представляет собой асимметризованный квадрупольный дублет, расположенный на участке ионпровода между ускорительной трубкой и

магнитным анализатором ЭГ-5-1Н. Схема расположения корректора представлена нами на рис. 1. При проектировании нами использовались результаты теоретических и экспериментальных исследований электронно-оптических свойств квадрупольных линз с асимметрическим полем, приведенные в работе Колтаи и Сабо^{4,5/}. В этих работах показано, что асимметризация поля линз обеспечивает перемещение пучка в любую точку плоскости изображения, причем расположение изображения вдоль оптической оси пучка не изменяется.

Проследим траекторию движения пучка (рис. 2.). Пучок ионов, пройдя ускорительную трубку, испытывает фокусировку квадрупольным дублетом L_1, L_2 . При этом потенциалы электродов квадрупольного дублета подбираются таким образом, чтобы первое (на рисунке плоскость "+ -") астигматическое изображение ускоренного пучка U_1 попадало на входную щель, установленную перед магнитным анализатором. Второе астигматическое изображение U_2 (на рисунке плоскость "- +") попадает на выходную щель так, как это показано на рис. 2. Так как секторное магнитное поле магнитного анализатора отображает в радиальной плоскости предметную щель на плоскость выходной щели магнитного анализатора, результирующее действие сложной системы дает двойную фокусировку и мы получаем астигматическое изображение. Это и приводит, как указывалось выше, к увеличению светосилы магнитного анализатора, так как, с одной стороны, квадрупольный дублет переводит через предметную щель большую часть пучка (первоначально имеющего круговую форму) в форму узкой линии, добавляя отсутствующее в аксиальной плоскости магнита фокусирующее действие, предотвращая тем самым линейные расширения пучка в аксиальном направлении. Если пучок, выходящий из ускорительной трубки, отклоняется от оптической оси, то с помощью асимметризации двух квадрупольей можно обеспечить необходимое положение и направление пучка по отношению к входным щелям магнитного анализатора. На рис. 3а, 3б представлены распределения потенциала поля квадрупольной линзы для случая, когда асимметризация равна нулю ($\delta = 0$) и когда $\delta = 40\%$. Распределение получено с помощью электролитической ванны и в пределах $\pm 3\%$ до значений $\delta = 50\%$ имеет вид (1) (Приложение 1).

3. Основные элементы конструкции

На рис. 4а и 4б приведен общий вид конструкции квадрупольного дублета. Он состоит из 2 отдельных квадрупольных линз, находящихся на расстоянии 100 мм друг от друга. Длина каждой линзы - 550 мм. Апертура линзы $2a = 30$ мм. Для простоты изготовления при построении используются электроды цилиндрической формы. Для радиуса цилиндра электрода выполняется известное условие $\frac{R}{a} = 115$ /6-8/ Указанный дублет размещен внутри трубы ионопровода. Напряжение к электродам подается через проходные тефлоновые изоляторы. Перед входом в систему линз установлена диафрагма,

на которую подается отрицательный потенциал. Сам дублет установлен на кольцевом кронштейне, который, в свою очередь, крепится на кинематическом механизме. С помощью этого механизма осуществляется перемещение дублета в любом направлении в плоскости, перпендикулярной пучку, на ± 30 мм. Этот же механизм обеспечивает наклон всего дублета относительно оси в пределах $\pm 3^\circ$. Такая возможность перемещения корректора необходима для юстировки его по отношению к оптической оси системы. Последнее особенно необходимо, когда смещение пучка превышает значения, при которых корректор может направить пучок вдоль оптической оси. Юстировка осуществляется следующим образом. При произвольно выбранной энергии и выключенном питании на электродах корректора осуществляем фокусировку пучка на входные щели магнитного анализатора. Включаем напряжение на электроды дублета при асимметризации, равной нулю. Перемещением корректора в плоскости, перпендикулярной пучку, и наклоном его добиваемся того, чтобы при повышении потенциала квадруполь пучок не смешался относительно щелей. Как показал опыт эксплуатации, необходимость такого рода юстировки иногда возникает при смене ионного источника, фокусирующей линзы и т.д.

4. Расчет корректора

Расчет корректора произведен в предположении, что траектории ионов в пучке частиц, попадающих на вход квадрупольного дублета, параллельны между собой. В этом случае расчетные значения будут максимальными по сравнению со случаем сходящегося пучка.

Выходными параметрами расчета являются:

1. Длины электродов линз дублета L_1 и L_2 .
2. Фокусное расстояние в плоскостях " $+ -$ " и " $- +$ " $-U_{+-}$ и U_{-+} (см. рис.1).
3. Расстояние между электродами дублета d .
4. Апертура линзы $2a$.

Конечным этапом расчета является получение значений потенциалов Φ_1 и Φ_2 для обеих линз дублета, а также возможное смещение пучка Δ и его отклонение α на входе в линзу, которое может быть скорректировано линзой при асимметрии δ_1 и δ_2 .

Для определения указанных величин необходимо знание оптических сил линз β_1 и β_2 , при которых получается изображение на входных и на выходных щелях магнитного анализатора. Определение этих величин осуществляется по формулам (6а) и (6б) Приложения 1. (В данном случае и в последующем изложении формулы расчета вынесены в Приложение 1). Решение этих уравнений относительно β_1 и β_2 получается двумя последовательными операциями.

1. Определяем β_1 и β_2 в приближении тонкой линзы. Расчет производится по уравнениям (9а) и (9б). Для параметров нашего корректора эти величины составляют:

$$\beta_1 = 1,276 \text{ м}^{-1};$$

$$\beta_2 = 1,247 \text{ м}^{-1}.$$

2. Строим трехмерный график $U_{+-} = f_1(\beta_1, \beta_2)$, $U_{-+} = f_2(\beta_1, \beta_2)$ (см. рис. 5), показывающий зависимость фокальных расстояний U_{+-} (входная шель) и U_{-+} (выходная шель) от параметров β_1 и β_2 . Построения ведутся по формулам (6а) и (6б). Расчет производится в окрестности значений β_1 и β_2 , полученных методом тонких линз.

3. Полученные таким образом поверхности пересекаем горизонтальными плоскостями:

1) график (5а) при значениях, соответствующих фокусному расстоянию до входных шелей $U_{+-} = 2200 \text{ мм}$;

2) график (5б) при значениях $U_{-+} = 4877 \text{ мм}$.

Полученные линии пересечения проектируем на плоскость β_1, β_2 обоих графиков. Как видно из рис. 5а и 5б, данным значениям U_{+-} и U_{-+} соответствует бесчисленное число пар β_1, β_2 . Из этого числа нас интересуют только те значения β_1, β_2 , которые одинаковы для обоих графиков, ибо только в этом случае при данной силе линз β_1, β_2 мы получим изображения на расстоянии U_{+-} и U_{-+} . Эти значения β_1 и β_2 соответствуют на графике точке пересечения спроектированных линий обоих графиков рис. (5а) и (5б). Указанная операция представлена на графике рис. (5б). Здесь

$$\beta_1 = 1,142 \text{ м}^{-1};$$

$$\beta_2 = 1,175 \text{ м}^{-1}.$$

Последнее значение несколько меньше значений, полученных методом тонких линз.

4. Пользуясь уравнением (2а) и подставляя в него найденные значения β_1 и β_2 , определяем напряжения $\Phi_{1,1}$ и $\Phi_{1,2}$ для первой и второй линз дублета.

При введении асимметризации до 50% (выбор максимального $\delta\%$ связан с тем, что по этому значению распределение потенциала хорошо описывается уравнением (1) Приложения). Это значение потенциала принимает вид

$$V_{1\text{макс.}} = (1 + 0,5) \Phi_{1,1} \quad ,$$

$$V_{2\text{макс.}} = (1 + 0,5) \Phi_{1,2} \quad .$$

Численные значения полученных величин представлены в табл. 1.

5. Возможные смещения пучка Δ и отклонение его a на входе в линзу, которые могут быть скорректированы линзой (т.е. смещение и отклонение от оси Z на выходе равны нулю), при асимметризации δ_1 и δ_2 определяются решением уравнения (3) и (4). Для решения его необходимо знание величины смещения в каждой линзе при различных парах значений δ_1 и δ_2 в плоскостях "+" - "-" и "-" - "+" (см. рис. 2). Эти значения определяются по формулам (8а) и (8б). Результаты расчета представлены

графически на рис. 6 и 7. Как видно из рисунков, при введении асимметризации как первой, так и второй линзы можно увеличить отклоняющее действие корректора.

Весьма важно отметить тот факт, что коррекция смещения может быть осуществлена при ряде пар значений δ_1 и δ_2 . Вместе с тем, как это видно из рис. 6, каждой паре значений δ_1 и δ_2 будут соответствовать различные значения угла наклона пучка на входе в линзу. Это значит, что коррекции положения и направления пучка независимы друг от друга и мы всегда подбором параметров δ_1 и δ_2 для обеих плоскостей (" $+$ " и " $-$ " и " $-$ " и " $+$ ") можем в любом практически интересном случае направить пучок вдоль оси Z .

Результаты расчета представлены в табл. 1.

5. Электрическая схема питания квадруполей

Электрическая схема подключения дублета представлена на рис. 8. Она состоит из четырех стандартных выпрямителей типа "Орех", с помощью которых напряжение регулируется до 5 кв. Подача напряжения одной и той же величины, но различной полярности на электроды квадрупольных линз осуществляется от двух выпрямителей, управляемых от одного вариака, устанавливаемого в пульте управления. Асимметрия напряжения (δ) создается потенциометрами, установленными на одной оси. Они подключаются так, чтобы при повороте их на электроды подавались напряжения различного знака. При осуществлении этой конструкции желательно использование потенциометров с плавной регулировкой сопротивления. Из-за их отсутствия нами построен потенциометр с использованием 22 сопротивлений типа КЛВ номинала 80 ком. Управление потенциометрами осуществляется от отдельного пульта управления, смонтированного в виде приставки к имеющемуся пулту управления ЭГ.5. Величины напряжений на отдельных электродах дублета, равно как величины вводимой асимметрии, контролируются по вольтметрам, установленным на пульте управления.

6. Шелевой прибор

Конструкция шелевого прибора представлена на рис. 9. Он состоит из двух пар взаимно перпендикулярных, изолированных друг от друга щелей. Конструкция предоставляет возможность изменения ширины промежутка пары щелей в пределах 0,1 - 10 мм относительно оси ионопровода. Минимальная ширина щелевых промежутков устанавливается экспериментально в соответствии с необходимостью получения достаточной интенсивности пучка частиц.

В нашем случае для щелей, расположенных в плоскости, перпендикулярной камере магнита, эта ширина $d_1 = 3,5$ мм. Для щелей, расположенных вдоль камеры магнитного

Т а б л и ц а 1

Основные данные расчета

Длина отдельных электродов Общая длина	L = 550 мм L _d = 2L + d = 1200 мм			
	плоскость (+ -)		плоскость (- +)	
Номер квадрупольей	1	2	1	2
Расстояние изображения квадрупольного дублета (расстояние от выходного края линзы до шелей)	U ₊₋ = 2200 мм		U ₋₊ = 4877,5 мм	
Отклонение, которое может быть скорректировано	$\alpha_1 = 8'$	$\alpha_2 = -5'$	$\alpha_1 = -9'$	$\alpha_2 = 11'$
	$\alpha_{1+2} = +13'$		$\alpha_{1+2} = +20'$	
Смещение, которое может быть скорректировано	$\Delta_1 = 0,6$ мм	$\Delta_2 = -1,88$ мм	$\Delta_1 = -0,65$ мм	$\Delta_2 = 2,2$ мм
	$\Delta_{1+2} = +2,48$ мм		$\Delta_{1+2} = 2,85$ мм	
Напряжение электродов $\delta = 0$ и $\delta = 50\%$ и энергии пучка 5 Мэв	$\Phi_{1,1} = 1,47$ кв $\Phi_{1,1\text{макс.}} = 2,20$ кв		$\Phi_{1,2} = 1,55$ кв $\Phi_{1,2\text{макс.}} = 2,33$ кв	

анализатора, $d_2 = 10$ мм. В такой геометрии без больших затруднений через камеру магнитного анализатора проводится пучок ионов интенсивностью 25–30 мка. Индикация вывода пучка на пластины щели осуществляется по микроамперметрам М-24, подключенным к каждой пластине щелевых приборов. Указанные приборы (по 4 от каждой щели) размещены на пульте управления, упомянутом ранее.

7. Стабильность напряжения питания электродов квадрупольного дублета

Необходимость определения допустимой нестабильности напряжения питания электродов дублета связана с тем, что колебание напряжения на электродах приводит к смещениям и расфокусировке пучка на выходе из магнитного анализатора. К счастью, это влияние невелико, так как при колебании напряжения питания асимметрия не меняется. Действительно, как это можно видеть из формул (6а и 6б) Приложения 1, имеет место слабая зависимость смещения пучка от оптической силы линзы β . Разлагая уравнения (6а, 6б) в ряд по β_1 и β_2 , мы получаем формулы, показывающие зависимость смещения пучка от изменения β_1 и β_2 . Подставляя в эти формулы значения нестабильности напряжения ($\Delta \Phi = \pm 0,1\%$), получаем, что эта нестабильность вызывает смещение пучка на выходных щелях на величину в ≈ 10 раз меньшую, чем смещение, создаваемое нестабильностью электростатического генератора (10^{-4}).

8. Результаты

Система коррекции пучка эксплуатируется на электростатическом генераторе ОИЯИ с октября 1965 г. Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с расчетными данными. Установка ее на ускорителе вполне себя оправдала, поскольку наряду с изменением величин Δ и α имеется возможность существенного увеличения интенсивности пучка. Поскольку это увеличение тока осуществляется за счет совместного использования фокусирующих свойств квадрупольного дублета и поля магнитного анализатора, имеется возможность использования на входе в магнитный анализатор довольно узких щелей (до 3 мм). Последнее очень важно для правильного измерения энергии ускоренных ионов. Как показали выполненные при интенсивности пучка протонов 4–10 мка многократные измерения ряда резонансных пиков реакций, ошибка воспроизведения энергии частиц не превышала $\pm 1,0$ кэВ. (Калибровка энергетической шкалы ЭГ проводилась по резонансным пикам реакции $Al(p,\gamma)$ в 2,4 МэВ и 2,52 МэВ). Ошибка воспроизведения определялась по резонансному пику в 2801 кэВ реакции $S^{34}(p,\gamma)Cl^{35}$. На рисунке представлен типичный график для обеих реакций. Резонанс на S^{34} получен при токе пучка на мишень ≈ 8 мка.

В таблице 2 представлены экспериментальные данные. Данные в столбце "без корректора" являются максимальными величинами тока, полученными при данном режиме

ЭГ без корректора. В столбце "с корректором" представлены величины тока на ту же мишень при одном и том же режиме ЭГ, но при включении последнего. Как видно из таблицы, включение корректора существенно увеличивает интенсивность пучка за магнитным анализатором.

Авторы сердечно благодарят проф. М. Салаи и проф. Ф.Л. Шапиро за постоянный интерес и внимание к работе.

Энергия ионов, Мэв	Тип ускоренных ионов	Ток пучка "без корректора", мка		Ток пучка "с корректором", мка	
		За магнитным анализатором	На мишень за коллиматором, d = 6 мм	За магнитным анализатором, на расстоянии 10 м	На мишень за коллиматором (d = 6 мм)
3,1	протоны	15	10	20	14
3,1	ионы ^3He	3	На мишень за коллиматором 4 мм 1,5	5	На мишень за коллиматором 4 мм 2 - 2,5

Приложение 1

В настоящем Приложении представлены формулы электронной оптики, необходимые для расчета основных параметров асимметризованных квадруполей. Подробное их описание приведено в работах /6,7/.

1. Распределение потенциала в асимметризованном поле квадруполевой линзы описывается следующим образом:

$$\Phi = \frac{\Phi_1}{a^2} [(X-p)^2 - (Y-q)^2] + C \dots \quad (1)$$

где Φ_1 - потенциал на электроде симметричной квадруполевой линзы,

$2a$ - апертура линзы,

p, q - смещение (при введении асимметрии) оптической оси линзы в направлении X, Y соответственно.

2. Уравнения движения заряженных частиц с энергией $e \Phi$ в квадруполевой линзе

$$\begin{aligned} x'' + \beta^2 x &= \beta^2 p, \\ y'' - \beta^2 y &= -\beta^2 q, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\beta = \frac{1}{a} \sqrt{\frac{\Phi_1}{\Phi_0}}, \quad (2a)$$

x', y' - дифференцирование по координате z .

3. Уравнение, связывающее входные данные траектории пучка в квадрупольном дублете с выходными данными. На плоскости "+" - "-" (см. рис. 2)

$$\begin{pmatrix} x_{\text{ВЫХ.}} \\ x'_{\text{ВЫХ.}} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{\text{ВХОД}} \\ x'_{\text{ВХОД}} \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

На плоскости "-" - "+"

$$\begin{pmatrix} y_{\text{ВЫХ.}} \\ y'_{\text{ВЫХ.}} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{\text{ВХОД}} \\ y'_{\text{ВХОД}} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где матричные элементы имеют вид:

$$\begin{aligned} H_{11} &= \cos x_1 \operatorname{Ch} x_2 - d\beta_1 \sin x_1 \operatorname{Ch} x_2 - \frac{\beta_1}{\beta_2} \sin x_1 \operatorname{Sh} x_2, \\ H_{21} &= \beta_2 \cos x_1 \operatorname{Sh} x_2 - d\beta_1 \beta_2 \sin x_2 \operatorname{Sh} x_2 - \beta_1 \sin x_1 \operatorname{Ch} x_2, \\ H_{31} &= 0, \\ H_{12} &= \frac{1}{\beta_1} \sin x_1 \operatorname{Ch} x_2 + d \cos x_1 \operatorname{Ch} x_2 + \frac{1}{\beta_2} \operatorname{Sh} x_2 \cos x_1, \\ H_{22} &= \cos x_1 \operatorname{Ch} x_2 + \frac{\beta_2}{\beta_1} \sin x_1 \operatorname{Sh} x_2 + d\beta_2 \cos x_1 \operatorname{Sh} x_2, \\ H_{32} &= 0, \\ H_{13} &= -p_1 \cos x_1 \operatorname{Ch} x_2 + d\beta_1 p_1 \sin x_1 \operatorname{Ch} x_2 + \frac{\beta_1}{\beta_2} p_1 \sin x_1 \operatorname{Sh} x_2 + (p_1 - q_2) \operatorname{Ch} x_2 + q_2, \\ H_{23} &= -p\beta_2 \operatorname{Sh} x_2 \cos x_1 + d\beta_1 p_1 \beta_2 \sin x_1 \operatorname{Sh} x_2 + p_1 \beta_1 \sin x_1 \operatorname{Ch} x_2 + (p_1 - q_2) \beta_2 \operatorname{Sh} x_2, \\ H_{33} &= 1, \end{aligned} \quad (5a)$$

$$\begin{aligned}
V_{11} &= \operatorname{Ch} x_1 \operatorname{Cos} x_2 + d\beta_1 \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Cos} x_2 + \frac{\beta_1}{\beta_2} \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Sin} x_2, \\
V_{21} &= \beta_1 \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Cos} x_2 - \beta_2 \operatorname{Ch} x_1 \operatorname{Sin} x_2 - d\beta_1 \beta_2 \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Sin} x_2, \\
V_{31} &= 0, \\
V_{12} &= d \operatorname{Ch} x_1 \operatorname{Cos} x_2 + \frac{1}{\beta_1} \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Cos} x_2 + \frac{1}{\beta_2} \operatorname{Sin} x_2 \operatorname{Ch} x_1, \\
V_{22} &= \operatorname{Ch} x_1 \operatorname{Cos} x_2 - \frac{\beta_2}{\beta_1} \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Sin} x_2 - d\beta_2 \operatorname{Ch} x_1 \operatorname{Sin} x_2, \\
V_{32} &= 0, \\
V_{13} &= -q_1 \operatorname{Ch} x_1 \operatorname{Cos} x_2 - dq_1 \beta_1 \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Cos} x_2 - q_1 \frac{\beta_1}{\beta_2} \operatorname{Sh} x_1 + \operatorname{Sin} x_2 + (q_1 - qp_2) \operatorname{Cos} x_2 + p_2, \\
V_{23} &= q_1 \beta_2 \operatorname{Ch} x_1 \operatorname{Sin} x_2 + dq_1 \beta_1 \beta_2 \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Sin} x_2 - q_1 \beta_1 \operatorname{Sh} x_1 \operatorname{Cos} x_2 - \beta_2 (q_1 - p_2) \operatorname{Sin} x_2, \\
V_{33} &= 1,
\end{aligned} \tag{56}$$

$$\begin{aligned}
x_1 &= \beta_1 L_1 \\
x_2 &= \beta_2 L_2,
\end{aligned}$$

и

где L_1 - длина электрода первой линзы L_1 ,
 L_2 - длина электрода второй линзы L_2 ,
 d - расстояние между линзами L_1 и L_2 .

4. Фокальные расстояния U_{+-} (в плоскости " + - ") и U_{-+} (в плоскости " - + ")

$$U_{+-} = - \frac{H_{11}}{H_{21}}, \tag{6a}$$

$$U_{-+} = - \frac{V_{11}}{V_{21}}. \tag{6б}$$

5. Смещение изображения в фокальной плоскости на величины Δx и Δy :

$$\Delta x = H_{13} - \frac{H_{23} H_{11}}{H_{21}}, \tag{7a}$$

$$\Delta y = V_{13} - \frac{V_{23} V_{11}}{V_{21}} . \quad (76)$$

6. Зависимость смещения p и q от коэффициента асимметрии δ_x и δ_y

$$\frac{p}{a} = \frac{1}{2} \frac{\delta_x}{100 + \delta_x} , \quad (8a)$$

$$\frac{q}{a} = \frac{1}{2} \frac{\delta_y}{100 + \delta_y} . \quad (86)$$

7. Уравнение для получения значений β_1 и β_2 для квадрупольного дублета в случае приближения тонкой линзы имеет вид:

$$\frac{L^2 \beta_1^2 \beta_2^2}{d + L + \beta_2^2 L - \beta_1^2 L} = U_{+-} + \frac{L}{2} + (L + d) \frac{\beta_1^4 \beta_2^2 L^3}{d + L + \beta_2^2 L - \beta_1^2 L} \dots , \quad (9a)$$

$$\frac{L^2 \beta_1^2 \beta_2^2}{d + L + \beta_1^2 L - \beta_2^2 L} = U_{-+} + \frac{L}{2} - (L + d) \frac{\beta_1^4 \beta_2^2 L^3}{d + L - \beta_2^2 L + \beta_1^2 L} . \quad (96)$$

Литература

1. D. Pinet, L'Onde Electrique, **35**, 1030 (1955).
2. T. Huus. Частное сообщение.
3. T. Huus, K.A. Hagemann. Частное сообщение.
4. E. Koltay, Gy. Szabo', Atomki-Kozl., **6**, 105 (1964).
5. E. Koltay, Gy. Szabo'. Nuclear Sustruments and Meth., **35**, 88 (1965).
6. I.E. Dayton et al. Rev. Sci. Instr., **25**, 485 (1964).
7. P. Soiver, A. Septier. CERN, 58-25 (1958).
8. E. Koltay, T. Fejer. Atomki Kozl., **4**, 177 (1962).
9. A. Septier. Advances in Electronics and Electron Physics, **14**, 85 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 ноября 1966 года.

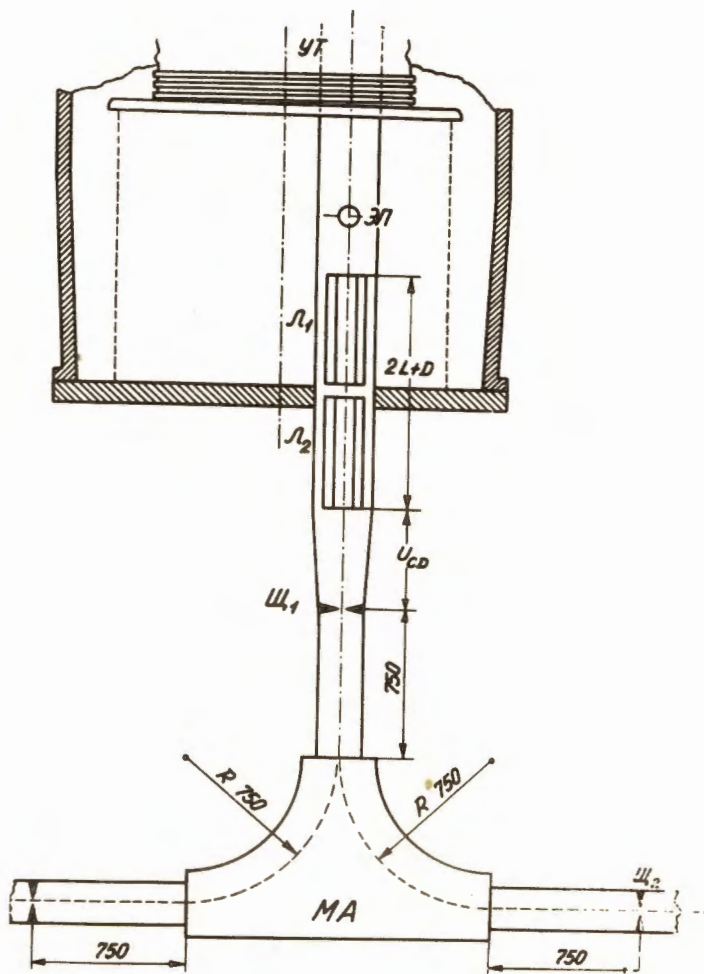


Рис. 1

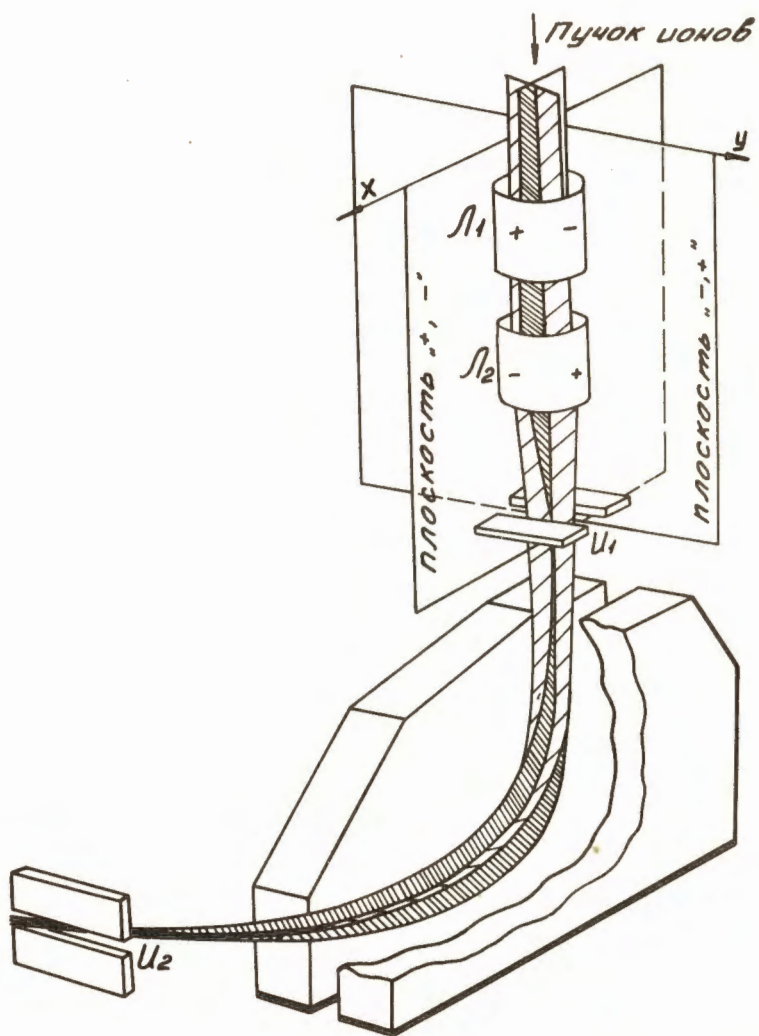


Рис. 2. Траектория пучка в системе: "Корректор - магнитный анализатор".

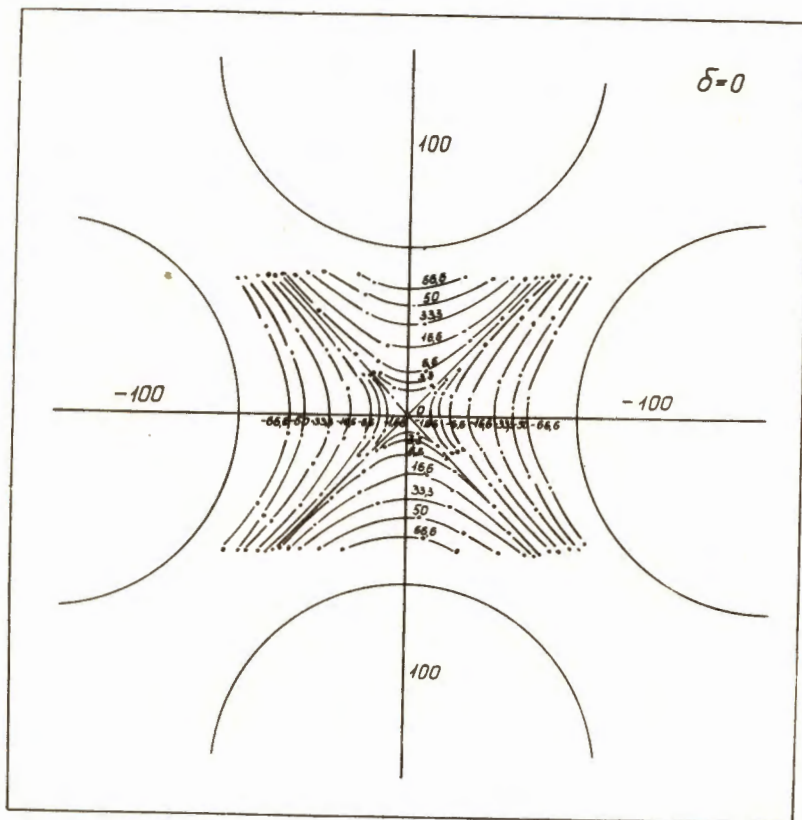


Рис. 3а

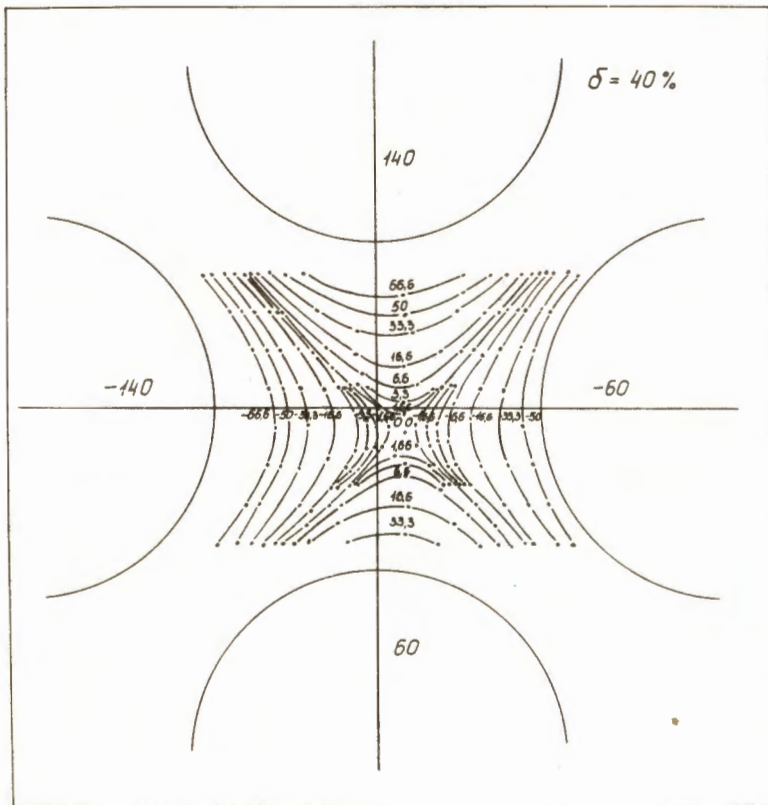


Рис. 36

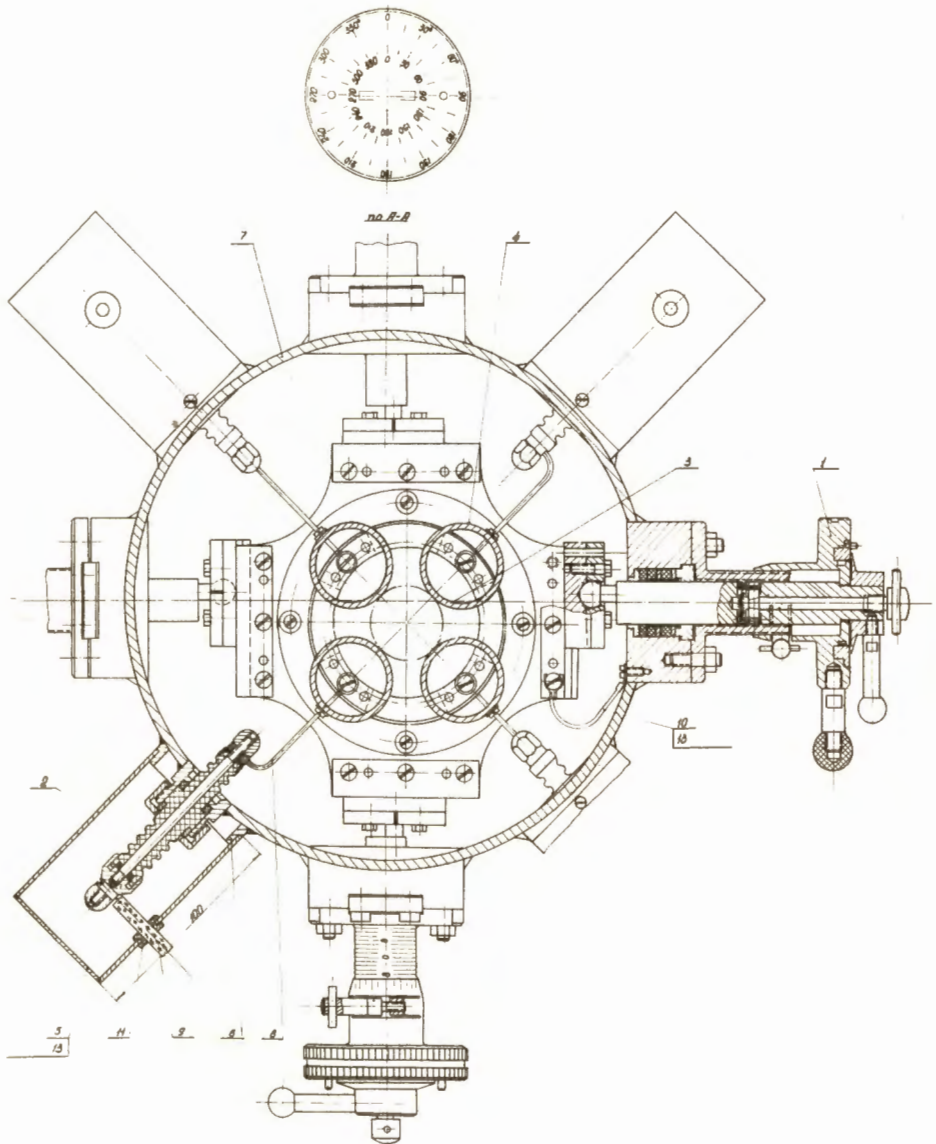


Рис. 4а

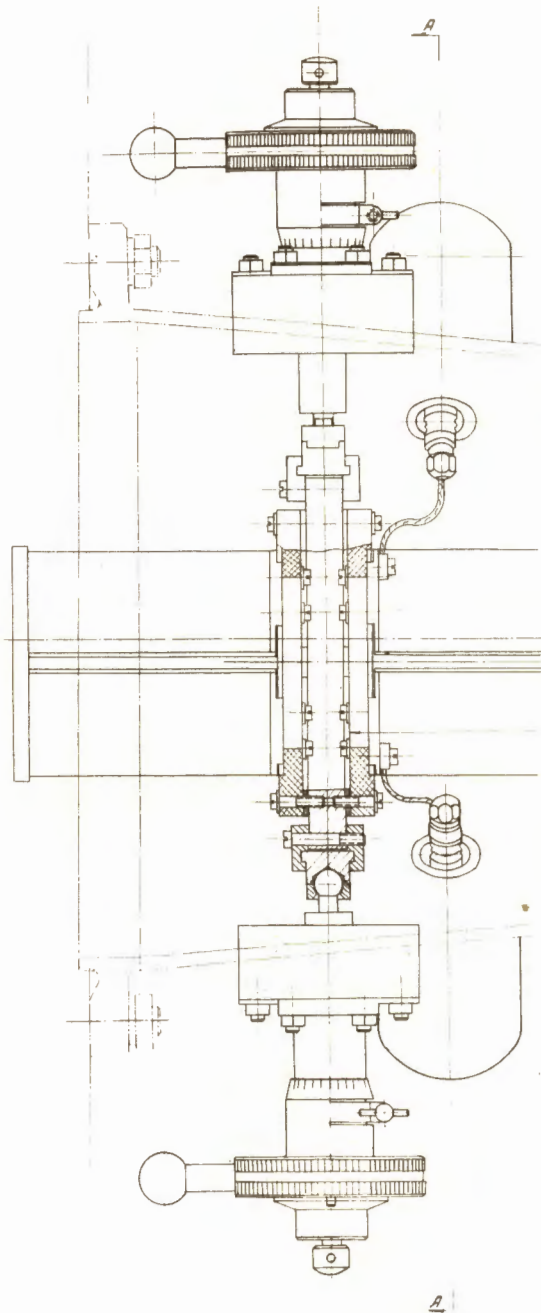


Рис. 46

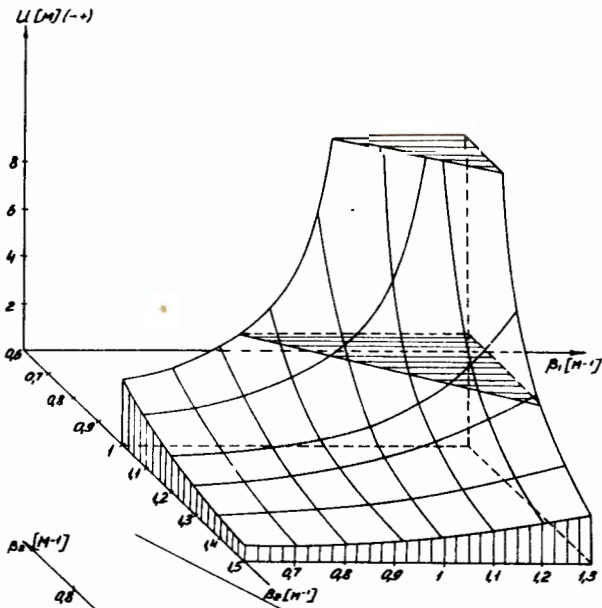


Рис. 5а

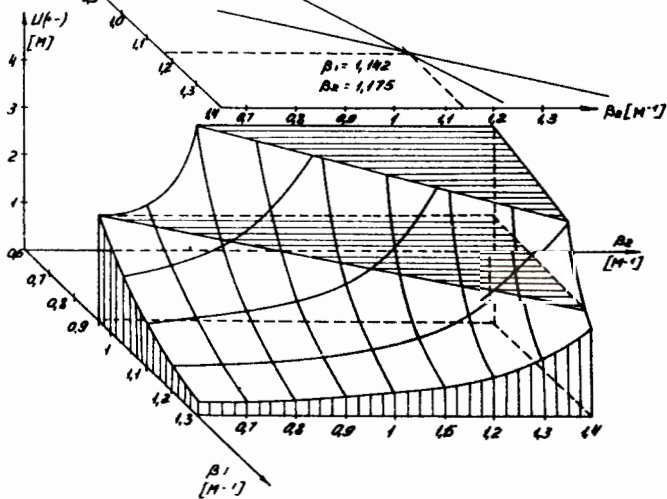


Рис. 5б

Рис. 5в

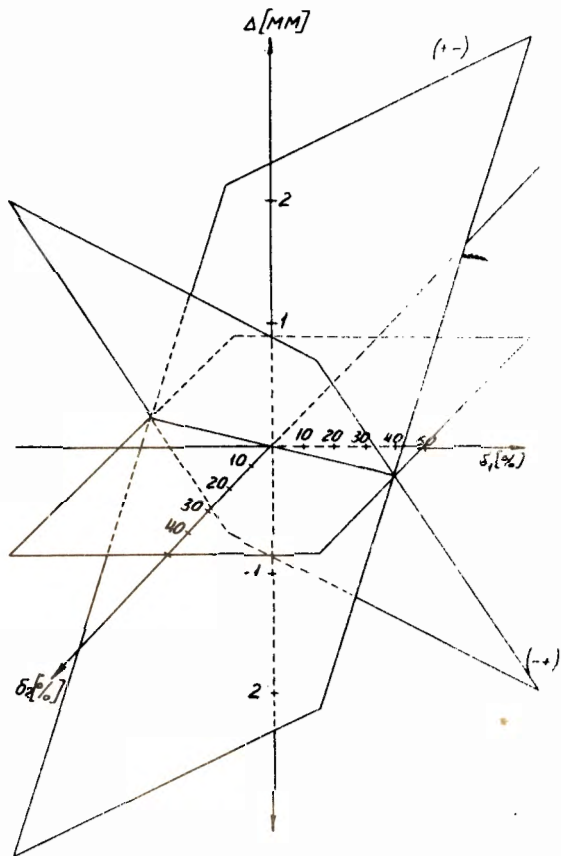


Рис. 6

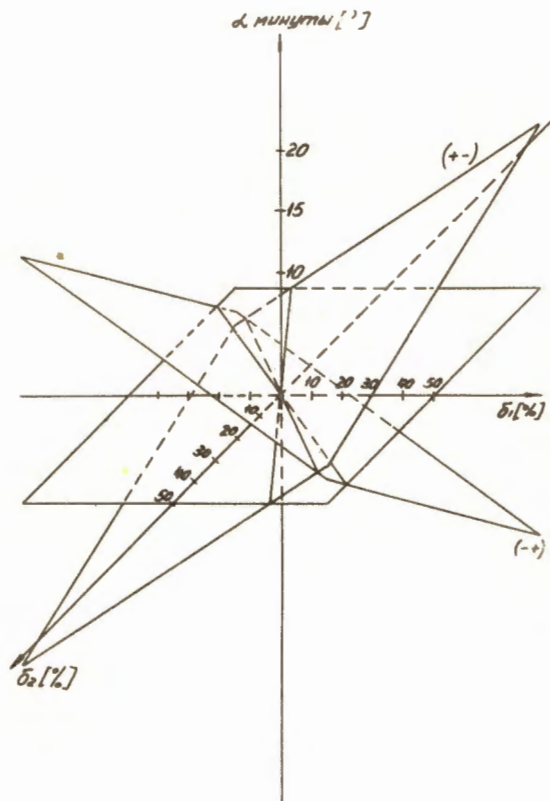


Рис. 7

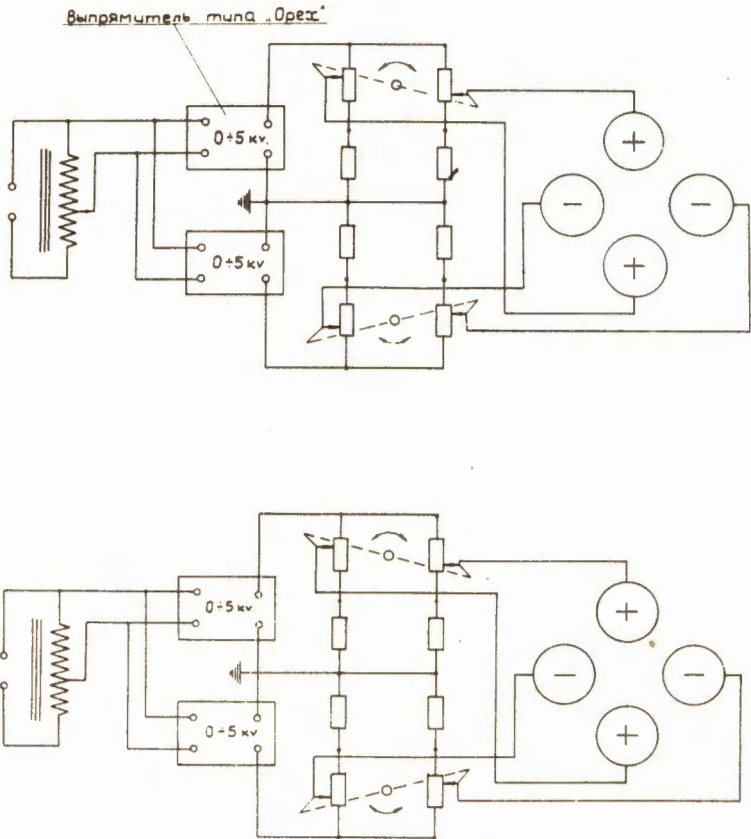


Рис. 8. Принципиальная схема питания корректора ЭГ-5-1.

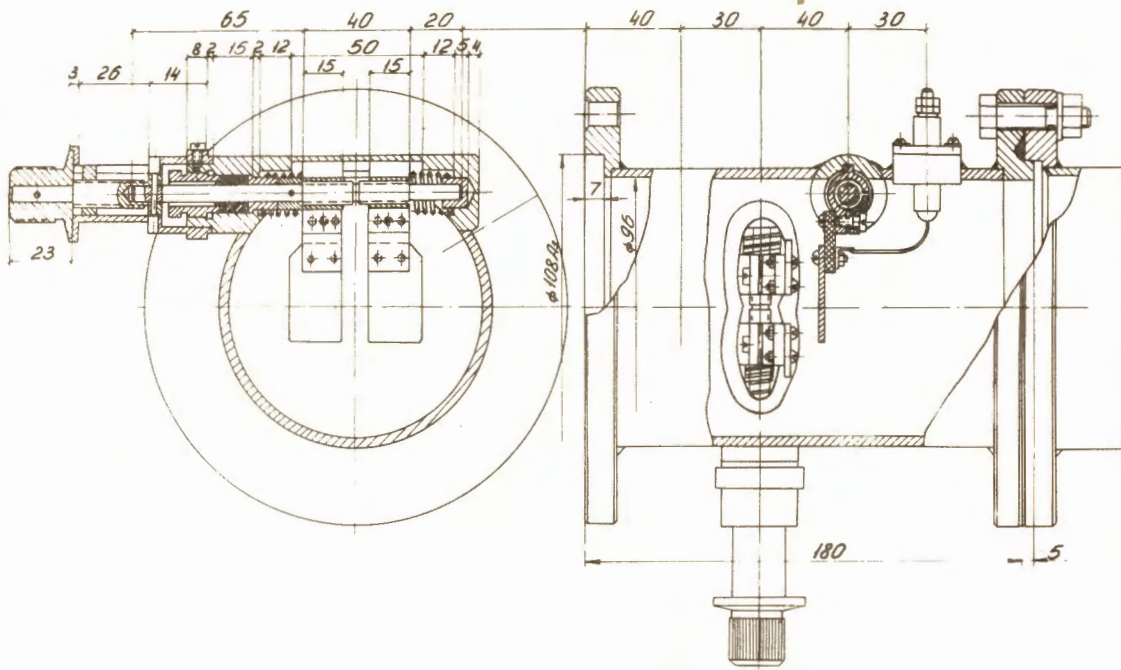


Рис. 9а. Шелевой прибор.

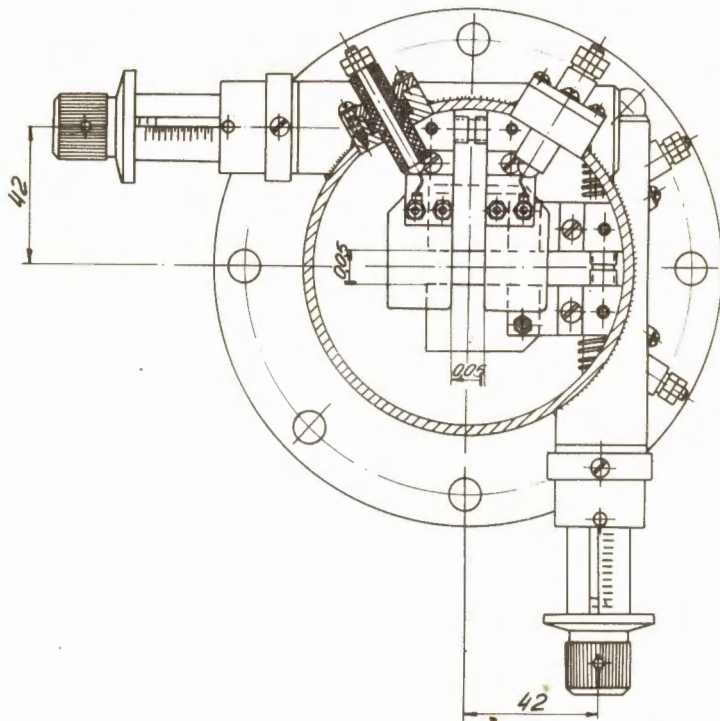


Рис. 96. Шелевой прибор.

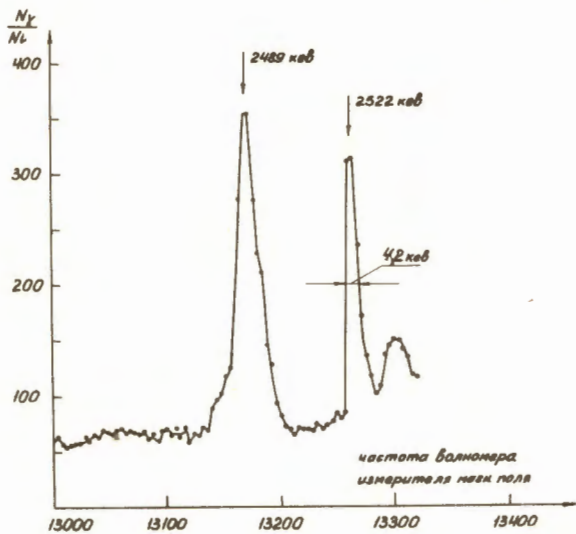


Рис. 10. Кривая возбуждения реакции $Al^{27}(\gamma)Si^{28}$ в интервале с энергией 2433 - 2550 кэВ.

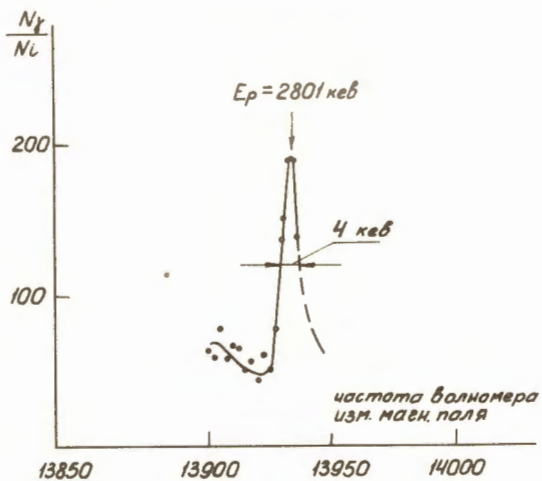


Рис. 11. Резонансный пик реакции $S^{34}(\gamma)Cl^{35}$.