

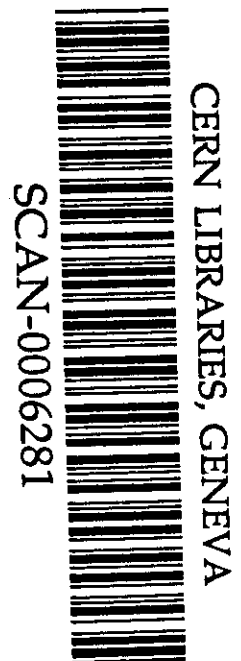
2
Институт теоретической и
экспериментальной физики

32 - 99

М.М.Кац, Д.Г.Кошкарёв

**КАНАЛ ДЛЯ КОНЕЧНОЙ ФОКУСИРОВКИ
ИОННОГО ПУЧКА НА МИШЕНЬ ТВАК,
ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ТОЛЬКО ТЕПЛЫХ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ.**

Москва 1999



**КАНАЛ ДЛЯ КОНЕЧНОЙ ФОКУСИРОВКИ ИОННОГО ПУЧКА НА МИШЕНЬ
ТВАК, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОЛЬКО ТЕПЛЫХ
КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ. Препринт ИТЭФ 32-99/**

М.М.Кац, Д.Г.Ковкарев - М., 1999 - 12 с.

В работе описана новая оптическая схема канала транспортировки выведенных из У10 ионов к экспериментальной мишени. В отличие от описанной ранее оптики канала теперь для конечной фокусировки пучка показана возможность использования на первом этапе работ только «теплых» квадрупольных линз. В первом порядке вычислений по программе TRANSPORT пятно пучка на мишени имеет размеры $\pm 1\text{mm} \times \pm 2.4\text{mm}$ с существенным влиянием хроматической аберрации.

Рассмотрена возможность создания на мишени ТВАК пучка с квазитрубчатой формой. Для этого предложено установить между линзами q10 и q11 два в.ч. резонатора (амплитуда электрического поля $E < \pm 600\text{ kV}$, частота 1ГГц, длина 1м, внутренний диаметр $d=120\text{mm}$). Диаметр пятна пучка 4мм, радиус вращения пучка 3.5мм.

Пучки с подобной формой могут быть полезны для экспериментов на ТВАК.

Final Beam Transport Channel for TWAC based on hot quadrupoles.

M.M.Kats, D.G.Koshkarev

There are description of new optic scheme of final beam transport channel for TWAC with using for the beginning of experiments only usual hot quadrupoles. In first order of TRANSPORT calculations the beam spot on the target has sizes $\pm 1\text{mm} \times \pm 2.4\text{mm}$ with significant influence of chromatic aberration.

The possibility to design the beam on TWAC target with quasy hollow shape was look through. Two r.f. resonators (electric field amplitude $E < \pm 600\text{kV}$, frequense 1HHz, length 1m, inner diameter $d=120\text{mm}$,) are used for circular bend the beam. They are placed between q10 and q11. The beam spot diameter is 4mm, the radius of beam rotation on the target is 3.5mm

Similar beam shapes can be useful for TWAC experiments.

Рис. - 4, список лит. - 3 наим.

© Институт теоретической и экспериментальной физики, 1999

Введение

Канал транспортировки накопленного в У10 и выведенного ионного пучка в направлении экспериментальной мишени в корпусе 120 был описан в докладе wer01 на конференции EPAC98 [1]. Этот пучок имеет исходно значительный фазовый объем (порядка 70мм*град в горизонтальной плоскости и порядка 50мм*град в вертикальной плоскости) и заметный разброс по импульсам ($dP/P=\pm 0.5\%$). Для конечной фокусировки планировалось использовать две нестандартных сверхпроводящих линзы с полями до 7Тл. В этом случае расчетные размеры пучка на мишени в первом порядке расчетов по программе TRANSPORT [2] были равны $\pm 0.5\text{мм} * \pm 0.8\text{мм}$. Было показано, что реальные размеры пучка на мишени в значительной степени определяются хроматической aberrацией. Соответствующие расчеты были проведены при помощи М.К. программы REVMOC [3].

Замена криогенных линз на теплые

В конце 1998 года в целях удешевления первой стадии запуска установки ТВАК было предложено заменить криогенные квадрупольные линзы на стандартные линзы типа 20К1006, которые имеются в ИТЭФ. Чтобы при этом обеспечить относительно жесткую фокусировку пучка на мишень, было предложено уменьшить магнитную апертуру последней линзы стальными вставками от диаметра 200мм до диаметра 120мм. Одновременно предполагалось, что максимальное поле на полюсе уменьшенного сечения будет не 1.0Тл, а 1.25Тл. На рис. 1 изображено сечение предложенной линзы. В соответствии с этим эскизом конструктор А.Н.Степанов выполнил рабочие чертежи стальных вставок и их прецизионного крепежа на основном железе линзы.

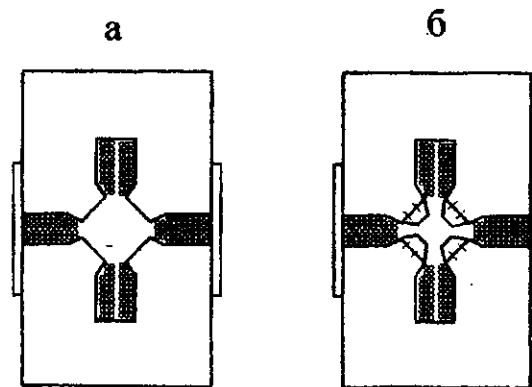


Рис. 1. Схема модернизации линзы типа 20К1006
 а. в обычном исполнении, $D=200\text{mm}$ б. с уменьшением диаметра апертуры $D=120\text{mm}$

На рис.2 показан план канала транспортировки пучка ионов от ускорителя У10 к экспериментальной мишени. В этом канале используются только имеющиеся в ИТЭФ магнитные элементы.

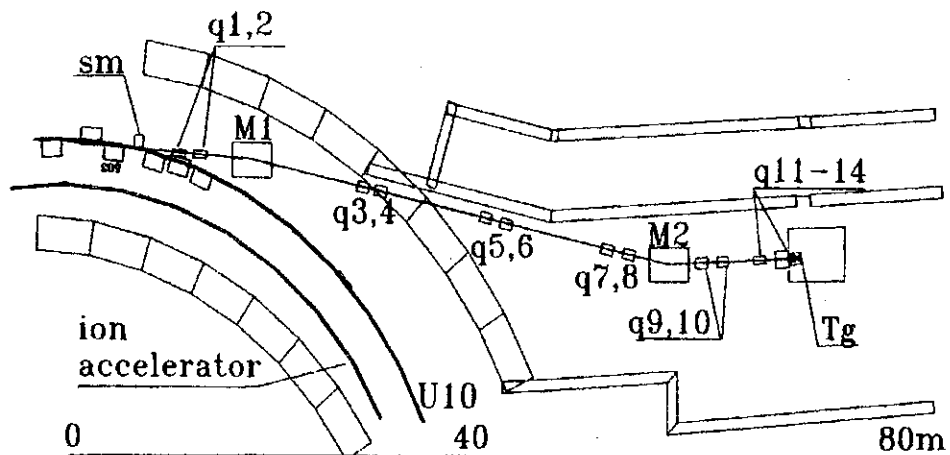


Рис.2. План канала транспортировки пучка ионов к мишени.

На рис.3 и в таблице 1 содержится основная информация о магнитооптической схеме канала, рассчитанная и оптимизированная при помощи программы TRANSPORT [3]. В этой таблице приведены линейные (X, Y) и угловые (X', Y') полуразмеры пучка на расстоянии Z от начальной точки расчетов и основные параметры активных магнитных элементов (длина L [м], радиус апертуры R [мм], магнитное поле B (для линз - на железе) [кГс] и углы поворотов и входа - выхода пучка в магниты - [в градусах]).

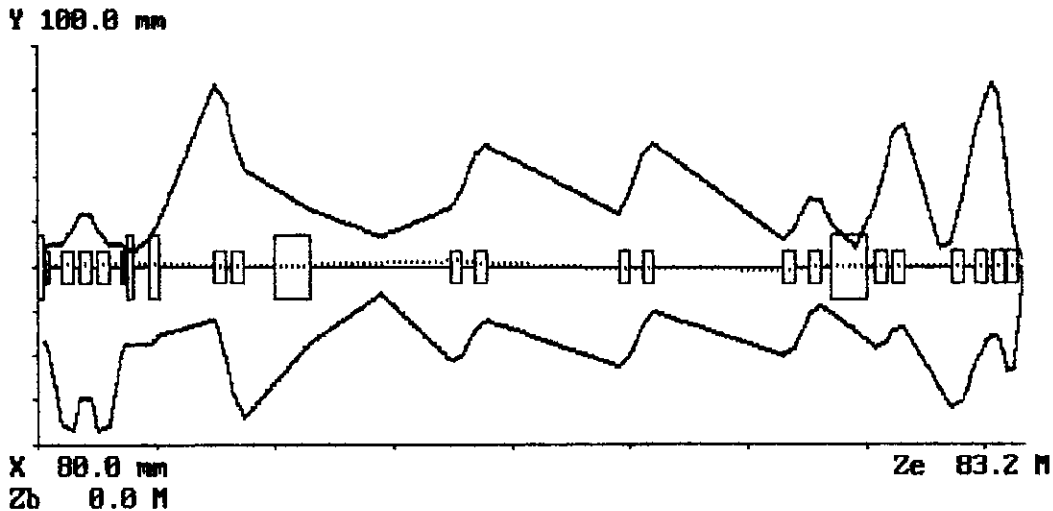


Рис.3. Оптическая схема канала с теплыми линзами.

Таким образом, использование для конечной фокусировки пучка имеющихся в ИТЭФ стандартных теплых линз типа 20К1006 вместо специальных сверхпроводящих линз увеличивает расчетный размер пятна пучка на мишени в первом порядке вычислений при помощи программы TRANSPORT от $\pm 0.5\text{мм} \times \pm 0.8\text{мм}$ до $\pm 1\text{мм} \times \pm 2.4\text{мм}$, однако при этом влияние хроматической aberrации становится относительно слабее.

Таблица I.

	Z	X	X'	Y	Y'	R16	L	B	R	U
	m	mm	mr	mm	mr	sm/%	m	kG	mm	grad
DR in	8.094	35.47	2.05	6.00	8.00	0.20				
DR smi	9.444	35.90	2.05	12.35	8.00	0.33				
BE sm	10.244	31.41	11.56	20.17	13.08	0.34	.800	-9.000	-52.	-4.1
DR q1i	14.944	24.27	11.56	81.38	13.08	-0.09				
QU q1	15.944	43.13	28.16	73.14	28.83	-0.22	1.00	-5.189	100.0	
DR q2i	16.444	57.19	28.16	58.73	28.83	-0.31				
QU q2	17.444	68.70	6.21	43.32	3.51	-0.38	1.00	5.210	100.0	
RO r	20.094	52.54	6.00	34.63	3.64	-0.34				4.5
BE m1	23.094	34.63	6.41	24.90	3.64	-0.05	3.	5.250	0.0	4.5
RO r	23.094	34.63	6.27	24.90	3.72	-0.05				4.5
DR 1f	28.974	12.86	6.27	12.90	3.72	0.98				
DR q3i	34.790	42.63	6.27	25.72	3.72	2.00				
QU q3	35.690	40.75	10.25	33.31	14.20	1.82	.900	3.141	75.0	
DR q4i	36.890	28.74	10.25	50.29	14.20	1.14				
QU q4	37.790	24.58	3.11	53.81	6.65	0.81	.900	-3.230	75.0	
DR q5i	49.090	45.54	3.11	22.97	6.65	-1.44				
QU q5	49.990	41.02	12.55	32.61	15.70	-1.39	.900	2.836	75.0	
DR	51.090	27.43	12.55	49.83	15.70	-1.07				
QU q6	51.990	20.92	4.46	54.56	5.55	-0.98	.900	-3.281	75.0	
DR	62.990	40.56	4.46	11.22	5.55	-2.04				
QU q7	63.890	37.01	11.88	17.14	10.23	-1.77	.900	3.302	75.0	
DR	65.190	21.96	11.88	30.16	10.23	-0.88				
QU q8	66.090	18.38	5.12	29.15	12.34	-0.50	.900	-5.960	75.0	
RO	66.990	21.44	5.24	18.20	12.47	-0.31				-6.
BE m2	68.990	29.78	4.94	8.12	12.47	-0.04	2.00	-7.000	0.0	-8.
BE m2b	69.990	34.11	4.78	19.99	12.47	0.00	1.00	-7.000	0.0	-4.
RO	69.990	34.11	5.01	19.99	12.33	0.00				-6.
DR q9i	70.640	37.11	5.01	27.90	12.33	0.00	ML 15			
QU q9	71.540	34.41	10.63	44.92	26.80	0.00	.900	3.428	75.0	
DRq10i	72.080	28.80	10.63	59.38	26.80	0.00	20K100			
QU q10	73.080	28.03	9.07	63.53	19.00	0.00	1.00	-7.014	100.0	
DR q11	77.012	63.07	9.07	11.50	19.00	0.00	20K100 (ML16)			
QU q11	78.012	60.85	13.36	33.50	26.59	0.00	1.00	3.501	100.0	
DR	79.012	47.54	13.36	60.06	26.59	0.00	20K100 (ML16)			
QU	80.012	37.20	7.86	82.10	17.01	0.00	1.00	-1.334	100.0	
DR q13	80.512	33.40	7.86	90.60	17.01	0.00	20K100			
QU q13	81.512	42.48	27.24	63.78	66.16	0.00	1.0	-9.879	100.0	
DR q14	81.812	50.64	27.24	43.93	66.16	0.00	20K100 with R=60!!			
QU q14	82.812	24.50	69.96	7.27	20.20	0.00	1.0	12.694	60.0	
DR tg	83.162	! 1.00	69.96	! 2.38	20.20	0.00	!!!			

Формирование квазитрубчатого пучка

Цель следующего шага расчетов - формирование на мишени квазитрубчатого пучка, симметричного относительно оси канала и с минимумом выделяемой на оси мощности. Этой цели можно достигнуть, если симметричное пятно пучка вращать с достаточно высокой частотой вокруг продольной оси канала с радиусом примерно равным удвоенному радиусу пучка. Место для расположения в.ч. резонаторов, в которых пучок будет отклоняться от оси канала, видно на плане и на схеме канала. Расстояние между линзами q_{10} и q_{11} равно 3.93м, диаметр пучка там не превышает 120мм. Но сначала надо внести соответствующие изменения в оптику канала. Во-первых надо сформировать симметричное пятно пучка на мишени, даже за счет увеличения его площади. Во-вторых надо оптику канала изменить с таким расчетом, чтобы отклонения пучка от оси канала в конечных квадрупольных линзах при сканировании не приводили бы к заметным дополнительным потерям. Расположение и состав магнитных элементов оставляем прежними (см. рис.2). При оптимизации достаточно менять градиенты только в последних шести линзах. Такая процедура может обеспечить и плавную регулировку соотношения размеров пучка на мишени в вертикальной и горизонтальной плоскостях, и плавное изменение запасов по апертурам при заданных отклонениях пучка. Однако эти действия приводят к дальнейшему уменьшению плотности пучка на мишени. Один из возможных вариантов измененной оптической схемы канала приведен в таблице 2. При этом схема огибающих пучка будет лишь незначительно отличаться от схемы изображенной на рис.3.

Дальнейшие расчеты проводились при помощи программы М.К. REVMOC. Были сделаны оценки формы пучка на мишени (диаметр пучка на полувысоте интенсивности порядка 4мм), было выбрано оптимальное положение центров отклоняющих резонаторов (см. таблицу 2) и определены амплитудные значения углов отклонения пучка в вертикальной плоскости (до 2.7мрад) и в горизонтальной плоскости (до 3.5мрад). При таких угловых отклонениях пучок на мишени сдвигается по радиусу примерно на 3.5мм. Резонаторы имеют длину 1м и внутренний диаметр 120мм. Их рабочая частота должна обеспечивать примерно 100 оборотов пучка за время вывода пучка из У10 (100нсек). Таким образом, их рабочая частота равна 1 ГГц. Амплитуда синусоидального напряжения на пластинах резонаторов не превышает ± 600 кВ.

В таблицах 3-5 приведены три рассчитанных варианта распределения удельной мощности по поверхности мишени. На рис. 4 показана полученная на основе таблиц 3-5 кривая зависимости удельной мощности пучка от радиуса. Видно, что центральная область мишени ($R < 2\text{мм}$) облучается значительно

меньше, чем область ($2\text{mm} < R < 6\text{mm}$). Кроме того, при проведении опытов с пучком квазитрубчатой формы, центральная область мишени может быть закрыта от высокоионизирующих ионов фильтром из тяжелого вещества с длиной порядка 30mm и диаметром $(4-5)\text{mm}$.

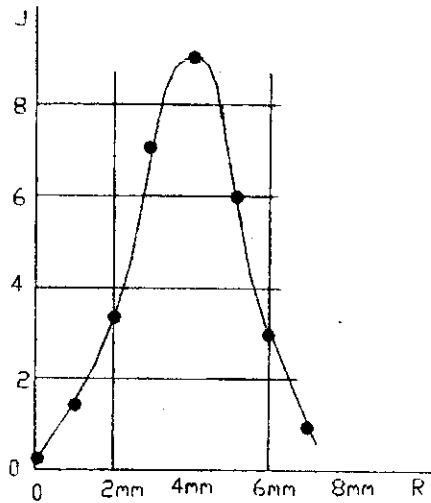


Рис. 4. Оценка зависимости удельной мощности пучка от радиуса для варианта квазитрубчатого пучка.

Таблица 2.

	Z	X	X'	Y	Y'	R16	L	B	R	U
	m	mm	mr	mm	mr	sm/%	m	kG	mm	grad
DR in	8.094	35.47	2.05	6.00	8.00	0.20				
DR smi	9.444	35.90	2.05	12.35	8.00	0.33				
BE sm	10.244	31.41	11.56	20.17	13.08	0.34	.800	-9.000	-52.0	-4.1
DR q1i	14.944	24.27	11.56	81.38	13.08	-0.09				
QU q1	15.944	43.13	28.16	73.14	28.83	-0.22	1.00	-5.189	100.0	
DR q2i	16.444	57.19	28.16	58.73	28.83	-0.31				
QU q2	17.444	68.70	6.21	43.32	3.51	-0.38	1.00	5.210	100.0	
RO r	20.094	52.54	6.00	34.63	3.64	-0.34				4.5
BE m1	23.094	34.63	6.41	24.90	3.64	-0.05	3.	5.250	0.0	9.
RO r	23.094	34.63	6.27	24.90	3.72	-0.05				4.5
DR 1f	28.974	12.86	6.27	12.90	3.72	0.98				
QU q3	35.690	40.75	10.25	33.31	14.20	1.82	.900	3.141	75.0	
QU q4	37.790	24.58	3.11	53.81	6.65	0.81	.900	-3.230	75.0	
QU q5	49.990	41.02	12.55	32.61	15.70	-1.39	.900	2.836	75.0	
QU q6	51.990	20.92	4.46	54.56	5.55	-0.98	.900	-3.281	75.0	
QU q7	63.890	37.01	11.88	17.14	10.23	-1.77	.900	3.302	75.0	
QU q8	66.090	18.38	5.12	29.15	12.34	-0.50	.900	-5.960	75.0	
RO	66.990	21.44	5.24	18.20	12.47	-0.31				-6.
BE m2	68.990	29.78	4.94	8.12	12.47	-0.04	2.00	-7.000	0.0	-8.
BE m2b	69.990	34.11	4.78	19.99	12.47	0.00	1.00	-7.000	0.0	-4.
RO	69.990	34.11	5.01	19.99	12.33	0.00				-6.
DR q9i	70.640	37.11	5.01	27.90	12.33	0.00				
QU q9	71.540	34.50	10.45	44.84	26.60	0.00	.900	3.384	75.0	
DRq10i	72.080	28.99	10.45	59.20	26.60	0.00				
QU q10	73.080	28.38	9.23	63.44	18.62	0.00	1.00	-6.945	100.0	
DR mx	75.080	37.36	9.23	44.84	18.62	0.00				
DR my	76.080	55.56	9.23	7.96	18.62	0.00				
DR q11	77.012	64.10	9.23	10.16	18.62	0.00				
QU q11	78.012	60.81	15.57	31.75	26.33	0.00	1.00	3.832	100.0	
DR	79.012	45.30	15.57	58.05	26.33	0.00				
QU q12	80.012	34.75	6.35	76.53	9.93	0.00	1.00	-2.392	100.0	
DR q13	80.512	31.75	6.35	81.48	9.93	0.00				
QU q13	81.512	40.35	24.49	55.92	57.14	0.00	1.00	-9.021	100.0	
DR q14	81.812	47.69	24.49	38.78	57.14	0.00				
QU q14	82.812	24.31	63.12	6.68	18.19	0.00	1.00	12.074	60.0	
DR tg	83.162	! 2.46	63.12	! 2.65	18.19	0.00	!!!			

Таблица 4. Распределение частиц по сечению мишени при отклонениях пучка в горизонтальной плоскости на 2.5 мрад и в вертикальной плоскости на -1.9 мрад. N=12741

Y [см]	X [см]											Σ																			
	1					2																									
	1	2	3	2	1	4	5	6	5	4	3		2	1	0	0	0	0	0	0	0										
.9600						1	1	1	1	1												1									
.8800						1	1	1	1	1													1								
.8000											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		23								
.7200																							81								
.6400											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		303								
.5600											4	11	41	55	68	70	40	13	1					839							
.4800											4	28	97	177	218	169	110	33	3					1700							
.4000											9	65	202	333	413	369	230	73	6					2380							
.3200						1	10	77	253	488	600	547	323	72	9								2516								
.2400							19	90	274	503	626	580	313	97	14								2247								
.1600							15	75	230	491	516	525	300	85	10								1511								
.8000E-01						1	11	48	174	306	354	343	203	66	5								744								
.0000						3	6	31	82	141	177	172	95	33	4								257								
.8000E-01						1	3	10	25	42	70	58	39	9									96								
5						1	9	5	28	19	16	13	5										30								
-.1600						2	2	5	6	10	2	3											8								
-.2400						1	1	3	1	2													2								
-.3200						2																	0								
-.4000																							0								
-.4800																							0								
-.5600																							0								
-.6400																							0								
-.7200																							0								
Σ	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1								
	2	1	0	9	8	8	7	6	5	4	4	3	2	1	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	0	1		
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8	0	8	6	4	2	0	8	6	4	2	0	8	6	4	2	

Выводы

Проведенные расчеты показывают, что при выбранной геометрии канала с теплыми линзами можно надеяться проводить первые эксперименты на установке ТВАК не только с несимметричным пучком с размерами $\pm 1\text{мм} \times \pm 2.4\text{мм}$, но и с пучком трубчатой формы. При этом интенсивность пучка будет распределена по радиусу между 2мм и 6мм, а внутренняя цилиндрическая зона с радиусом 2мм будет облучаться значительно слабее.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность Б.Л.Дружинину за разработку новой версии графической поддержки программы TRANSPORT и А.Н.Степанову за конструирование вставок в квадрупольную линзу типа 20К1006.

Литература

- [1] A.V.Barkhudaryan, B.L.Druzginin, M.M.Kats, D.G.Koshkarev
Final Beam Transport Channel for TWAC Calculation Wep01, EPAC98.
- [2] K.Brown and all TRANSPORT, CERN 4-80, 1980.
- [3] C.Kost, P.Reeve REVMOC, TRIUMF, TR-DN-82-28, 1989.