

С 3450

В-19

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9 - 4385



Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

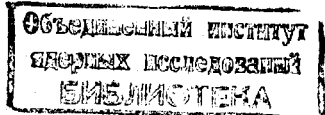
НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ СИСТЕМЫ
ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЫВЕДЕННОГО
ПРОТОННОГО ПУЧКА

1969

9 - 4385

Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова

НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ СИСТЕМЫ
ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЫВЕДЕННОГО
ПРОТОННОГО ПУЧКА



1. В в е д е н и е

Первая ступень системы транспортировки протонного пучка, выведенного из синхрофазотрона ОИЯИ ^{1/}, формирует первое внешнее изображение F_1 в пределах зала ускорителя (рис. 1). Первым элементом системы является поворотно-фокусирующий магнит, который отклоняет пучок на $\approx 5^\circ$ (после чего последний минует вертикальную стойку магнита IV квадранта ускорителя) и фокусирует его в горизонтальной плоскости. Фокусировка протонного пучка в горизонтальной плоскости сразу же по выходе из рассеянного поля ускорителя необходима ввиду того, что пучок имеет значительный горизонтальный размер и угловую расходимость. Например, при быстром выводе пучок имеет в точке А (рис. 1) полную ширину до 20 см и полный угловой развор до 35 мрад. После магнита протонный пучок фокусируется несколькими магнитными квадрупольными линзами. Первое стигматичное изображение F_1 можно получить как при разн \ddot{u} й, так и при одинаковой полярности линз. Первая ступень системы с использованием дублета линз, рассмотренная в работах ^{1,2/}, более удобна с точки зрения настройки и коэффициентов увеличения, но требует большей силы линз. В настоящей работе приведен расчет и характеристики первой ступени системы транспортировки с линзами одинаковой полярности, а также расчет и характеристики упрощенного варианта второй ступени, состоящей только из дублета линз.

Такая система транспортировки предназначена для использования выведенного пучка в пределах зала ускорителя или в так называемом нейтронном павильоне (рис. 1, здание II).

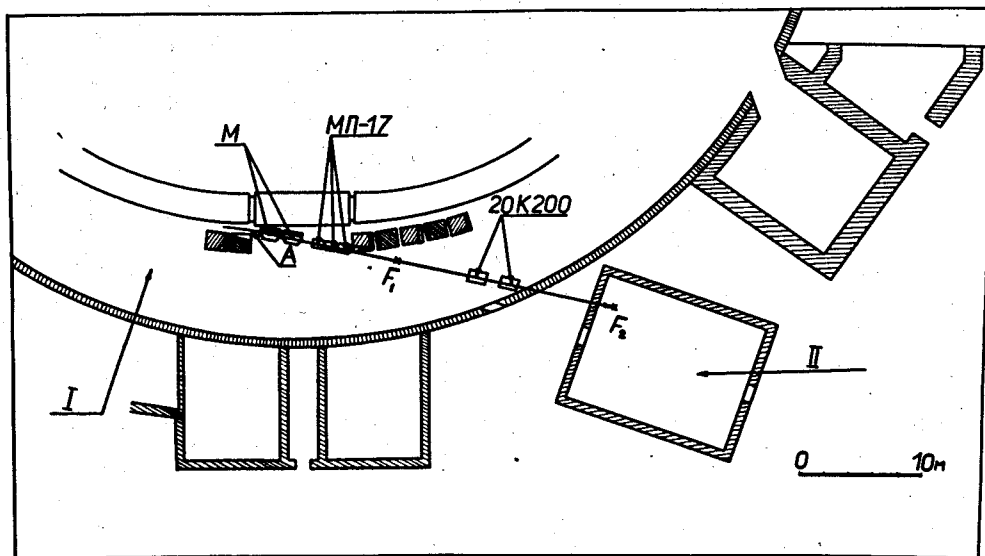


Рис.1. Расположение оборудования системы транспортировки. Точка А - место выхода протонного пучка из рассеянного поля ускорителя, I - зал ускорителя, II - нейтронный павильон, F_1 и F_2 - первое и второе изображения протонного пучка.

2. Основные формулы, используемые при расчете

Движение протонов в элементах системы описывалось с помощью линейных уравнений, переменные в которых разделены (параксиальное приближение). Расчет производился в прямоугольных координатах системы транспортировки. Криволинейность осевой траектории в магните не учитывалась, т.к. ввиду малого разброса по импульсам выведенного протонного пучка ($\frac{\Delta p}{p} = 0,01\%$) дисперсионные свойства магнита можно не принимать во внимание. При расчете первой ступени характеристики пучка на выходе из ускорителя описывались с помощью действительного промежуточного источника в вертикальной плоскости и мнимого - в горизонтальной /2/. Положение L_r и L_v (рис. 2) и размер этих источников получены на основании расчетов движения протонов в условиях резонанса в ускорителе, септум-магните и краевом поле III квадранта ускорителя /3/. Расстояние от источников до входного края элемента будем считать положительным ($L > 0$), если источник расположен слева от элемента (пространство источников). Расстояние до изображения будет положительным ($T > 0$), если изображение находится справа от элемента (пространство изображений). В линейном приближении магнит с градиентом и квадрупольную линзу можно рассматривать как элементы, производящие линейное преобразование исходных значений смещений и углов траекторий в их конечные значения. Действие магнитов, свободных промежутков и линз представляется как ряд последовательных линейных преобразований, которые записываются с помощью матриц.

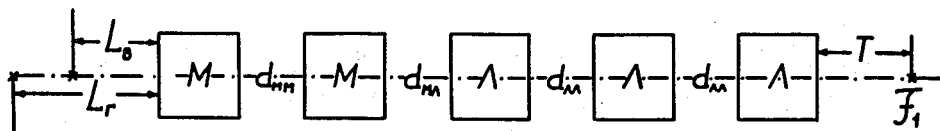


Рис.2. Первая ступень системы транспортировки: М - магнит; Л - линза; d_{mm} - расстояние между магнитами; d_{ml} - расстояние между линзами; L - и T - расстояния до источников и изображений.

Матрицы поворотного магнита, фокусирующего пучок в горизонтальной плоскости (показатель поля $n < 0$), имеют вид:

$$M_{\Gamma} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}_{\Gamma} = \begin{pmatrix} \cos \kappa_1 \theta & \frac{R_0}{\kappa_1} \sin \kappa_1 \theta \\ -\frac{\kappa_1}{R_0} \sin \kappa_1 \theta & \cos \kappa_1 \theta \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$M_B = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}_B = \begin{pmatrix} \text{ch} \kappa_2 \theta & \frac{R_0}{\kappa_2} \text{ch} \kappa_2 \theta \\ \frac{\kappa_2}{R_0} \text{sh} \kappa_2 \theta & \text{ch} \kappa_2 \theta \end{pmatrix}.$$

Здесь $\kappa_1 = \sqrt{|1-n|}$, $\kappa_2 = \sqrt{|n|}$, R_0 и θ - равновесный радиус и угол поворота магнита. Матрица перехода магнита связывает положение источника и его изображений ^{4/}. Поскольку расстояние до источников L_{Γ} и L_B нам дано, можно найти положение изображений x) $T_{\Gamma M}$ и T_{BM} после магнита:

$$T_{\Gamma M} = - \frac{L_{\Gamma} \cos \kappa_1 \theta + \frac{R_0}{\kappa_1} \sin \kappa_1 \theta}{-L_{\Gamma} \frac{\kappa_1}{R_0} \sin \kappa_1 \theta + \cos \kappa_1 \theta}, \quad (2)$$

$$T_{BM} = - \frac{L_B \text{ch} \kappa_2 \theta + \frac{R_0}{\kappa_2} \text{sh} \kappa_2 \theta}{L_B \frac{\kappa_2}{R_0} \text{sh} \kappa_2 \theta + \text{ch} \kappa_2 \theta}$$

В свободном пространстве длиной S протон движется прямолинейно:

$$S_{\Gamma B} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & S \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Если поле вдоль оси магнитной квадрупольной линзы аппроксимировано прямоугольником со стороной l , матрицы перехода линзы в фокусирующих и дефокусирующих плоскостях будут:

^{x)} Формулы (2) справедливы для секторного магнита. Если магнит прямоугольный, поправка на краевую фокусировку во всех конкретных случаях не превышает 1+2%.

$$L_{\Phi} = \begin{pmatrix} \ell_{11} & \ell_{12} \\ \ell_{21} & \ell_{22} \end{pmatrix}_{\Phi} = \begin{pmatrix} \cos k\ell & \frac{1}{k} \sin k\ell \\ -k \sin k\ell & \cos k\ell \end{pmatrix},$$

$$L_{D} = \begin{pmatrix} \ell_{11} & \ell_{12} \\ \ell_{21} & \ell_{22} \end{pmatrix}_{D} = \begin{pmatrix} \operatorname{ch} k\ell & \frac{1}{k} \operatorname{sh} k\ell \\ k \operatorname{sh} k\ell & \operatorname{ch} k\ell \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Здесь $k = \sqrt{\frac{G}{BR}}$ - сила линзы, G [гс/см] - градиент линзы, BR [гс см] - магнитная жесткость протона. В нашем случае линза (или несколько линз), стоящая после магнита с градиентом, имеет дефокусировку в горизонтальной плоскости и фокусировку - в вертикальной. Матрица перехода всей системы K будет представлять собой произведение всех матриц ее элементов:

$$K = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{pmatrix} = [L][S][M]. \quad (5)$$

Расстояния до изображений от выхода из последней линзы:

$$T_{\Gamma} = - \frac{L_{\Gamma} K_{11\Gamma} + K_{12\Gamma}}{L_{\Gamma} K_{21\Gamma} + K_{22\Gamma}},$$

$$T_{B} = - \frac{L_{B} K_{11B} + K_{12B}}{L_{B} K_{21B} + K_{22B}}. \quad (6)$$

3. Расчет первой ступени системы транспортировки

Было рассмотрено несколько вариантов первой ступени системы с использованием различных типов и разного числа магнитных квадрупольных линз. Чтобы индукция в поворотном магните M (рис. 1), показатель

поля n в котором довольно велик ($\approx 10^2$ и выше), не превышала 10 ± 12 кгс, необходимо увеличить его длину. Из конструктивных соображений магнит был разделен на 2 элемента с эффективной длиной 160 см каждый. Профиль полюсов обоих элементов был выбран таким, что при угле поворота в каждом из них, равном 0,052 рад, показатель поля n имел величину -140 . Минимально возможное расстояние между элементами магнитов 17 см^x , расстояние от точки А (рис. 1) до входа в первый элемент магнита 100 см (оно лимитируется размером основной обмотки магнита ускорителя). Число линз первой ступени системы и вариация расстояний между элементами в значительной мере ограничена в данном случае длиной прямолинейного промежутка синхрофазотрона, которая составляет 800 см.

В настоящей работе расчет системы транспортировки производился с использованием ЭВМ класса БЭСМ-4. Предварительно выбирались следующие характеристики системы: угол поворота в каждом элементе магнита θ , пределы изменения n , число линз, пределы изменения $k\ell$, расстояния между всеми элементами системы L_G и L_B . Для пучка протонов с $p = 10,59$ Гэв/с при быстром выводе $L_G = 673,5$ см и $L_B = 80$ см (при этом угол поворота в септум-магните равен $55'20''$, показатель поля в нем -75). Расчет первой ступени системы можно производить в 2-х режимах программы. В первом режиме рассчитываются расстояния до изображений T_G и T_B в зависимости от $k\ell$ с шагом $h(k\ell)$ для разных значений n в магните с шагом h_n . Шаг по $h(k\ell)$ и h_n определен в начальных условиях. Во втором режиме для каждого n подбирается такое значение $k\ell$ в линзах, чтобы получить на расстоянии T стигматичное изображение с заданной точностью ϵ . Были рассмотрены варианты 1 ступени с использованием магнитных квадрупольных линз типа МЛ-15, МЛ-17, а также 20-К200. Для определения предела значений импульсов протонного пучка, который может транспортироваться с помощью этих линз, получена зависимость силы линз $k\ell$ при максимальном градиенте в них от импульса пучка (рис. 3). На рис. 4 приведена зависимость T_G и T_B от $k\ell$ в линзах для системы из

^{x)} Здесь и в дальнейшем все расстояния берутся относительно эффективных длин магнитов и линз.

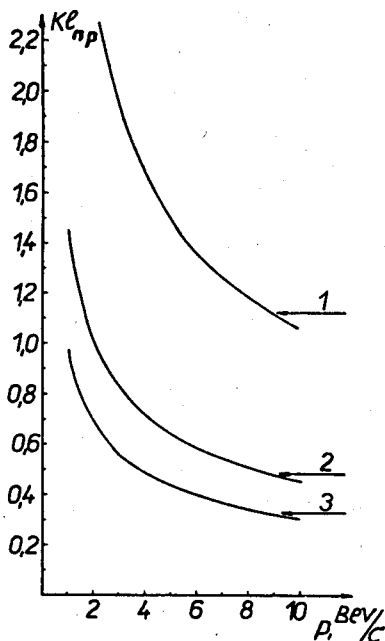


Рис.3. Зависимость $k\ell_{пр}$ в магнитных квадрупольных линзах от импульса частиц: 1 - линза 20-K200, $G = 1000$ гс/см; 2 - линза МЛ-15, $G = 800$ гс/см; 3 - линза МЛ-17, $G = 650$ гс/см.

двухэлементного магнита М и 2-х линз типа МЛ-15. Показатель поля в магнитах взят в пределах $(-110)+(-150)$. Расстояние между магнитом и первой линзой $d_{мл} = 100$ см, между первой и второй линзой $d_{лл} = 25$ см. Как видно из рис. 4, изменение n слабо влияет на T_B и сильно - на T_G . Пересечения T_G и T_B с одинаковыми значениями n дают точки стигматичных изображений. Только для $n = -110$ и -120 значения $k\ell$ в такой системе лежат ниже предельных для импульса $10,59$ Гэв/с.

На рис. 5 для той же системы приведена зависимость $k\ell$, необходимых для получения стигматичных изображений, от расстояния между вторым магнитом и первой линзой $d_{мл}$ (верхние кривые) при разных расстояниях между линзами $d_{лл}$ и разных n . В нижней части

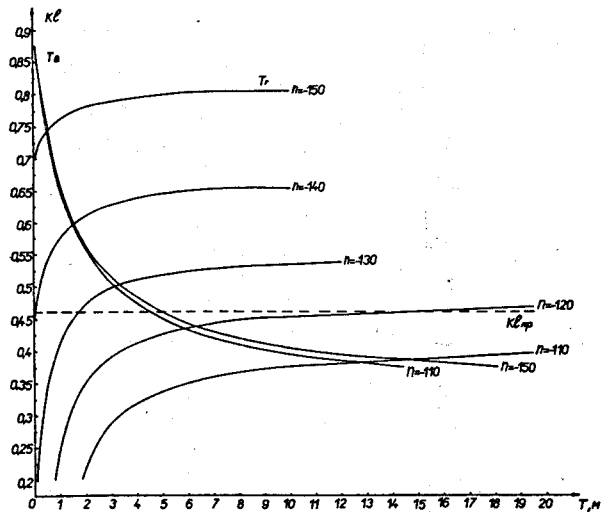


Рис.4. Зависимость $T_{Г}$ и $T_{В}$ от k_l в линзах для системы из двух-элементного магнита и 2-х линз МЛ-15. Пунктирной линией показано предельное значение $k_l_{пр} = 0,46$ для импульса протонов $p = 10,59$ Гэв/с.

того же рисунка показаны соответствующие расстояния до стигматичного изображения T . Видно, что с точки зрения уменьшения k_l целесообразно расстояния $d_{мл}$ и $d_{лл}$ свести к минимуму. При фиксированном n в магнитах расстояния до изображения можно менять только за счет изменения геометрии системы. Например, в рассматриваемой системе при $n = -130$ и $d_{лл} = 20$ см изменение $d_{мл}$ от 30 до 60 см меняет T от 9 до 5,75 м. Изменение n при фиксированной геометрии ($d_{мл} = 30$ см, $d_{лл} = 20$ см) дает возможность менять T в более широких пределах: T возрастает от 3,25 до 9 м при уменьшении n от /150 до 130/ (рис. 6). Поскольку в первоначальном исполнении в магнитах не предусмотрена возможность изменения n , то при выбранном $n = -140$ стигматичное изображение можно получить на расстоянии $T = 5,35$ м вплоть до импульса протонов $p = 9$ Гэв/с ($k_l = 0,476$).

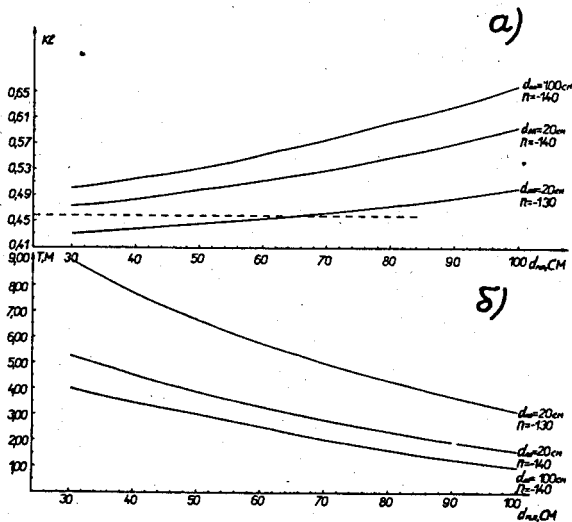


Рис.5. Система из двухэлементного магнита M и 2-х линз МЛ-15;
 а) зависимость $k\ell$ от расстояния между вторым магнитом и первой линзой $d_{мл}$; б) зависимость расстояний до стигматических изображений от $d_{мл}$.

Была рассмотрена также возможность использования для данной системы линз типа МЛ-17. Поскольку градиент в этих линзах ниже, чем в МЛ-15 ($G_{мл-15} = 800$ гс/см, $G_{мл-17}$ МЛ-17 = 650 гс/см), сразу рассматривалась система, в которую входят три линзы, включенные с одинаковым знаком градиента.

На рис. 7 приведена зависимость расстояния до стигматического изображения T от n в магнитах и $k\ell$, необходимых для получения этого изображения. Расстояние $d_{мл} = 30$ см, расстояния между линзами $d_{лл} = 20$ см. Если $n = -140$, то на расстоянии 4,25 метра от выхода из последней линзы можно получить стигматическое изображение до $p = 7$ Гэв/с ($k\ell = 0,347$). Нужно отметить, что применение линз МЛ-17 несколько выгоднее, поскольку большая апертура последних

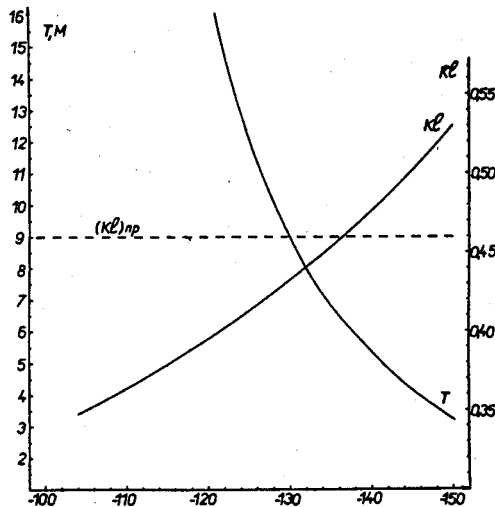


Рис.6. Система из двухэлементного магнита M и 2-х линз $MЛ-15$. Зависимость расстояния до стигматического изображения T и kL и показателя поля n в магнитах.

($a_{MЛ-15} = 15$ см, $a_{MЛ-17} = 26$ см) уменьшит возможные потери при транспортировке пучка с разными импульсами. Линза $20K-200$ в первой ступени дает возможность получить стигматическое изображение на расстоянии $T = 5,5$ м ($n = -140$) до максимального импульса протонов.

4. Вторая ступень системы транспортировки

С помощью второй ступени системы транспортировки необходимо получить стигматическое изображение (или, по крайней мере, минимальный размер пучка в горизонтальной плоскости) в нейтронном павильоне. Расчет дублета квадрупольных линз второй ступени производился также с использованием матричного метода на ЭВМ.

Были рассмотрены возможности использования для этой цели линз МЛ-7 и МЛ-15. Расстояние от первого изображения до входа второго дублета $L = 6,5$ м, расстояние между линзами 90 см. Выбор этих расстояний обусловлен расположением оборудования и бетонной защиты в районе канала транспортировки протонного пучка. Расстояние от выхода второго дублета до второго стигматичного изображения составляет 8 м. С помощью линз МЛ-7 требуемое стигматичное изображение можно получить только для импульсов до 3,5 Гэв/с, а с помощью МЛ-15 — до 5 Гэв/с. Только применение линз типа 20К-200 дает возможность получить стигматичное изображение до импульсов 10 Гэв/с. На рис. 8 показана зависимость $k_1 \ell$ и $k_2 \ell$ для дублета линз 20К-200 от расстояния до стигматичного изображения T при расстоянии между линзами 90 см. Для $T=8$ м $k_1 \ell = 0,88$ и $k_2 \ell = 0,86$.

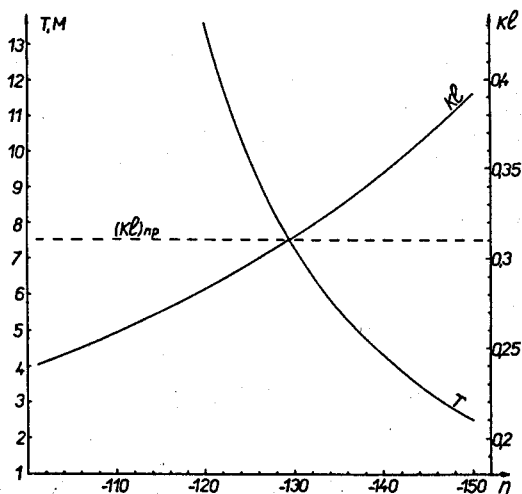


Рис.7. Система из двухэлементного магнита M и 3-х линз МЛ-17. Зависимость расстояния до стигматичного изображения T и $k\ell$ от B в магнитах.

Расчет траекторий через систему транспортировки производился с помощью программы, позволяющей получить отклонение и угол протона в любом месте системы. В качестве исходных данных нужно задать

отклонение и угол на входе системы, а также характеристики и геометрию системы. Траектории можно рассчитывать с учетом нелинейных эффектов в магнитах и в линейном приближении /5/.

Рассмотрим систему, в первую ступень которой входит двухэлементный магнит и три линзы МЛ-17 ($T=4,25$ м), а во вторую - две линзы МЛ-7 ($L = 6,5$ м, $T=8$ м). В этой системе размер первого изображения в горизонтальной плоскости 12 мм, в вертикальной 5 мм, размер второго изображения - 35 и 5 мм, соответственно. Эти размеры изображения соответствуют линейному полю в магнитах. Если нелинейность в магнитах некомпенсирована ($n(R) = \text{const}$), то это приводит при выбранных выше характеристиках системы к нарушению стигматизма как первого, так и второго изображения и увеличению горизонтального размера второго изображения до 200 мм.

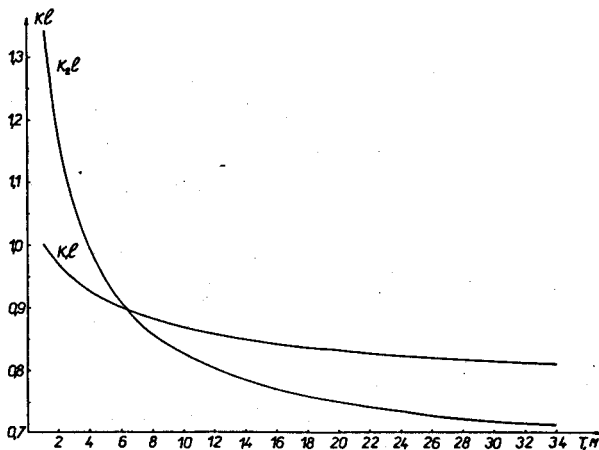


Рис.8. Дублет квадрупольных линз 20К-200. Зависимость $k_{1,l}$ и $k_{2,l}$ от расстояния до стигматичного изображения T . Расстояние до источника $L = 650$ см, расстояние между линзами дублета - 90 см.

Приложение 1

Описание программы РСТ-1 (расчет 1 ступени системы транспортировки)

Программа для расчета 1 ступени системы транспортировки (рис.9) составлена в 2-х вариантах. В первом варианте рассчитываются расстояния до изображений T_{Γ} и $T_{\text{В}}$ в зависимости от kl с шагом h_{kl}

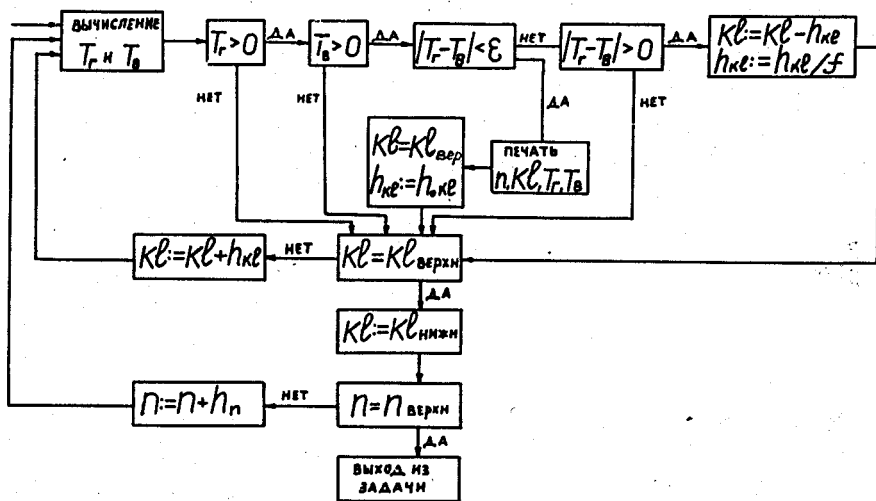


Рис.9. Блок-схема программы РСТ-2.

для разных значений n с шагом h_n . Шаг по kl и n определен в начальных условиях. Второй вариант программы позволяет для каждого n подобрать такое kl в линзах, чтобы получить стигматичное изображение с заданной точностью ϵ . При этом подборе шаг по kl дробится в заданное число раз f (определено в начальных условиях). На печать выводятся n , kl и расстояния до стигматичного изображения. В качестве начальных условий в программе должны быть заданы следующие величины: n (нижний предел), h_n , kl (нижний предел), h_{kl} , L_{Γ} , $L_{\text{В}}$, R_0 , ℓ , θ , n (верхний предел), kl (верхний

предел), $d_{\text{мм}}$, $d_{\text{мл}}$, $d_{\text{лл1}}$, ϵ , f , $k \Sigma 0$, число линз (2 или 3), $d_{\text{лл2}}$, $k \Sigma 0$.

Приложение 2

Описание программы "PCT-2" (расчет системы транспортировки)

Для системы из 4-х квадрупольных линз по программе PCT-2 (рис.10) можно найти расстояние T до стигматического изображения и соответствующие kl в линзах по заданному L_{Γ} и $L_{\text{В}}$. Программа состоит из 3-х блоков: 1) блок вычисления T_{Γ} и $T_{\text{В}}$ (БВ); 2) блок анализа результатов (БА); 3) блок управления циклами (БУ). В первом из них по матричным формулам вычисляются T_{Γ} и $T_{\text{В}}$ для текущих значений

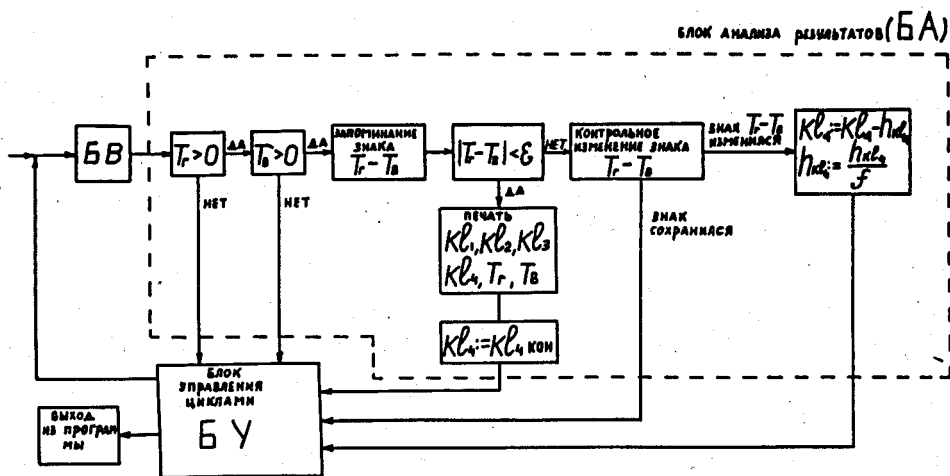


Рис.10. Блок-схема программы PCT-2.

$k\ell$. В блоке управления циклами БУ происходит переход к новым значениям $k\ell$ в линзах, а затем управление передается либо на БВ, либо на выход из задачи, если все допустимые значения $k\ell$ пройдены. В зависимости от признака (Π), который задан в начальных условиях, БУ может работать в разных режимах. Если $\Pi=1$, то значение $k\ell$ во всех 4-х линзах меняется независимо. Изменение происходит в следующем порядке: при фиксированных $(k\ell)_1$, $(k\ell)_2$ и $(k\ell)_3$ величина $(k\ell)_4$ проходит весь интервал заданных значений с шагом $h_{(k\ell)_4}$. Затем цикл вычислений по $(k\ell)_4$ повторяется после прибавления шага h только к $(k\ell)_3$ до тех пор, пока $(k\ell)_3$ не достигнет верхнего предела. Аналогичные циклы повторяются при изменении $(k\ell)_2$ и $(k\ell)_1$. Расчет заканчивается, когда все четыре значения $k\ell$ достигнут верхних пределов. Если $\Pi=2$, то рассчитывается система, где первая линза соединена со второй, и третья с четвертой. Признак Π может быть задан от 1 до 14, что соответствует разным коммутациям 4-х линз.

Блок БА анализирует величины T и их разности. Если T_{Γ} и $T_{\text{В}} < 0$, то управление передается на БУ для перехода к новому $k\ell$. При T_{Γ} и $T_{\text{В}} > 0$ анализируется разность $(T_{\Gamma} - T_{\text{В}})$. Изменение знака разности означает, что точка стигматического изображения пройдена по $k\ell$. Тогда происходит возврат к предыдущему циклу и шаг по $k\ell$ дробится на f частей (задано в начальных условиях), пока $(T_{\Gamma} - T_{\text{В}})$ не будет найдено с заданной точностью ϵ . После этого печатаются $(k\ell)_1$, $(k\ell)_2$, $(k\ell)_3$, $(k\ell)_4$, T_{Γ} и $T_{\text{В}}$.

В начальные условия выведен признак печати ($\Pi\text{Ч}$): при $(\Pi\text{Ч})=0$ печатаются вышеуказанные величины, при $(\Pi\text{Ч}) > 0$ происходит печать $k\ell$, T_{Γ} и $T_{\text{В}}$ на каждом шаге. Для характеристики полярности линз введены признаки полярности ($\Pi\Pi_1, \dots, \Pi\Pi_4$), при $\Pi\Pi_1 = 1$ линза фокусирует в горизонтальной плоскости, при $\Pi\Pi_1 = -1$ - в вертикальной. Начальные данные в программе должны быть заданы в следующем порядке: 1) L_{Γ} , $L_{\text{В}}$, $k\Sigma 0$; 2) $[(k\ell)_1 \div (k\ell)_4]_{\text{нижн.}}$; 3) $l_1 \div l_4$; 4) $h_{k\ell_1} \div h_{k\ell_4}$; 5) $[(k\ell)_1 \div (k\ell)_4]_{\text{верх.}}$; 6) $\Pi\Pi_1 + \Pi\Pi_4$; 7) d_1, d_2, d_3 (расстояния между линзами); 8) $\Pi\text{Ч}$; 9) $\Pi, k\Sigma 0$. Программа РСТ-2 позволяет рассчитывать также систему из меньшего числа линз. В этом случае вместо отсутствующих линз задаются нули.

Приложение 3

Описание программ "ТСТ" (траектории системы транспортировки)

Программа ТСТ (рис. 11) по заданным горизонтальным и вертикальным отклонениям и углам γ_0 , α_0 , z_0 , $\alpha_{\perp 0}$ и характеристикам

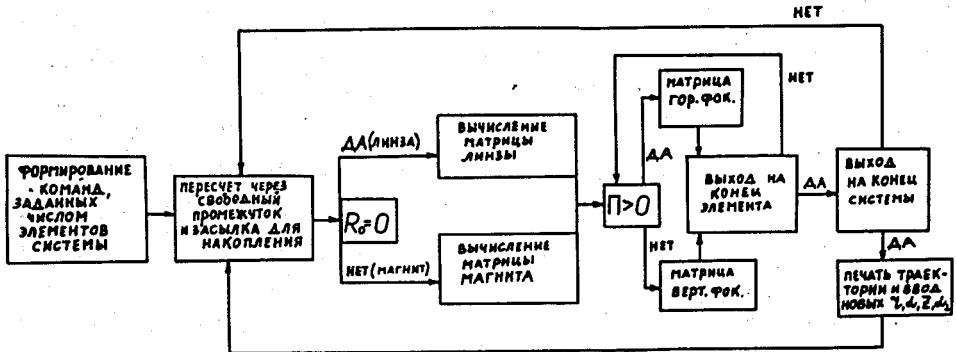


Рис.11. Блок-схема программы ТСТ.

кам системы, состоящей из магнитов и линз, осуществляет расчет γ , α , z , α_{\perp} на выходе из системы и в любом месте внутри системы. Количество элементов может быть любым, но не больше 110. Информация к программе должна быть задана в следующем порядке: 1) число элементов системы; 2) γ_0 , α_0 , z_0 , $\alpha_{\perp 0}$ на входе системы; 3) длины свободных промежутков; 4) n для магнитов и $k\ell$ для линз; 5) θ для магнитов и ℓ для линз; 6) R_0 для магнитов (для линз нули); 7) n_1 при учете нелинейных эффектов в магнитах (нуль во всех прочих случаях); 8) признак Π , характеризующий элемент: $\Pi > 0$ -

элемент горизонтально-фокусирующий, $\Pi < 0$ - вертикально-фокусирующий (если $|\Pi| = f > 1$, то данный элемент разбивается на f равных интервалов и параметры траектории печатаются в конце каждого из них); 9) расстояние от выхода из системы, на котором нужно получить параметры траектории; 10) признак конца; 11) $r_0, \alpha_0, z_0, \alpha_{\perp 0}$ следующей траектории и т.д. Выдача результатов в данной программе: 1) печать исходных данных системы и первой траектории; 2) печать $r, \alpha, z, \alpha_{\perp}$ первой траектории на входе первого элемента и в точках системы, определенных в начальных условиях; 3) печать исходных данных следующей траектории и т.д.

Л и т е р а т у р а

1. Л.П. Зиновьев, И.Б. Иссинский, В.И. Котов, Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Н.И. Павлов. Препринт ОИЯИ Р-2387, Дубна 1965.
2. Е.М. Кулакова. Расчет поворотных-фокусирующих систем из магнита с градиентом и магнитных квадрупольных линз. Препринт ОИЯИ 9-4386, Дубна 1969.
3. Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Л.А. Смирнова, Б.В. Феоктистов. Препринт ОИЯИ Р-2880, Дубна 1966.
4. В.С. Кладницкий. Препринт ОИЯИ 1477, Дубна 1963.
5. И.Б. Иссинский, В.И. Котов, Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Л.А. Смирнова. Препринт ОИЯИ 2326, Дубна 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел

7 апреля 1969 года.