

Программа расчета тока магнита масс-сепаратора ускорителя ИЛУ-3

Д.А. Коновалов, н.с. лаб. ФПС КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Ионный ускоритель ИЛУ-3 является уникальной экспериментальной установкой. Он позволяет получать моно-изотопные пучки ионов различных элементов с энергией до 80 кэВ. В зависимости от энергии диапазон масс ионов простирается от водорода до тяжелых трансурановых элементов. Выделение из луча ионов необходимой массы и заряда происходит в магнитном масс-сепараторе. Принцип его действия основан на различии радиуса отклонения ускоренных электрическим потенциалом ионов с разной массой и зарядом в поперечном магнитном поле.

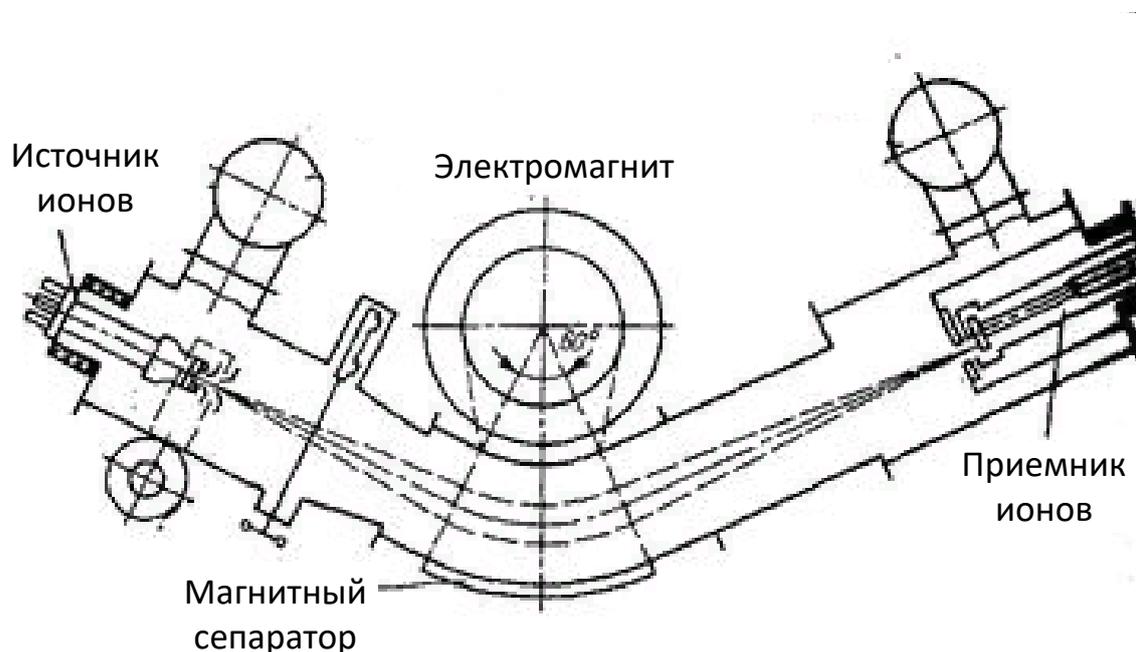


Рис. 1. Ионный ускоритель ИЛУ-3.

Отклоняющее магнитное поле пропорционально току, протекающему через обмотку электромагнита.

Формула расчета радиуса отклонения ускоренных ионов известна. Но для учета конструктивных особенностей конкретной модели ускорителя в нее необходимо внести несколько поправочных, в том числе и нелинейных, коэффициентов. Поэтому на практике для определения значения тока через электромагнит масс-сепаратора, необходимого для выделения нужного иона, используют номограмму (Рис. 2).

Номограмма содержит три нелинейных шкалы. Для определения значения тока через электромагнит масс-сепаратора ИЛУ-3 нужно провести прямую линию от точки на шкале ускоряющего напряжения E до точки на шкале масс M . Точка пересечения со шкалой тока J будет искомым значением тока.

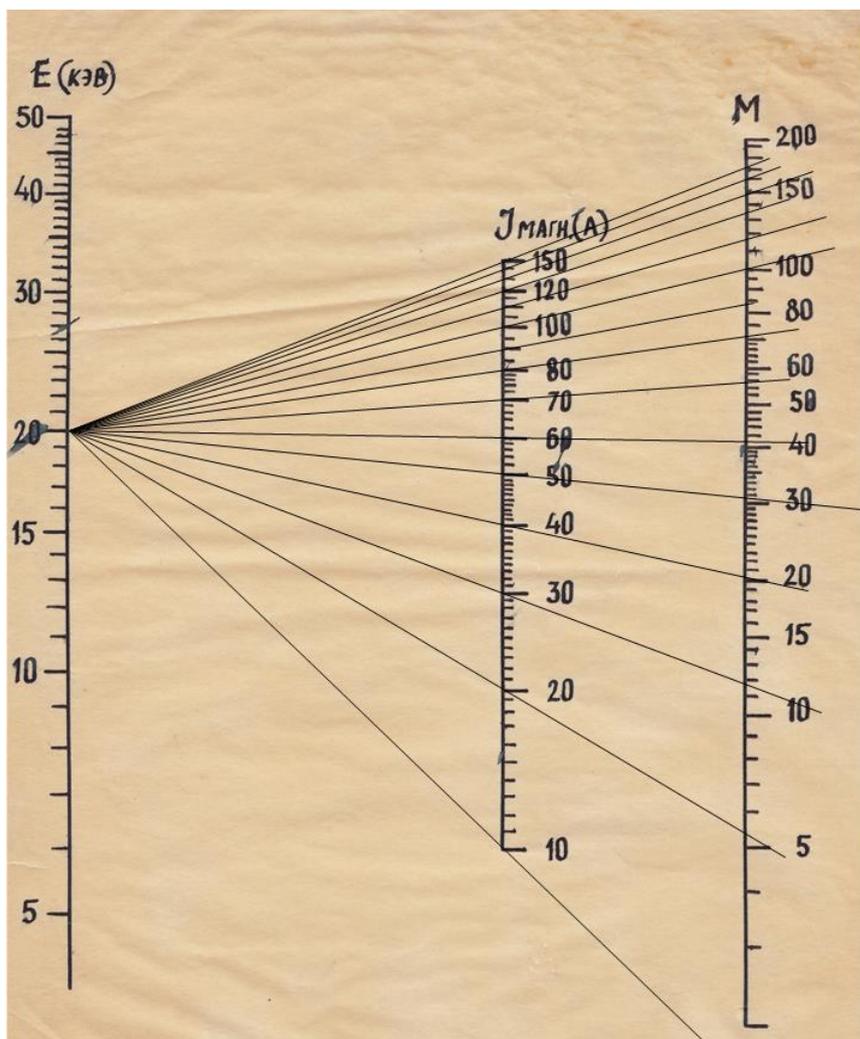


Рис. 2. Номограмма для определения значения тока через электромагнит масс-сепаратора ИЛУ-3.

Самый простой способ автоматизации вычисления тока через электромагнит, без погружения в теоретические изыскания, это оцифровка номограммы (Рис. 3) и определение вида функции $J(M)$.

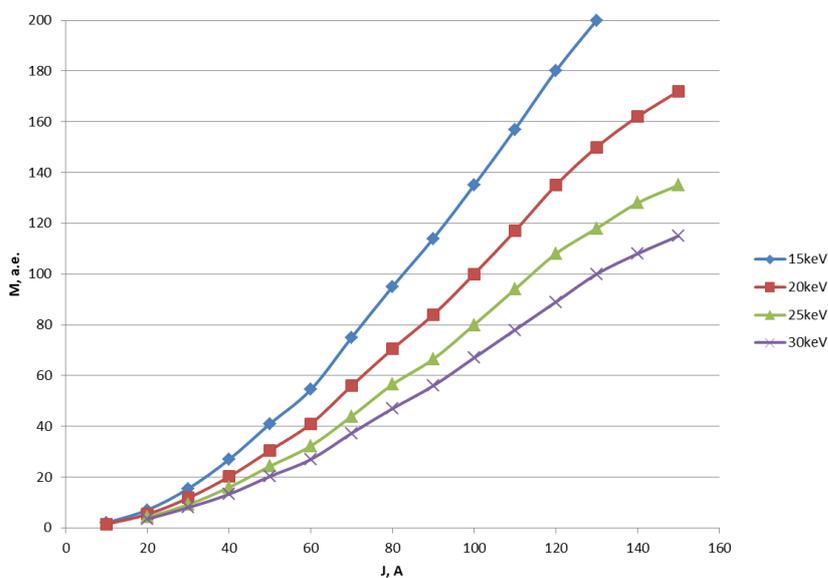


Рис. 3. Оцифровка номограммы для $E = 15, 20, 25$ и 30 кэВ.

К сожалению, найти функцию, имеющую физический смысл и описывающую зависимость $J(M)$ не удалось. Однако, и, очевидно, это не случайно, обратная зависимость $M(J)$ с очень высокой степенью достоверности описывается модифицированным уравнением Ланжевена:

$$M = \frac{E_0}{E} \left(m_0 + C_0 \left(\coth z - \frac{1}{z} \right) \right);$$

$$z = \frac{(J - j_0)}{s_0};$$

где M – масса иона; J – ток; E – энергия иона; j_0 , m_0 , C_0 , s_0 – константы, определенные для энергии E_0 .

Окно программы, реализующей расчет по приведенной выше формуле, приведено на Рис. 4.

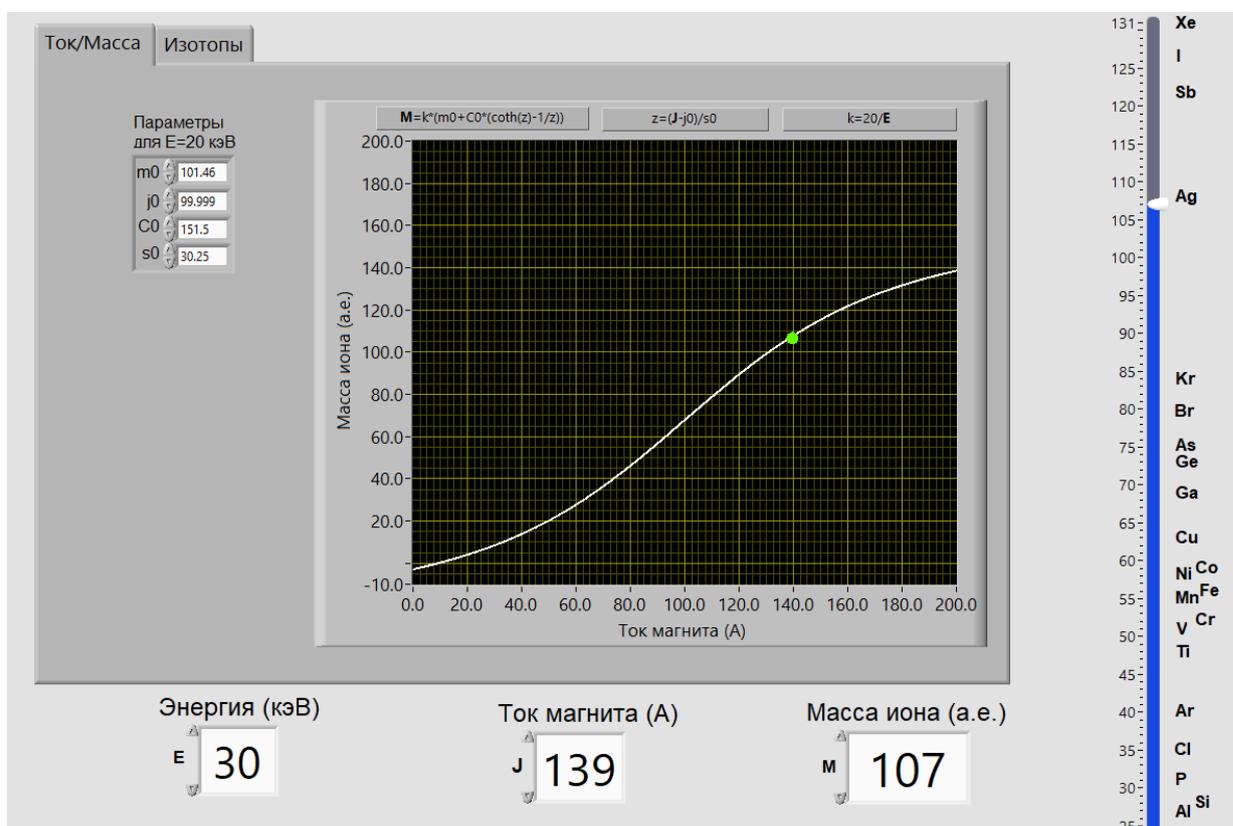


Рис. 4. Вкладка окна программы для расчета тока магнита ускорителя ИЛУ-3.

После установки значения тока электромагнита ускорителя ИЛУ-3, определенного по номограмме или с помощью описываемой программы, точная настройка на ионный пучок конкретного элемента осуществляется с помощью осциллографа (Рис. 5). Осциллограф работает в режиме X-Y. Пучок ионов, сканируя по мишени, поочередно попадает на измерительные реперы, расположенные горизонтально справа и слева от образца, что отображается на экране осциллографа. Как видно из приведенной осциллограммы, ток от каждого репера за период развёртки имеет два отчетливых пика, что обусловлено наличием двух устойчивых изотопов в природном серебре: ^{109}Ag и ^{107}Ag с естественным процентным содержанием 48,65 и 51,36, соответственно.

