Институт Теоретической и Экспериментальной Физики

22 – 01

ITEP-22-01

С. А. Высоцкий, А.А. Голубев, Т.В. Кулевой, В.И. Першин, А. Д. Фертман, Б.Ю. Шарков, С.Г. Ярамышев

Fermilab Library
0 1160 0092404 7

Разработка канала транспортировки пучка ионов Cu^{+3} и U^{+4} между ускоряющей секцией RFQ и газовой мишенью.

Москва 2001

FEB 25 2002

УДК 621.387.324 М-16

Разработка канала транспортировки пучка ионов Cu^{+3} и U^{+4} между ускоряющей секцией RFQ и газовой мишенью: Препринт ИТЭФ 22-01/

С.А. Высоцкий, А.А. Голубев, Т.В. Кулевой, В.И. Першин, А.Д. Фертман, Б.Ю. Шарков, С.Г. Ярамышев – М., 2001 – 11с.

Разработан канал транспортировки тяжёлых многозарядных ионов от ускорителя с ПОКФ структурой на 27 МГц до плазменной мишени. Канал должен обеспечить условия прохождения пучка максимально возможной интенсивности через мишень. Рассмотрены варианты канала для транспортировки ионов Cu^{+3} и U^{+4} с использованием квадрупольных линз различной конструкции.

The desigin of the beam transport channel for the ions Cu^{+3} and U^{+4} between accelerating section RFQ and plasma target: Preprint ITEP 22-01/

S.A. Visotski, A.A. Golubev, T.V. Kulevoy, V.I. Pershin, A.D. Fertman, B.Y. Sharkov, C.G. Yaramishev – M., 2001 – 11p.

The transportation channel for multicharge heavy ions beam from 27 MHz RFQ accelerator to plasma target was designed. The channel should provide the beam transportation with maximum intensity through the target. It was designed for Cu^{+3} and U^{+4} ion beams on the base of quadrupole lenses with different constructions.

Рис.- 15, список лит. – 8 наим.

© Институт теоретической и экспериментальной физики, 2001

Целью данной работы является разработка конструкции канала транспортировки пучка от существующего ускорителя тяжёлых многозарядных ионов с RFQ структурой на 27 МГц [1] до плазменной мишени.

Плазменная мишень представляет собой цилиндр длинной 1 метр с внутренним диаметром 6 мм, заполненный газом под давлением 1 мм рт. ст. С двух сторон цилиндр закрывают диафрагмы с отверстиями диаметром 1 мм. За плазменной мишенью на расстоянии двух метров располагается диагностическая аппаратура [2].

По условиям эксперимента, требуется обеспечить условия прохождения пучка максимально возможной интенсивности через мишень. Потери частиц в объёме мишени должны иметь минимальную величину. Размеры пучка не должны превышать размеры чувствительной области диагностических датчиков.

Протяженность транспортного канала не должна превышать 3.9 метров.

Для разработки конструкции канала необходимы фазовые характеристики пучка на входе в канал и параметры пучка на выходе канала, обеспечивающие требуемые условия транспортировки пучка в плазменной мишени.

Для вычислений использована программа Trace-3D [3].

1. Фазовые характеристики пучка на выходе ускорителя

Моделирование динамики пучка, состоящего из смеси ионов меди Cu^{+2} и Cu^{+3} в отношении 1:1 по заряду, в ускорителе с помощью программы DYNAMION [4] позволили получить фазовые характеристики пучка на его выходе. Полученные результаты приведены на рис. 1. Функциональные возможности программы Trace-3D позволяют проводить вычисления с частицами одного сорта. Для экспериментов предполагалось использовать ионы Cu^{+3}. Пучок, состоящий из смеси ионов Cu^{+2} и Cu^{+3}, был заменён пучком ионов Cu^{+3} суммарной интенсивности обоих компонент – 4 мА. Расчёты проводились для этого типа частиц.

2. Исследование динамики пучка в плазменной мишени

На рис. 2 приведены полученные в результате подбора фазовых характеристик пучка на входе в мишень огибающие пучка в трёх плоскостях и представляющие эллипсы.

Пучок в поперечном измерении имеет форму круга радиусом 0.49 мм на входе в мишень и 0.62 - на выходе из неё. Пучок - сходящийся на входе в мишень и расходящийся на выходе из неё, его кроссовер расположен в средней части мишени. Потерь частиц в объёме мишени не наблюдаются.

На рис. 3 показаны огибающие пучка на участке расположения диагностической аппаратуры за мишенью. Пучок на расстоянии двух метров от мишени имеет в поперечном направлении форму диска радиусом 2 мм. На рис. 4 приведена экранная копия файла результатов расчета динамики пучка в канале с плазменной мишенью программой Trace-3D.

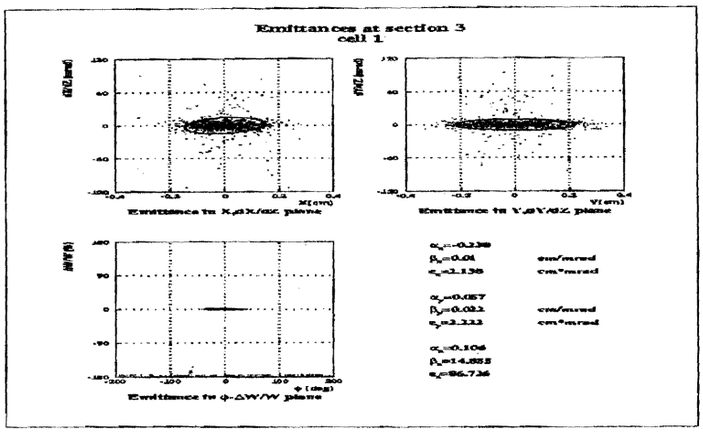


Рис. 1. Фазовые характеристики пучка на выход ускоряющей секции RFQ. Ток пучка 4 мА.

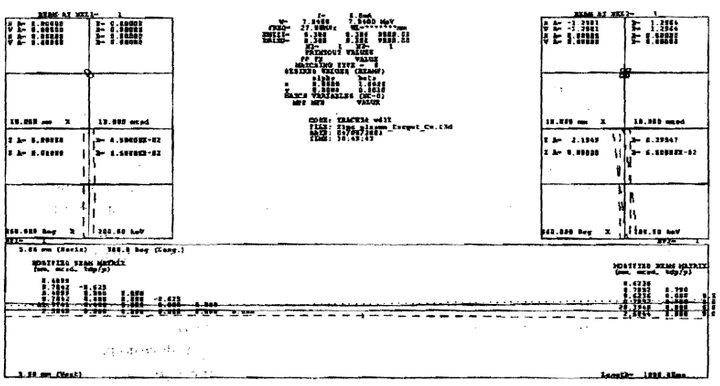


Рис. 2. Огибающие пучка ионов Cu^{+3} и представляющие эллипсы в начале и конце плазменной мишени.

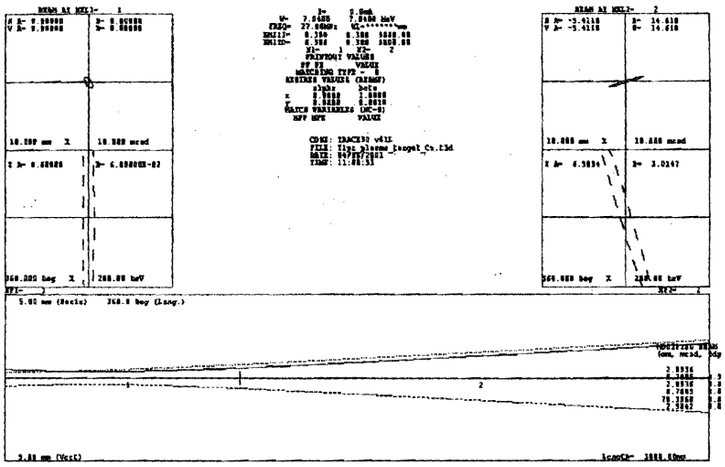


Рис. 3 Огибающие пучка ионов Cu^{+3} и представляющие эллипсы для канала, состоящего из газовой мишени и участка размещения диагностической аппаратуры. Суммарная длина – 3 метра.

```
&DATA
ER= 59120.00000  Q= 3.  W=     7.94000  XI=     0.0011
EMITI =      0.300000      0.300000   9000.000000
BEAMI =      0.00000       0.00000      0.00000       0.00000       0.00000       0.06000
BEAMF =      0.00000       1.00000      0.00000       0.00100       0.00000       3.00000
BEAMCI=      0.00000       0.00000      0.00000       0.00000       0.00000       0.00000
FREQ=    27.000  PQEXT=  2.50  ICHROM= 0  IBS= 0  XC=    0.0000
XM=   5.0000  XPM=  10.0000  YM=   5.00  DPM= 360.00  DYM=  200.00  DPP= 360.00
XMI=  10.0000  XPMI=  10.0000  XMF=  10.0000  XPMF=  10.0000
DPMI= 360.0000  DPMF= 360.0000  DYMI= 200.0000  DYMF= 200.0000
MT=    1  MZ=    2  SMAX=  10.0  PQSMAX=   2.0  MEL1=    1  MEL2=    2  MP1=    1  MP2=    2
MT= 0  MC= 0  IPLANE= 0 0 0  MP=0,00000 0,00000 0,00000 0,00000 0,00000 0,00000 0,00000
 MVC=0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0
VAL=     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000
CMT(001)='Drift    '  MT(001)=    1  A(1,001)= 1000.0000
CMT(002)='Drift    '  MT(002)=    1  A(1,002)= 2000.0000
COMENT='Expected current of the particles Cu+3 - 1.1 mkA'
&END
```

Рис. 4. Файл результатов расчёта динамики пучка программой Trace-3D.

Линзы имеют эффективную длину – 320 мм, расстояние между полюсами – 150 мм, максимальный градиент магнитного поля – 8 Т/м [5]. Для фокусировки пучка использованы три линзы. Меньшее число фокусирующих элементов не позволяет получить требуемые фазовые характеристики пучка на выходе из канала, использование большего числа линз заметно повышает стоимость канала и усложняет его настройку. Размеры помещения, в котором в настоящее время располагается ускоритель ТИПР, накладывают ограничения на максимальную длину транспортного канала, которая не должна превышать 3.9 метров. Фазовые характеристики пучка на входе в плазменную мишень подобраны таким образом, чтобы обеспечить максимальное перекрытие углового распределения частиц на входе в мишень и в самой мишени (рис. 5).

3. Исследование возможности использования линз МЛ-14 в канале транспортировки пучка

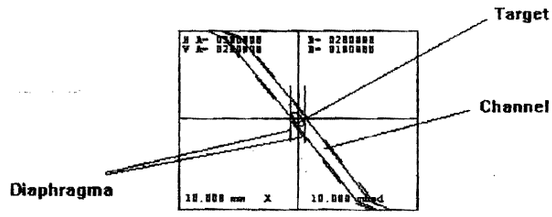


Рис. 5. Фазовые эллипсы на входе в плазменную мишень (Target). Фазовый эллипс, обозначенный (Channel), соответствует рассчитанным фазовым характеристика пучка в мишени. Вертикальными линиями, обозначенными (Diaphragma) выделена область пучка на фазовой плоскости, проходящего в плазменную мишень.

На рис. 6 показаны огибающие и представляющие эллипсы пучка в рассчитанном канале. На рис. 7 представлен файл результатов расчёта программы Trace-3D. В табл. 1 приведены важнейшие конструктивные параметры канала.

Таблица. 1. Параметры канала для транспортировки ионов Cu^{+3}

Параметр\ Частицы	Cu^{+3}
Дрейф (mm)	877.72
Линза(МЛ-14), G (T/m)	**3.68**
Дрейф (mm)	1133.29
Линза (МЛ-14), G (T/m)	**-6.77**
Дрейф (mm)	165.25
Линза (МЛ-14), G (T/m)	**8.15**
Дрейф (mm)	100.0

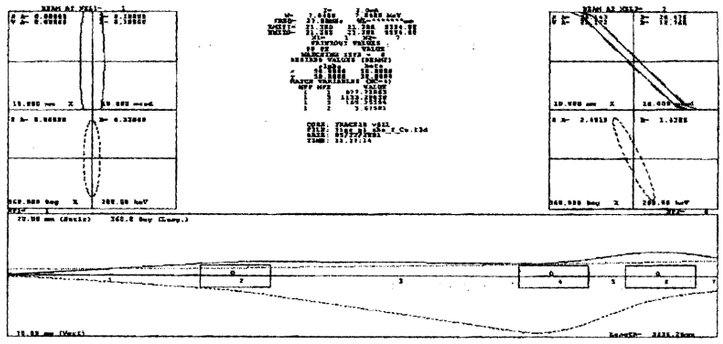
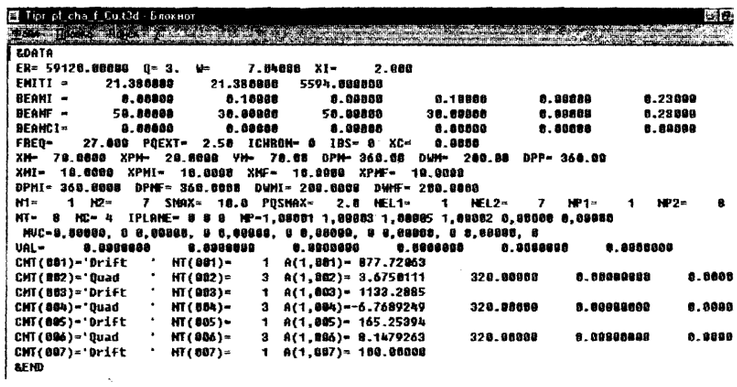


Рис. 6. Огибающие и представляющие эллипсы пучка ионов Cu^{+3} в транспортном канале.



```
Tipr pl_cha_f_Cu.t3d - Блокнот
&DATA
ER= 59120.00000  Q= 3.  W=     7.04000  XI=     2.000
EMITI =     21.300000     21.300000   5594.000000
BEAMI =       0.00000       0.10000       0.00000       0.10000       0.00000       0.23000
BEAMF =      50.00000      30.00000      50.00000      30.00000       0.00000       0.28000
BEAMCI=       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000
FREQ=    27.000  PQEXT=  2.50  ICHROM= 0  IBS= 0  XC=   0.0000
XM=  70.0000  XPM=  20.0000  YM=  70.00  DPM= 360.00  DWM=  200.00  DPP= 360.00
XMI=  10.0000  XPMI=  10.0000  XMF=  10.0000  XPMF=  10.0000
DPMI= 360.0000  DPMF= 360.0000  DWMI= 200.0000  DWMF= 200.0000
N1=    1  N2=    7  SMAX=  10.0  PQSMAX=   2.0  NEL1=    1   NEL2=    7   NP1=    1   NP2=    0
NT=  0  MC= 4  IPLANE= 0 0 0  MP=1,00001 1,00003 1,00005 1,00002 0,00000 0,00000
 MVC=0.00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0
VAL=     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000
CMT(001)='Drift    '  NT(001)=    1  A(1,001)= 877.72063
CMT(002)='Quad     '  NT(002)=    3  A(1,002)= 3.6750111      320.00000     0.00000000     0.0000
CMT(003)='Drift    '  NT(003)=    1  A(1,003)= 1133.2885
CMT(004)='Quad     '  NT(004)=    3  A(1,004)=-6.7689249      320.00000     0.00000000     0.0000
CMT(005)='Drift    '  NT(005)=    1  A(1,005)= 165.25394
CMT(006)='Quad     '  NT(006)=    3  A(1,006)= 8.1479263      320.00000     0.00000000     0.0000
CMT(007)='Drift    '  NT(007)=    1  A(1,007)= 100.00000
&END
```

Рис. 7. Экранная копия файла результатов расчёта программой Trace-3D параметров канала транспортировки пучка ионов Cu^{+3}.

Результаты вычислений показывают, что градиенты магнитного поля в линзах не превосходят 8.2 Т/м. Траектории частиц не выходят из апертуры линз, при этом достигнуты требуемые фазовые характеристики на входе в плазменную мишень. Ток пучка, ожидаемый в плазменной мишени, определяется отношением (1).

$$I = \frac{I_0 \pi r^2}{\pi R^2}, \qquad (1)$$

где I_0 – ток пучка на выходе RFQ, R – радиус пучка на входе в плазменную мишень, r - радиус пучка в мишени. Ожидаемый ток пучка в мишени – 1.2 мкА.

4. Разработка канала транспортировки пучка ионов Cu^{+3} и U^{+4}

Фазовые характеристики пучка ионов Cu^{+3} приведены на рис. 1. Ток пучка – 4 мА. Эти же фазовые характеристики использованы при расчёте канала для ионов U^{+4}. Ток пучка - 0.1 мА.

При разработке канала были взяты за основу параметры линз, изготавливаемых в НИИФА [6]. Эффективная длина линзы определялась в соответствии с выражением (2) [7].

$$L_{эфф} = L_0\left(1 + {r_0}/{L_0}\right) , \qquad (2)$$

где $L_{эфф}$ - эффективная длина линзы, L_0 – длина полюсов линзы, R_0 – расстояние от оси до полюса линзы. Параметры линз приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры квадрупольных линз, изготавливаемых в НИИФА.

Тип линзы	7К25А-2500	15К50-1300
Апертура , r_0 (см)	7	15
Длина полная, L_0 (см)	25	50
Длина эффективная, L_0 (см)	28.5	57.5
Градиент (Т/м)	25	13

На рис. 8 приведены огибающие пучка и представляющие эллипсы для пучка Cu^{+3} в канале транспортировки пучка. На рис. 9 показана экранная копия файла результатов расчёта канала программой Trace-3D. В табл. 3 приведены важнейшие конструкционные параметры канала. Общая длина канала - 3.5 метров.

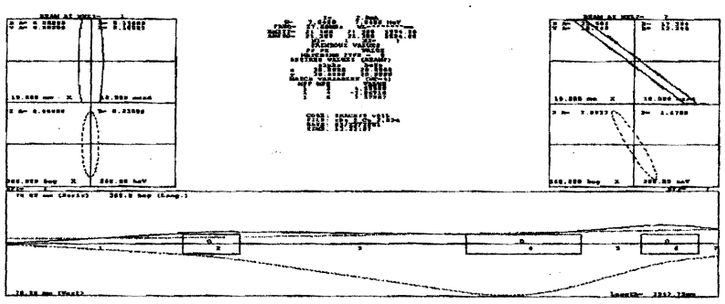


Рис. 8. Огибающие пучка и представляющие эллипсы для пучка Cu^{+3} в канале, предназначенном для транспортировки ионов Cu^{+3} и U^{+4}.

```
&DATA
ER= 59120.00000  Q= 3.  W=     7.04000  XI=     2.000
EMITI =     21.300000     21.300000   5594.000000
BEAMI =       0.00000       0.10000       0.00000       0.10000       0.00000       0.23000
BEAMF =      30.00000      20.00000      30.00000      20.00000       2.50500       1.47470
BEAMCI=       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000
FREQ=    27.000  PQEXT=  2.50  ICHROM= 0  IBS= 0  XC=    0.0000
XM= 70.0000  XPM=  20.0000  YM=  70.00  DPM= 360.00  DWM=  200.00  DPP= 360.00
XMI=  10.0000  XPMI=  10.0000  XMF=  10.0000  XPMF=  10.0000
DPMI= 360.0000  DPMF= 360.0000  DWMI= 200.0000  DWMF= 200.0000
N1=    1  N2=    7  SMAX=  10.0  PQSMAX=   2.0  NEL1=    1   NEL2=    7   NP1=    1   NP2=    7
MT=  8  NC= 4  IPLANE= 0 0 0  MP=1,00002 1,00004 1,00006 0,00000 0,00000 0,00000
 NOC=0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0
VAL=     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000
CMT(001)='Drift    '  MT(001)=    1  A(1,001)= 880.00000
CMT(002)='Quad     '  MT(002)=    3  A(1,002)= 4.5558792      285.00000     0.00000000     0.0000
CMT(003)='Drift    '  MT(003)=    1  A(1,003)= 1127.5875
CMT(004)='Quad     '  MT(004)=    3  A(1,004)=-3.0671041      575.00000     0.00000000     0.0000
CMT(005)='Drift    '  MT(005)=    1  A(1,005)= 295.16603
CMT(006)='Quad     '  MT(006)=    3  A(1,006)= 7.3789660      285.00000     0.00000000     0.0000
CMT(007)='Drift    '  MT(007)=    1  A(1,007)= 100.00000
&END
```

Рис. 9. Экранная копия файла результатов расчёта канала программой Trace-3D. Ионы Cu^{+3} .

Табл. 3. Параметры канала для транспортировка ионов Cu^{+3} и U^{+4}.

Параметр Частицы	Cu^{+3}	U^{+4}
Дрейф (mm)	880.0	
Линза (7К25А-2500), G (T/m)	**4.556**	**10.966**
Дрейф (mm)	1127.59	
Линза (15К50-1300), G (T/m)	**-3.067**	**-8.346**
Дрейф (mm)	295.17	
Линза (7К25А-2500), G (T/m)	**7.379**	**20.435**
Дрейф (mm)	100.0	

На рис. 10 приведены огибающие пучка и представляющие эллипсы для пучка U^{+4} в канале транспортировки пучка. Ток пучка – 0.1 мА. На рис. 11 показана экранная копия файла результатов расчёта канала программой Trace-3D для этого типа ионов. В табл. 3 приведены градиенты в квадрупольных линзах, рассчитанные для ионов U^{+4}.

Ожидаемый ток пучка в плазменной мишени – 57 нА.

5. Исследование возможности использования линз, разработанных для поворотного канала нейтронного генератора ИТЭФ.

Линзы имеют эффективную длину – 235 мм, расстояние между полюсами линз – 70 мм, максимальный градиент магнитного поля – 12 Т/м [8]. В настоящее время изготовлено 9 линз.

Основываясь на приведённых выше расчётах можно сделать заключение о возможности использования данных линз для транспортировки пучка ионов меди Cu^{+3}. Из этих же результатов видно, что требуются градиенты магнитного поля значительно превышающие максимально достижимые для транспортировки пучка ионов урана U^{+4}.

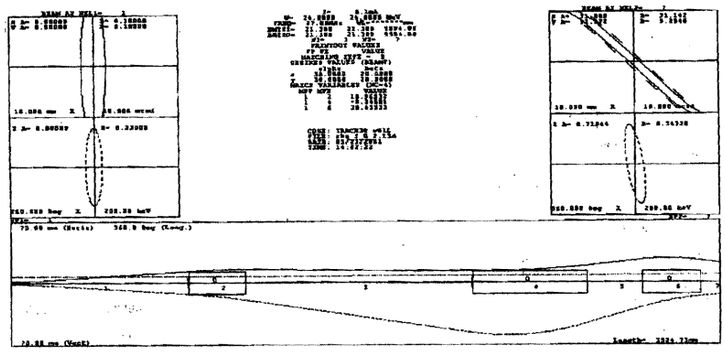
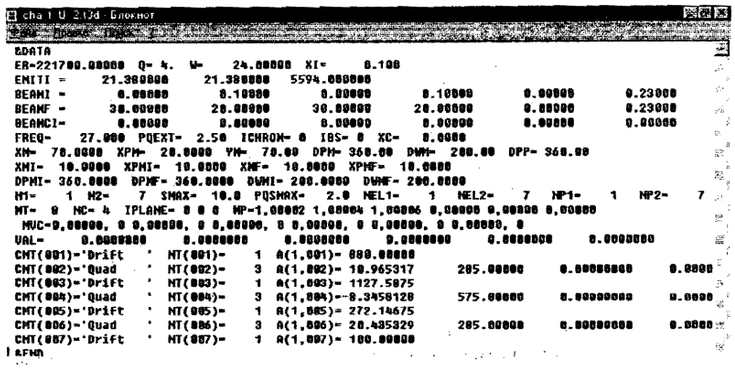


Рис. 10. Огибающие пучка и представляющие эллипсы для пучка U^{+4} в канале транспортировки пучка от RFQ до плазменной мишени.



```
cha 1 U 2.13d - Блокнот
&DATA
ER=221700.00000  Q= 4.  W=    24.00000  XI=     0.100
EMITI =     21.380000     21.380000   5594.000000
BEAMI =       0.00000       0.10000       0.00000       0.10000       0.00000       0.23000
BEAMF =      30.00000      20.00000      30.00000      20.00000       0.00000       0.23000
BEAMCI=       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000
FREQ=    27.000  PQEXT=  2.50  ICHROM= 0  IBS= 0  XC=   0.0000
XM=  70.0000  XPM=  20.0000  YM=  70.00  DPM= 360.00  DWM=  200.00  DPP= 360.00
XMI=  10.0000  XPMI=  10.0000  XMF=  10.0000  XPMF=  10.0000
DPMI= 360.0000  DPMF= 360.0000  DWMI= 200.0000  DWMF= 200.0000
N1=    1  N2=    7  SMAX=  10.0  PQSMAX=   2.0  NEL1=    1   NEL2=    7   NP1=    1   NP2=    7
MT=  0  NC= 4  IPLANE= 0 0 0  MP=1,00002 1,00004 1,00006 0,00000 0,00000 0,00000
 MVC=0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0
VAL=     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000
CMT(001)='Drift   '  NT(001)=    1  A(1,001)= 880.00000
CMT(002)='Quad    '  NT(002)=    3  A(1,002)= 10.965317      285.00000     0.00000000     0.0000
CMT(003)='Drift   '  NT(003)=    1  A(1,003)= 1127.5875
CMT(004)='Quad    '  NT(004)=    3  A(1,004)=-8.3458128      575.00000     0.00000000     0.0000
CMT(005)='Drift   '  NT(005)=    1  A(1,005)= 272.14675
CMT(006)='Quad    '  NT(006)=    3  A(1,006)= 20.435329      285.00000     0.00000000     0.0000
CMT(007)='Drift   '  NT(007)=    1  A(1,007)= 100.00000
&END
```

Рис. 11. Экранная копия файла результатов расчёта канала программой Trace-3D для ионов U^{+4}.

Рассмотрен вариант использования шести линз для создания транспортного канала. На рис. 12 представлены полученные для этого случая огибающие и представляющие пучок эллипсы. На рис. 13 приведена экранная копия файла результатов расчёта канала.

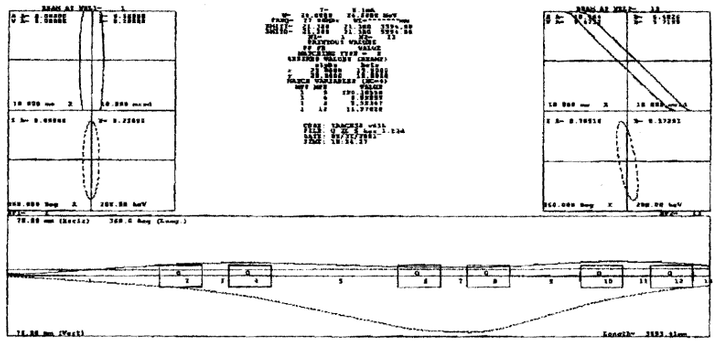
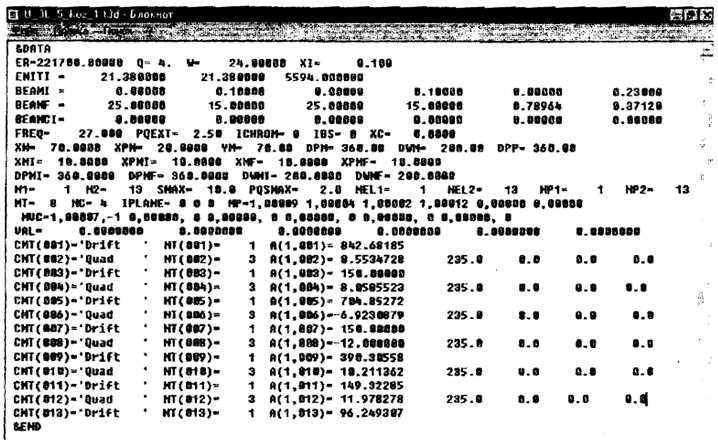


Рис. 12. Огибающие и представляющие эллипсы пучка ионов U^{+4} в канале транспортировки пучка.



```
&DATA
ER=221700.00000  Q= 4.  W=    24.00000  XI=     0.100
EMITI =     21.380000     21.380000   5594.000000
BEAMI =      0.00000       0.10000       0.00000       0.10000       0.00000       0.23000
BEAMF =     25.00000      15.00000      25.00000      15.00000       0.78964       0.37120
BEAMCI=      0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000
FREQ=    27.000  PQEXT=  2.50  ICHROM= 0  IBS= 0  XC=    0.0000
XM=  70.0000  XPM=  20.0000  YM=  70.00  DPM= 360.00  DWM=  200.00  DPP= 360.00
XMI=  10.0000  XPMI= 10.0000  XMF=  10.0000  XPMF=  10.0000
DPMI= 360.0000  DPMF= 360.0000  DWMI= 200.0000  DWMF= 200.0000
M1=    1  M2=   13  SMAX=  10.0  PQSMAX=   2.0  NEL1=    1   NEL2=   13   NP1=    1   NP2=   13
MT=  0  MC= 4  IPLAME= 0 0 0  MP=1,00000 1,00084 1,00002 1,00012 0,00000 0.00000
 MUC=1,00007,-1 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0
VAL=     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000
CMT(001)='Drift    '  MT(001)=    1  A(1,001)= 842.68185
CMT(002)='Quad     '  MT(002)=    3  A(1,002)= 0.5534728        235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(003)='Drift    '  MT(003)=    1  A(1,003)= 150.00000
CMT(004)='Quad     '  MT(004)=    3  A(1,004)= 8.0585523        235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(005)='Drift    '  MT(005)=    1  A(1,005)= 704.85272
CMT(006)='Quad     '  MT(006)=    3  A(1,006)=-6.9230879        235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(007)='Drift    '  MT(007)=    1  A(1,007)= 150.00000
CMT(008)='Quad     '  MT(008)=    3  A(1,008)=-12.000000        235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(009)='Drift    '  MT(009)=    1  A(1,009)= 390.38558
CMT(010)='Quad     '  MT(010)=    3  A(1,010)= 10.211362        235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(011)='Drift    '  MT(011)=    1  A(1,011)= 149.32285
CMT(012)='Quad     '  MT(012)=    3  A(1,012)= 11.978278        235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(013)='Drift    '  MT(013)=    1  A(1,013)= 96.249307
&END
```

Рис. 13. Экранная копия файла результатов расчёта канала транспортировки ионов U^{+4} программой Trace-3D.

Канал предложенной конструкции может быть использован для транспортировки ионов меди Cu^{+3}. При этом достаточно использовать три линзы - 2, 4 и 6. Огибающие пучка и представляющие эллипсы для этого случая приведены на рис. 14, на рис. 15 приведена экранная копия файла результатов расчёта транспортного канала с тремя линзами.

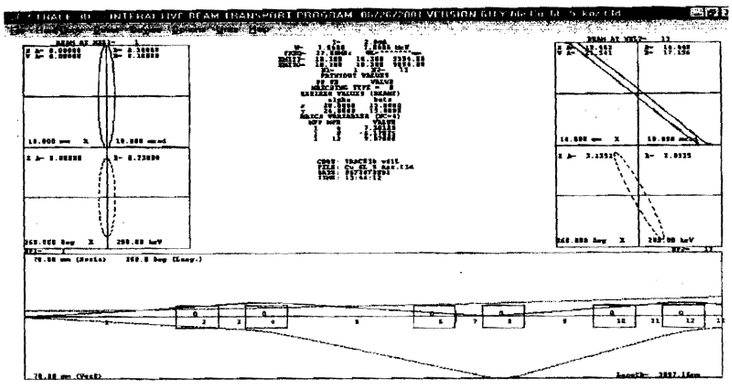


Рис. 14. Огибающие и представляющие эллипсы пучка ионов Cu^{+3} в канале транспортировки пучка с тремя включёнными квадрупольными линзами.

```
&DATA
ER= 59120.00000  Q= 3.  W=     7.04000  XI=     2.000
EMITI =     10.300000     10.300000   5594.000000
BEAMI =       0.00000       0.10000       0.00000       0.10000       0.00000       0.23000
BEAMF =      20.00000      15.00000      20.00000      15.00000       0.78964       0.37120
BEAMCI=       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000       0.00000
FREQ=    27.000  PQEXT=  2.50  ICHROM= 0  IBS= 0  XC=    0.0000
XM=  70.0000  XPM=  26.0000  YM=  70.00  DPM= 360.00  DWM=  200.00  DPP= 360.00
XMI=  10.0000  XPMI=  10.0000  XMF=  10.0000  XPMF=  10.0000
DPMI= 360.0000  DPMF= 360.0000  DWMI= 200.0000  DWMF= 200.0000
N1=    1  N2=   13  SMAX=  10.0  PQSMAX=  2.0  NEL1=    1  NEL2=   13  NP1=    1  NP2=   13
NT=  0  NC= 4  IPLANE= 0 0 0  NP=1,00004 1,00000 1,00012 0,00000 0,00000 0,00000
 NUC=0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0 0,00000, 0
VAL=     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000     0.0000000
CMT(001)='Drift   '  NT(001)=    1  A(1,001)= 849.05195
CMT(002)='Quad    '  NT(002)=    3  A(1,002)=0.000000       235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(003)='Drift   '  NT(003)=    1  A(1,003)= 150.00000
CMT(004)='Quad    '  NT(004)=    3  A(1,004)= 7.3012478      235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(005)='Drift   '  NT(005)=    1  A(1,005)= 783.43323
CMT(006)='Quad    '  NT(006)=    3  A(1,006)=0.00000000      235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(007)='Drift   '  NT(007)=    1  A(1,007)= 150.00000
CMT(008)='Quad    '  NT(008)=    3  A(1,008)=-6.1783498      235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(009)='Drift   '  NT(009)=    1  A(1,009)= 384.67782
CMT(010)='Quad    '  NT(010)=    3  A(1,010)=0.00000000      235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(011)='Drift   '  NT(011)=    1  A(1,011)= 150.00000
CMT(012)='Quad    '  NT(012)=    3  A(1,012)= 9.0700012      235.0     0.0     0.0     0.0
CMT(013)='Drift   '  NT(013)=    1  A(1,013)= 180.00000
&END
```

Рис. 15. Экранная копия файла результатов расчёта канала транспортировки ионов Cu^{+3} с тремя включёнными линзами.

Проведенные исследования показывают, что существует широкий класс квадрупольных магнитных линз разработанных для применения в канале транспортировки пучка протонов. Эти линзы в большинстве случаев могут быть использованы для

транспортировки ионов меди Cu^{+3}. При этом требуются градиенты магнитного поля близкие к предельным. Эти линзы могут быть использованы для транспортировки пучка ионов U^{+4} в случае изменения их конструкции – изменения расстояния между полюсами, или увеличения числа линз.

Следует отметить, что приведённые в данной статье данные носят предварительный характер и требуют уточнения с помощью программы DUNAMION, позволяющей учесть реальное распределение частиц пучка по зарядам. Исследование динамики пучка ионов урана в ускоряющей секции RFQ позволит уточнить начальные данные для расчёта конструкции канала.

Литература.

1. Kashinsky D., Kolomiets A., Kulevoy T., Kuybida R., Kuzmichov V., Minaev S., Pershin V., Sharkov B., Vengrov R., Yaramishev S. Commissioning of ITEP 27 MHz heavy ion RFQ. EPAC-2000. Proc.
2. Golubev A., Basko M., Fertman A., et all. Dense Plasma Diagnostics by Fast Proton Beams. Phisical Review E, Vol. 57, Number 3, March, 1998.
3. Crandall K.R. Trace 3-D Documentation, Los Alamos National Lab., LA-UR- 90-4146.
4. Kolomiets A.A., Vorobyov I.A., Yaramishev S.G. DYNAMION - the New Code for Beam Dynamics Simulations in High Current Ion Linac. 6th European Particle Conference (EPAC98), Proc. p. 1201-1203, 22-26 June 1998, Stockholm.
5. Беляев Г.Е., Воробьёв Л.Г., Голубев А.А., и др. Физическое обоснование эксперимента по исследованию взаимодействия пучка тяжёлых ионов с энергией 0.1 МеВ/н с плазменными мишенями. М., Препринт ИТЭФ, 1989, №19.
6. Попов А.В., Самсонов Г.Н. Параметры квадрупольных электромагнитных линз. Ленинград, Препринт НИИЭФА, 1979, П-Б-0440.
7. Капчинский И.М. Теория линейных резонансных ускорителей. М., Энергоиздат, 1982.
8. Высоцкий С.А., Коломец А.А., Ярамышев С.Г. Расчёт поворотного ионопровода ускорителя «Истра – 36». М., Препринт ИТЭФ, 1998, № 39.