

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



*B/III-74*

13 - 7602

B-19

А.Т.Василенко, В.М.Сороко, Н.С.Фролов

*985/2-74*

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ СКАНЕР

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 7602

**А.Т.Василенко, В.М.Сороко, Н.С.Фролов**

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ СКАНЕР**

***Направлено в ПТЭ***

Для получения на экране осциллографа изображения спектра масс изотопов, разделяемых с помощью электромагнитного масс-сепаратора, созданного в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ<sup>1</sup>, разработано и изготовлено электромеханическое сканирующее устройство<sup>2</sup>.

Вопросам создания сканирующих устройств для масс-сепараторов посвящено несколько работ<sup>3,4</sup>. В статье<sup>3</sup> описан сканер, который дает возможность обзора большой области разделения масс. Его недостатками являются малая частота сканирования и наличие скользящего контакта в сигнальной цепи. В работе<sup>4</sup> описана схема с применением кривошипно-шатунного механизма. Отмеченные выше недостатки также присущи и этому устройству.

В сканерах вибрационного типа скользящий контакт устранен, но просматривать возможно только небольшие участки области разделения масс. Измерительная игла движется не параллельно фокальной плоскости, а по дуге цилиндра.

Описываемое устройство совмещает в себе достоинства отмеченных сканирующих механизмов и не имеет указанных недостатков. В нем отсутствует скользящий контакт, измерительный электрод-игла движется параллельно фокальной плоскости с достаточно высокой частотой /11,3 Гц, что не является пределом/ и большой амплитудой колебаний /55-60 мм/.

В основе прибора лежит идея использования резонансных свойств механической системы, состоящей из подвижной каретки, несущей измерительную иглу, и пружин, связанных с кареткой. Энергия для компенсации неизбежных потерь и поддержания незатухающих колебаний каретки черпается из магнитного поля в моменты прохождения его кареткой.

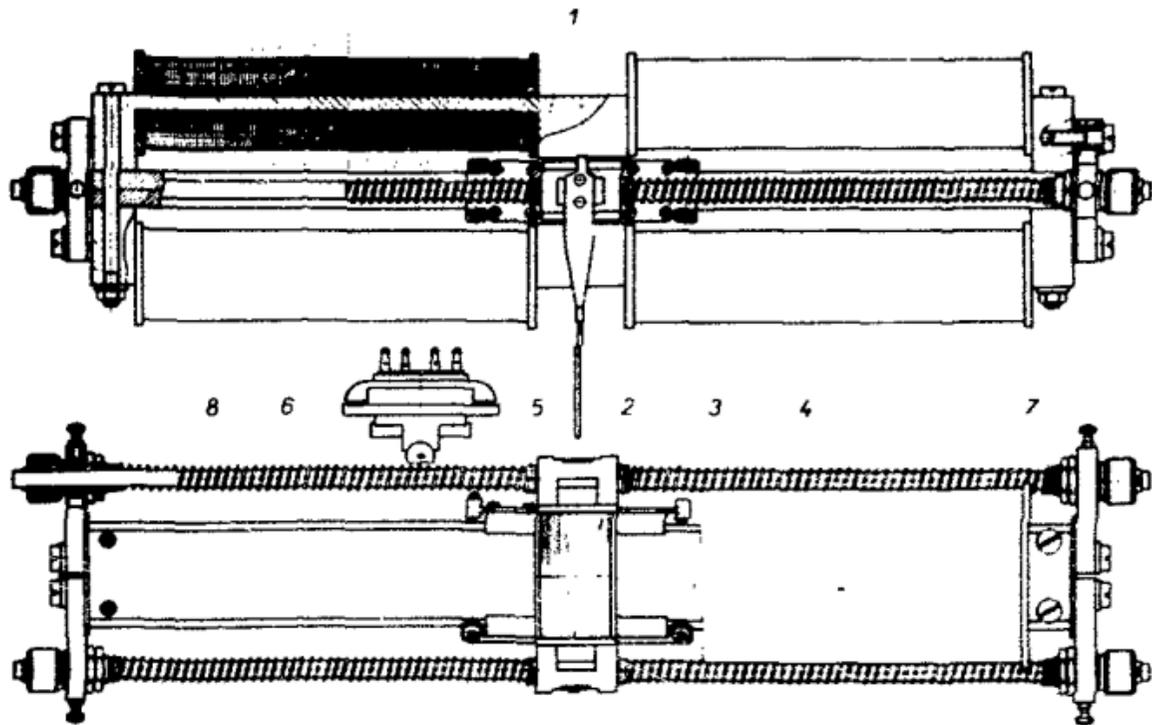


Рис. 1. Конструкция сканирующего устройства. 1 - магнитопровод, 2 - каретка с катушкой, 3 - пружина, 4 - направляющий стержень, 5 - игла, 6 - фотосопротивление, 7 - пленка, 8 - средний стержень магнитного провода.

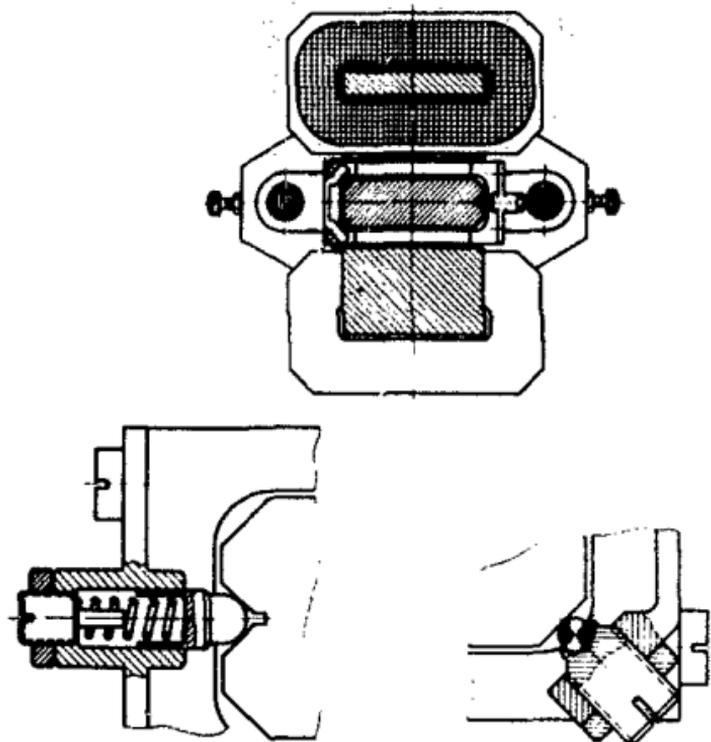


Рис. 2. Поперечный разрез сканирующего устройства и опоры каретки.

### *Устройство сканера*

Сканер /см. рис. 1/ состоит из броневого электромагнита /1/, в рабочем зазоре которого возбуждается поле 4000 Гс; каретки с катушкой /2/; возвратных пружин /3/; стержней /4/, являющихся направляющими для пружин; измерительной иглы /5/; фотосопротивления с лампочкой засветки /6/; изолированных пластин /7/, используемых для крепления направляющих стержней. Через пружины, изолированные друг от друга и от корпуса, производится подвод тока к катушке каретки, а также съем сигнала с измерительной иглы. Центральный стержень /8/ магнитопровода и специальные опоры обеспечивают направление движения каретки. Устройство опор показано на рис. 2.

## Работа сканера

Положение каретки в рабочем зазоре электромагнита соответствует равновесному. При подключении к источнику питания катушки электромагнита в рабочем зазоре последнего создается поле 4000 Гс. Если подать импульс тока в катушку каретки, то она выйдет из зазора и будет двигаться вдоль центрального стержня /8/. Амплитуда импульсов тока выбирается достаточной для компенсации потерь в механизме при заданном размахе колебаний каретки. Частота следования импульсов равна резонансной частоте колебаний каретки. Импульсы тока вырабатываются специальным генератором /см. блок-схему, приведенную на рис. 3/, позволяющим регулировать частоту их следования и скважность. Регулируя скважность и амплитуду импульсов, можно выбрать оптимальный режим работы сканера. Импульсы с генератора Г поступают в катушку каретки через усилитель мощности У. Мощность усилителя должна равняться 10-15 Вт на частотах 8-20 Гц.

Можно питать катушку сканера синусоидальным напряжением, используя для этих целей генератор, выпус-

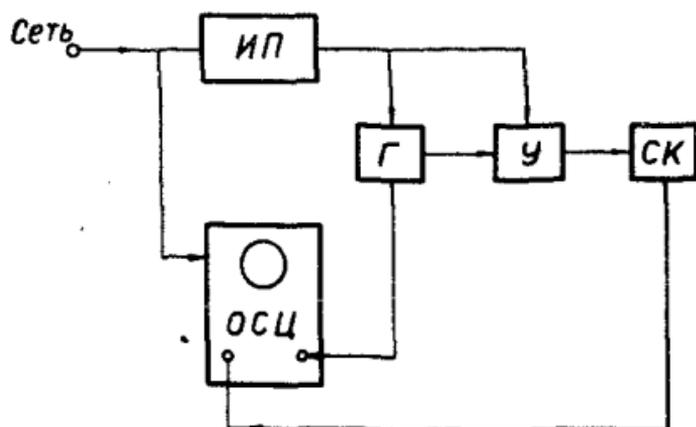


Рис. 3. Блок-схема питания сканирующего устройства и наблюдения осциллограмм спектра.

каемый промышленностью. Однако при этом тепловые потери в катушке существенно возрастают.

Диаграмма спектра на экране осциллографа ОСЦ получается устойчивой, если использовать развертку в "ждущем" режиме, а генератор развертки запускать импульсами от задающего генератора Г.

### Расчет

Схема колебательной системы показана на рис. 4. Рассматривалось следующее дифференциальное уравнение движения каретки:

$$m\ddot{x} + kx - Q_{\text{мр}} = 0,$$

где  $m$  - масса каретки,  $k$  - жесткость пружин,  $Q_{\text{мр}}$  - сила трения опор каретки и пружин о направляющие стержни;  $T$  - период колебаний каретки равен:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Выражение для максимальной скорости движения каретки  $\dot{x}_0$  будет иметь вид

$$\dot{x}_0 = -\frac{Q_0}{k} \sqrt{\frac{k}{m}},$$

$$x = -\frac{Q_0}{k} \cos \omega t,$$

$$Q_0 = kx_{\text{мх}} - Q_{\text{мр}}.$$

где  $x_{\text{мх}}$  - максимальная амплитуда колебаний.

Совместное решение уравнений, связывающих количество движения каретки, необходимое для компенса-



Рис. 4. Расчетная схема.

ции потерь, и электромагнитную силу, действующую на проводник с током  $i_m$ , помещенный в поле  $B$ , позволяет получить выражение для тока в амперах:

$$i_m = 9,8 \cdot 10^4 \frac{m \lambda \dot{x}}{\ell_{np} B w \lambda t}$$

Здесь  $\ell_{np}$  - длина активной стороны проводника, м;  $w$  - число витков в катушке каретки;  $\lambda t$  - время прохождения каретки под полюсом, с;  $B$  - величина индукции магнитного поля в зазоре, Гс;

$$\lambda \dot{x} = \dot{x}_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2}{m} \frac{a_{mp}}{\dot{x}_0^2}} \right);$$

$a_{mp}$  - работа сил трения /учитывались только силы трения пружин о направляющие стержни и силы трения опор каретки/, кг.м.;  $\dot{x}_0$  - уменьшение скорости каретки за полпериода, м/с.

С хорошей точностью для практических целей возможно определить ток по формуле

$$i_m = \frac{9,8 \cdot 10^4 a_{mp}}{B \ell_{np} w \ell_n}$$

$\ell_n$  - размер полюса по направлению движения каретки.

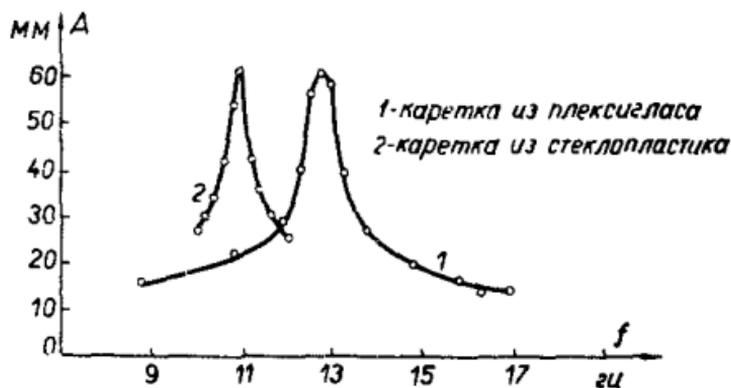


Рис. 5. Резонансная кривая механической системы сканера. A - амплитуда колебания.

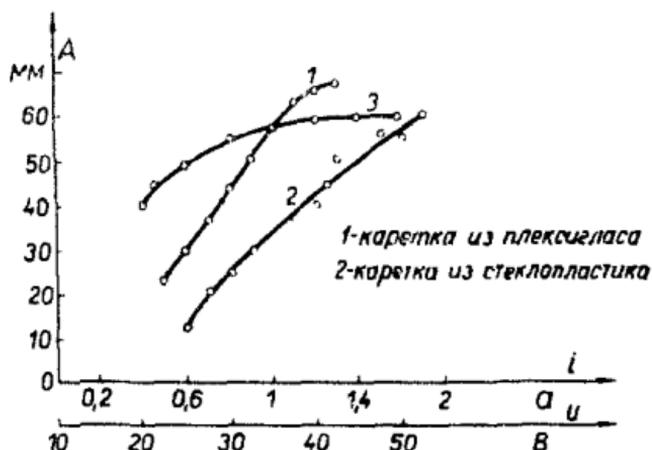


Рис. 6. Зависимость амплитуды механических колебаний от напряжения возбуждения электромагнита /кривая 3/ и тока в катушке каретки /кривые 1 и 2/.

Размеры пружины определялись по общеизвестным зависимостям, в которые вошли значения максимальной амплитуды  $x_{\text{max}}$  и жесткости  $\frac{1}{k}$ .

Изготовленный сканер был подвергнут испытаниям с кареткой, выполненной из плексигласа и стеклотекстолита. Испытания проводились при атмосферном давлении.

Параметры сканера с плексигласовой кареткой: масса каретки  $m = 4.08 \cdot 10^{-3}$  кг.с<sup>2</sup>/М, жесткость пружин  $k = 28$  кг/м, расчетное значение частоты собственных колебаний  $f_p = 13,18$  Гц. Измеренное значение частоты  $f_{\text{из}} = 12,8$  Гц. Расчетное значение импульса тока  $i_{\text{mp}} = 0,82$  А при длительности  $\Delta t = 5$  мс. Измеренное среднее значение тока  $i_{\text{mp}} = 1,05$  А; мощность потерь - 7 Вт.

Параметры сканера с кареткой из стеклотекстолита: частоты колебаний  $f_p = 11,24$  Гц,  $f_{\text{из}} = 10,9$  Гц, ток в импульсе  $i_{\text{mp}} = 1,54$  А,  $i_{\text{mn}} = 1,42$  А, мощность потерь равна 8,8 Вт.

Результаты экспериментальной проверки сканера с каретками из разных материалов приводятся на рис. 5 и 6.

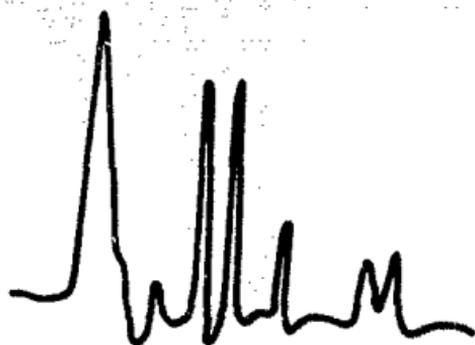


Рис. 7. Спектр масс ксенона.

Сканирующее устройство успешно прошло испытание в рабочих условиях /вакуум/ на масс-сепараторе. В этом случае использовался сканер с кареткой из стеклопластика, который укреплялся на столжке коллектора приемной камеры сепаратора с помощью специальной подвески, благодаря чему колебания каретки не передавались на коллекторную пластину. На рис. 7 приводится спектр масс ксенона, полученный с помощью сканера.

Величина тока в катушке каретки в основном определяется потерями на трение. Поэтому давление опор должно быть минимально допустимым при одновременном обеспечении хорошей симметрии пружин и центровки каретки. В результате регулировки опор достигнуто значение тока, равное 0,5А при амплитуде колебаний 60 мм.

Авторы приносят благодарность В.П.Афанасьеву, И.И.Громовой, В.П.Токарскому за оказанное содействие при изготовлении и испытании сканирующего устройства.

#### *Литература*

1. В.П.Афанасьев, А.Т.Василенко и др. ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.

2. А.Т.Василенко, В.М.Сороко. Электромеханический сканер, авторское свидетельство №270133, "Бюллетень изобретений", 1970, №16.
3. *Nucl. Instr. and Meth.*, 29, No. 2, p. 235-236 (1964).
4. *Nucl. Instr. and Meth.*, 3, No. 5, p. 245 (1958).

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 декабря 1973 года.