индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-480(23)-81

С.С.АРУТЮНЯН, В.Г.АМБАРЦУМЯН,
Д.С.БАГДАСАРЯН, Е.М.БОЯХЧЯН, Г.Б.КАЗАРЯН,
Л.В.КРМОЯН, В.А.МЕЛКУМЯНЦ, Г.Г.МКРТЧЯН,
О.П.ПЕТРОСЯН

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ МЛ-16, МЛ-15 И МАГНИТА СП-137

ԵՐԵՎԱՆ 1981 ЕРЕВАН

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-480(23)-81

С.С.АРУТЮНЯН, В.Г.АМБАРЦУМЯН, Д.С.БАГДАСАРЯН,
Е.М.БОЯХЧЯН, Г.Б.КАЗАРЯН, Л. В .КРМОЯН, В.А.МЕЛКУМЯНЦ,
Г.Г.МКРТЧЯН, О.П.ПЕТРОСЯН

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ МЛ-16, МЛ-15 И МАГНИТА СП-137

Ереван 1981

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-480(23)-81

С.С.АРУТЮНЯН, В.Г.АМБАРЦУМЯН, Д.С.БАГДАСАРЯН,
Е.М.БОЯХЧЯН, Г.Б.КАЗАРЯН, Л.В.КРМОЯН, В.А.МЕЛКУМЯНЦ,
Г.Г.МКРТЧЯН, О.П.ПЕТРОСЯН

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ МЛ-16, МЛ-15 И МАГНИТА СП-137

Ереван 1981

© *Ереванский физический институт, 1981*

При оптимизации и расчете параметров магнитооптических каналов пучков заряженных частиц необходимо знать такие характеристики магнитов и линз, как кривые зависимости магнитного поля от тока питания, распределение магнитного поля по объему магнитного элемента, определение элементов магнитной симметрии, зависимости эффективных длин от величины поля или градиента.

В системах транспортировки пучков выведенных электронов, вторичных электронов и в магнитных спектрометрах ЕрФИ используются квадрупольные линзы МЛ-I5, МЛ-I6 и анализирующие магниты типа СП-I37 и СП-I2.

Имеющиеся в литературе данные [I-4] по характеристикам перечисленных магнитных элементов оказались недостаточно полными.

С целью исследования вышеуказанных характеристик и определения идентичности однотипных элементов проведены измерения и обработка топографии полей магнита СП-I37, трех линз МЛ-I5 и двух линз МЛ-I6, а также при обработке использовались имеющиеся по старым измерениям данные по линзе МЛ-I6 в ЕрФИ.

Методика измерений и результаты обработки изложены в следующих разделах.

Характеристики для магнита СП-I2 приведены в работе [5] .

Характеристики магнита СП-I37

Измерение зависимости величины поля в центре магнита от тока питания выполнено с помощью датчика Холла (кривая зависимости показана на рис.I). Калибровка датчиков Холла проведена на специальном магните, застабилизированном по ядерно-магнитному резонансу (ЯМР).

При снятии топографии поля датчик Холла был укреплен на стенде, который имел четыре степени свободы (X , Y , Z и X') (см.рис.2). Точка (0,0,0) соответствует геометрическому центру начала полюсов элементов. Точность установления датчика $\pm$I мм. При одном акте измерения вначале фиксировались Y и Z - координаты датчика и с переменным шагом по X измерялись значения Y - компоненты поля (величина шага зависела от градиента поля). Стабилизация тока поддерживалась на уровне примерно 0,I%. Величина тока контролировалась по падению напряжения на обмотках магнита чувствительным вольтметром. Кроме того, в центре магнита неподвижно был установлен второй датчик, показание которого фиксировалось в каждом акте измерения.

С целью установления ошибок измерения, после снятия топографии при одном токе повторно измерялись значения полей в контрольных точках. Ошибка измерения самого датчика Холла рассчитана по формулам работы [6] . После предварительной обработки была создана программа на ЭВМ, с помощью которой аппроксимировались значения полей, и по минимизации функционала χ^2 для каждого Y и Z находились функции $B(X)$, хорошо описывающие экспериментальные данные (см.рис.3). После этого эффективные длины для

магнита программа вычисляла по формуле

$$L_{эф} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} B(x)\,dx}{B_0} , \qquad (I)$$

где B_0 - средняя величина поля в однородной части магнита, где распределение поля близко к равномерному распределению.

Зависимость L эф для СП-I37 от Z координаты при $Y = 0$ для разных токов приведена на рис.4 , а для Y =+I0 - на рис.5. Как и ожидалось [5,7], с ростом тока и с ростом Z L эф падает, а в пределах $Z \simeq \pm$I5 см L эф не зависит от Z .

Характеристики квадрупольных линз МЛ-I6 и МЛ-I5

Топография полей линз МЛ-I6 и МЛ-I5 снята во взаимно-перпендикулярных плоскостях Y =0 и Z =0. Методика измерений для линз аналогична методике измерения полей СП-I37.

При обработке данных по топографии полей квадрупольных линз предполагали, что

$$B_y = A_1 + g_y \cdot Z \cdot ,$$
$$B_z = A_2 + g_z \cdot Y \ , \qquad (2)$$

где B_y - измеренное значение поля в точке $X = const$, $Y = 0$, Z .

B_z - соответственное значение поля в точке $X = const$, Y, $Z = 0$

A_1 и A_2 - поправки, связанные с положением магнитной оси

g_y и g_z - градиенты поля

Аппроксимируя значение полей B_y и B_z формулами (2) (рис.6,7), для каждого X находим градиенты g_y и g_z . Для МЛ-I6, как вид-

но из рис.6, формулы хорошо аппроксимируют результаты измерений вплоть до y , $z = \pm 10$ см, когда $X < 0$ и $X > 100$ см, а во внутриполюсном объеме линзы имеется хорошая линейная зависимость до y , $z = \pm 13$ (см.7). Аналогичная картина наблюдается и для МЛ-15.

Как следует из рис.8,9, существует небольшое различие между значениями g_y и g_z, что можно объяснить нарушением четырехполюсной симметрии поля [8,9] и геодезическими ошибками.

Усредняя значения для симметричных точек, фитируется зависимость градиента g от X и по минимизации находится $g(X)$ (см.рис.10,11). Эффективная длина линзы вычисляется по формуле

$$L_{эф} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} g(x)\,dx}{g_0},$$

где g_0 – усредненный градиент в центре линз.

Как и ожидалось [5-7], с ростом тока питания линз L эф падает (см.рис.12-13). Из рис.14,15 видно, что сохраняется хорошая линейность градиента от тока питания линз МЛ-16 и МЛ-15 вплоть до токов I = 800 А и I = 250 А, соответственно.

Сопоставление результатов всех измерений для линз МЛ-16 и имеющихся в литературе данных [1-4] показывает, что их основные характеристики вполне идентичны и с точностью до ошибок измерений совпадают.

Приведенные результаты по характеристикам магнита и линз могут оказаться вполне пригодными для расчета других магнитооптических систем, использующих указанные элементы.

Авторы выражают благодарность Бадаляну Г.В., Вартапетяну Г.А. за предоставление имеющихся материалов по линзам МЛ-16 и

критические замечания, Туманяну А.Р., Бабаяну А.З. и Кошеяну Г.А. за оказанную помощь при проведении измерений.

Таблица I

Распределение магнитного поля (B/B_0) в плоскости $y = 0$ см для магнита СП-137 при токе $J = 100$А.

x \ z	-23	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16	20	23
-80	0,012	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,013	0,012
-77	0,014	0,014	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,015	0,014
-74	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,018	0,017	0,017
-71	0,020	0,020	0,021	0,021	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,021	0,021	0,021	0,020
-68	0,023	0,024	0,024	0,025	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,025	0,024	0,023
-65	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,030	0,029	0,029	0,027
-62	0,031	0,033	0,034	0,035	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,035	0,035	0,033	0,032
-59	0,037	0,038	0,040	0,041	0,042	0,043	0,043	0,043	0,043	0,042	0,041	0,039	0,038
-56	0,044	0,045	0,047	0,049	0,050	0,051	0,051	0,051	0,050	0,049	0,048	0,046	0,044
-53	0,052	0,053	0,056	0,058	0,059	0,059	0,060	0,060	0,059	0,058	0,056	0,054	0,053
-50	0,061	0,063	0,065	0,068	0,069	0,070	0,070	0,070	0,070	0,068	0,066	0,064	0,062
-47	0,072	0,075	0,077	0,080	0,081	0,082	0,083	0,083	0,082	0,080	0,078	0,075	0,073
-44	0,084	0,087	0,091	0,094	0,096	0,096	0,097	0,097	0,096	0,094	0,092	0,089	0,086
-41	0,099	0,102	0,107	0,110	0,112	0,113	0,114	0,114	0,113	0,111	0,108	0,104	0,101
-38	0,116	0,120	0,125	0,129	0,131	0,132	0,133	0,133	0,132	0,129	0,126	0,122	0,118
-35	0,135	0,141	0,146	0,150	0,153	0,154	0,155	0,155	0,150	0,151	0,148	0,143	0,138
-32	0,158	0,164	0,169	0,175	0,178	0,180	0,182	0,182	0,180	0,176	0,172	0,166	0,161
-29	0,185	0,192	0,198	0,203	0,208	0,210	0,210	0,210	0,208	0,204	0,201	0,195	0,189
-26	0,215	0,223	0,231	0,237	0,240	0,242	0,243	0,243	0,242	0,239	0,233	0,228	0,219
-23	0,249	0,259	0,267	0,274	0,277	0,280	0,280	0,281	0,280	0,276	0,271	0,263	0,253
-20	0,290	0,301	0,310	0,317	0,321	0,323	0,324	0,324	0,323	0,319	0,313	0,306	0,296
-18	0,336	0,349	0,360	0,367	0,370	0,374	0,374	0,375	0,372	0,369	0,363	0,354	0,344
-14	0,393	0,406	0,418	0,425	0,430	0,433	0,434	0,433	0,433	0,429	0,422	0,412	0,400
-11	0,458	0,474	0,487	0,496	0,502	0,504	0,504	0,505	0,504	0,500	0,491	0,482	0,468
-8	0,534	0,552	0,568	0,579	0,582	0,584	0,586	0,586	0,586	0,585	0,574	0,567	0,545
-5	0,621	0,643	0,662	0,671	0,675	0,678	0,680	0,680	0,678	0,674	0,666	0,657	0,634
-2	0,712	0,737	0,757	0,768	0,771	0,774	0,775	0,776	0,774	0,771	0,762	0,746	0,721
1	0,794	0,823	0,844	0,851	0,856	0,858	0,858	0,858	0,856	0,855	0,847	0,830	0,805
4	0,860	0,887	0,906	0,913	0,917	0,919	0,919	0,920	0,919	0,915	0,906	0,890	0,865
7	0,905	0,929	0,945	0,953	0,956	0,958	0,958	0,958	0,958	0,954	0,943	0,933	0,908
10	0,933	0,953	0,969	0,976	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,978	0,972	0,958	0,937
13	0,951	0,969	0,983	0,988	0,990	0,990	0,990	0,991	0,992	0,990	0,985	0,972	0,954
16	0,963	0,978	0,988	0,993	0,995	0,995	0,995	0,997	0,997	0,995	0,992	0,981	0,967
19	0,972	0,983	0,993	0,996	0,998	0,998	0,997	0,999	0,999	0,998	0,995	0,988	0,974
22	0,978	0,986	0,995	0,997	1,000	0,997	0,998	1,000	1,001	1,000	0,996	0,990	0,979
25	0,981	0,988	0,997	0,997	1,001	0,999	1,001	1,001	1,001	1,001	0,997	0,993	0,983
28	0,983	0,990	0,997	0,999	1,001	1,000	1,001	1,001	1,002	1,001	0,997	0,993	0,985
31	0,985	0,992	0,998	0,999	1,001	1,001	1,001	1,002	1,002	1,001	0,998	0,995	0,985
34	0,985	0,992	0,998	0,999	1,002	1,001	1,001	1,002	1,002	1,002	0,998	0,995	0,985

Таблица 2

Распределение магнитного поля (B/B_0) в плоскости $y=0$ для магнита СП-137 при токе J =1800А

x \ z	-23	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16	20	23
-80	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,012	0,011
-77	0,014	0,014	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014
-74	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,017	0,016
-71	0,018	0,019	0,020	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,020	0,019	0,019
-68	0,022	0,023	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,024	0,023	0,022
-65	0,026	0,027	0,028	0,029	0,029	0,030	0,030	0,030	0,029	0,029	0,028	0,027	0,026
-62	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031
-59	0,036	0,038	0,039	0,040	0,041	0,042	0,042	0,042	0,041	0,041	0,039	0,038	0,036
-56	0,043	0,044	0,046	0,047	0,048	0,049	0,049	0,049	0,049	0,048	0,046	0,045	0,043
-53	0,050	0,052	0,054	0,056	0,057	0,058	0,058	0,058	0,057	0,056	0,055	0,053	0,051
-50	0,059	0,062	0,064	0,066	0,067	0,068	0,068	0,068	0,068	0,066	0,064	0,062	0,060
-47	0,070	0,073	0,076	0,078	0,080	0,081	0,081	0,081	0,080	0,079	0,077	0,074	0,071
-44	0,083	0,086	0,090	0,092	0,094	0,095	0,095	0,095	0,094	0,092	0,090	0,087	0,083
-41	0,097	0,101	0,105	0,108	0,110	0,111	0,112	0,111	0,110	0,109	0,106	0,102	0,098
-38	0,114	0,119	0,123	0,126	0,128	0,130	0,130	0,130	0,129	0,127	0,123	0,120	0,115
-35	0,133	0,138	0,143	0,147	0,150	0,151	0,152	0,152	0,150	0,148	0,145	0,140	0,135
-32	0,155	0,161	0,167	0,171	0,173	0,175	0,176	0,176	0,174	0,172	0,169	0,163	0,156
-29	0,181	0,187	0,194	0,198	0,201	0,203	0,204	0,203	0,203	0,200	0,195	0,189	0,183
-26	0,210	0,217	0,224	0,229	0,232	0,234	0,236	0,236	0,233	0,231	0,227	0,219	0,212
-23	0,243	0,251	0,259	0,265	0,269	0,270	0,272	0,272	0,269	0,268	0,262	0,254	0,245
-20	0,281	0,290	0,299	0,305	0,309	0,311	0,313	0,312	0,310	0,307	0,301	0,293	0,284
-17	0,325	0,335	0,345	0,351	0,355	0,358	0,360	0,360	0,358	0,354	0,348	0,339	0,329
-14	0,375	0,388	0,399	0,408	0,413	0,415	0,416	0,417	0,413	0,410	0,402	0,392	0,379
-11	0,435	0,450	0,462	0,470	0,477	0,480	0,482	0,482	0,479	0,473	0,466	0,453	0,440
-8	0,502	0,519	0,536	0,546	0,552	0,556	0,558	0,557	0,554	0,549	0,539	0,523	0,509
-5	0,580	0,599	0,617	0,628	0,635	0,640	0,643	0,642	0,638	0,633	0,621	0,604	0,584
-2	0,660	0,683	0,705	0,722	0,725	0,729	0,741	0,731	0,729	0,721	0,709	0,688	0,664
1	0,736	0,764	0,787	0,805	0,809	0,812	0,816	0,815	0,811	0,803	0,790	0,767	0,742
4	0,802	0,831	0,854	0,871	0,876	0,879	0,881	0,881	0,878	0,871	0,856	0,833	0,807
7	0,855	0,885	0,905	0,920	0,922	0,925	0,927	0,927	0,924	0,917	0,906	0,884	0,858
10	0,897	0,920	0,940	0,951	0,953	0,956	0,958	0,957	0,955	0,951	0,939	0,920	0,899
13	0,926	0,946	0,961	0,970	0,970	0,973	0,975	0,974	0,971	0,969	0,961	0,946	0,927
16	0,948	0,963	0,975	0,982	0,982	0,982	0,984	0,983	0,983	0,980	0,970	0,963	0,948
19	0,963	0,976	0,984	0,988	0,989	0,989	0,990	0,990	0,990	0,988	0,985	0,975	0,962
22	0,973	0,983	0,991	0,993	0,994	0,994	0,996	0,996	0,996	0,995	0,990	0,982	0,972
25	0,980	0,989	0,996	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	0,998	0,996	0,988	0,978
28	0,984	0,994	0,999	1,001	1,002	1,001	1,003	1,003	1,003	1,001	0,999	0,992	0,983
31	0,986	0,996	1,002	1,002	1,004	1,003	1,005	1,005	1,004	1,003	0,999	0,995	0,985
34	0,987	0,998	1,003	1,002	1,003	1,004	1,006	1,006	1,005	1,004	0,010	0,996	0,986

Таблица 3

Распределение магнитного поля (B/B_0) в плоскости y =10 см для магнита СП-137 при токе J =700Аа

x \ z	-23	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16	20	23
-80	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011
-77	0,012	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,013
-74	0,014	0,015	0,016	0,016	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,015
-71	0,018	0,018	0,018	0,019	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,019	0,019	0,018	0,017
-68	0,020	0,021	0,021	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,021	0,020
-65	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,027	0,027	0,028	0,027	0,027	0,026	0,025	0,024
-62	0,028	0,028	0,030	0,030	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,031	0,030	0,029	0,028
-59	0,033	0,034	0,035	0,036	0,038	0,038	0,038	0,038	0,037	0,037	0,036	0,035	0,033
-56	0,039	0,040	0,042	0,043	0,045	0,045	0,045	0,045	0,044	0,043	0,042	0,041	0,039
-53	0,046	0,047	0,049	0,051	0,053	0,053	0,053	0,053	0,052	0,051	0,050	0,048	0,046
-50	0,054	0,055	0,058	0,060	0,062	0,062	0,063	0,062	0,062	0,061	0,059	0,057	0,059
-47	0,064	0,066	0,069	0,071	0,074	0,073	0,074	0,074	0,073	0,072	0,070	0,068	0,065
-44	0,076	0,078	0,081	0,084	0,087	0,087	0,087	0,087	0,086	0,085	0,082	0,080	0,077
-41	0,089	0,092	0,096	0,099	0,102	0,102	0,103	0,103	0,102	0,100	0,097	0,094	0,091
-38	0,105	0,108	0,113	0,116	0,120	0,120	0,121	0,120	0,119	0,117	0,115	0,111	0,107
-35	0,124	0,128	0,133	0,136	0,141	0,140	0,142	0,141	0,140	0,138	0,135	0,131	0,126
-32	0,146	0,149	0,155	0,160	0,164	0,164	0,165	0,165	0,163	0,161	0,158	0,154	0,148
-29	0,171	0,175	0,183	0,187	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,189	0,185	0,181	0,174
-26	0,201	0,204	0,212	0,218	0,223	0,223	0,224	0,224	0,223	0,221	0,216	0,211	0,205
-23	0,222	0,239	0,246	0,251	0,258	0,257	0,258	0,258	0,257	0,254	0,250	0,246	0,239
-20	0,271	0,275	0,281	0,287	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,287	0,282	0,276
-17	0,312	0,315	0,321	0,326	0,333	0,332	0,333	0,333	0,333	0,331	0,328	0,325	0,318
-14	0,358	0,358	0,365	0,371	0,381	0,376	0,378	0,378	0,378	0,376	0,374	0,370	0,365
-11	0,410	0,411	0,417	0,424	0,437	0,430	0,433	0,433	0,433	0,431	0,428	0,425	0,419
-8	0,479	0,480	0,488	0,494	0,508	0,499	0,504	0,503	0,503	0,503	0,501	0,497	0,490
-5	0,588	0,590	0,595	0,603	0,620	0,608	0,614	0,614	0,613	0,615	0,615	0,615	0,601
-2	0,827	0,831	0,827	0,828	0,834	0,829	0,831	0,831	0,831	0,834	0,838	0,848	0,838
1	1,175	1,187	1,158	1,135	1,096	1,127	1,111	1,108	1,111	1,111	1,118	1,148	1,164
4	1,159	1,135	1,112	1,098	1,084	1,094	1,087	1,087	1,088	1,089	1,100	1,127	1,160
7	1,105	1,078	1,055	1,048	1,043	1,045	1,044	1,045	1,043	1,045	1,052	1,078	1,111
10	1,091	1,048	1,032	1,025	1,023	1,023	1,020	1,021	1,021	1,025	1,030	1,058	1,098
13	1,050	1,034	1,020	1,014	1,012	1,012	1,011	1,010	1,011	1,012	1,018	1,037	1,057
16	1,036	1,021	1,011	1,006	1,007	1,005	1,004	1,004	1,004	1,007	1,012	1,029	1,043
19	1,018	1,007	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,001	1,003	1,005	1,011	1,026	1,032
22	1,014	1,009	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000	1,002	1,002	1,004	1,007	1,021	1,028
25	1,020	1,012	1,005	1,004	1,002	1,003	1,001	1,002	1,001	1,002	1,005	1,016	1,026
28	1,018	1,010	1,004	1,003	1,002	1,003	1,000	1,001	1,000	1,002	1,004	1,014	1,023
31	1,016	1,009	1,004	1,002	1,002	1,002	1,000	1,001	1,000	1,000	1,004	1,014	1,021
34	1,016	1,009	1,004	1,002	1,002	1,002	1,002	1,000	1,000	1,000	1,004	1,012	1,021

Таблица 4

Распределение магнитного поля (B/B_0) в плоскости y =I0 см для магнита СП-I37 при токе J =I800A

x \ z	-23	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16	20	23
-80	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010
-77	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012
-74	0,014	0,014	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,015	0,015	0,015	0,014
-71	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,018	0,017	0,016
-68	0,019	0,020	0,021	0,021	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,021	0,021	0,020	0,019
-65	0,023	0,023	0,024	0,025	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,024	0,023
-62	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,030	0,029	0,028	0,027
-59	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,036	0,037	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032
-56	0,037	0,039	0,040	0,042	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,042	0,041	0,039	0,038
-53	0,044	0,046	0,048	0,049	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,050	0,048	0,046	0,045
-50	0,052	0,054	0,057	0,058	0,060	0,060	0,061	0,061	0,060	0,059	0,057	0,055	0,053
-47	0,062	0,065	0,067	0,069	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,069	0,068	0,065	0,063
-44	0,074	0,077	0,080	0,082	0,084	0,085	0,086	0,085	0,084	0,082	0,081	0,078	0,075
-41	0,088	0,091	0,095	0,097	0,100	0,100	0,100	0,100	0,099	0,098	0,095	0,092	0,088
-38	0,103	0,107	0,112	0,114	0,117	0,117	0,118	0,118	0,116	0,114	0,112	0,108	0,105
-35	0,122	0,126	0,131	0,134	0,137	0,137	0,138	0,138	0,137	0,134	0,131	0,127	0,023
-32	0,143	0,148	0,154	0,156	0,160	0,160	0,161	0,161	0,160	0,157	0,154	0,149	0,144
-29	0,168	0,173	0,180	0,182	0,186	0,186	0,187	0,187	0,186	0,183	0,180	0,175	0,169
-26	0,197	0,199	0,209	0,212	0,215	0,215	0,216	0,216	0,215	0,212	0,209	0,203	0,198
-23	0,228	0,235	0,242	0,244	0,248	0,248	0,250	0,249	0,248	0,246	0,242	0,236	0,230
-20	0,265	0,271	0,279	0,280	0,284	0,285	0,285	0,284	0,284	0,281	0,278	0,273	0,267
-17	0,307	0,309	0,318	0,317	0,323	0,322	0,324	0,323	0,323	0,323	0,317	0,312	0,302
-14	0,345	0,352	0,361	0,361	0,366	0,365	0,368	0,367	0,367	0,363	0,361	0,358	0,351
-11	0,396	0,402	0,409	0,411	0,420	0,417	0,420	0,418	0,419	0,415	0,413	0,408	0,401
-8	0,458	0,465	0,474	0,475	0,486	0,482	0,486	0,486	0,485	0,481	0,478	0,470	0,462
-5	0,528	0,536	0,542	0,549	0,565	0,559	0,584	0,565	0,563	0,558	0,554	0,561	0,547
-2	0,700	0,726	0,741	0,749	0,754	0,752	0,758	0,754	0,752	0,748	0,742	0,726	0,698
1	0,933	0,950	0,991	1,001	0,973	0,992	0,944	0,982	0,979	0,977	0,966	0,951	0,917
4	0,999	1,031	1,042	1,030	1,029	1,039	1,036	1,035	1,032	1,029	1,020	1,008	0,981
7	1,018	1,034	1,035	1,034	1,021	1,025	1,024	1,023	1,022	1,022	1,019	1,016	1,007
10	1,050	1,034	1,028	1,028	1,009	1,008	1,008	1,008	1,008	1,010	1,014	1,020	1,019
13	1,057	1,032	1,019	1,018	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	1,000	1,007	1,016	1,026
16	1,032	1,021	1,009	1,005	0,992	0,991	0,992	0,992	0,992	0,994	1,000	1,012	1,025
19	1,022	1,015	1,008	1,006	0,992	0,993	0,994	0,994	0,995	0,998	1,003	1,013	1,016
22	1,021	1,014	1,009	1,005	0,994	0,994	0,996	0,996	0,996	0,998	1,002	1,009	1,015
25	1,032	1,028	1,022	1,019	1,004	1,004	1,004	1,004	1,005	1,006	1,008	1,013	1,022
28	1,028	1,025	1,018	1,016	1,002	1,002	1,002	1,002	1,003	1,003	1,005	1,010	1,018
31	1,027	1,022	1,015	1,015	1,001	1,000	1,001	1,001	1,001	1,001	1,004	1,008	1,017
34	1,025	1,021	1,015	1,015	1,000	0,999	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,006	1,016



Рис.I – Кривая зависимости поля (в однородной части) от тока питания для СП-I37

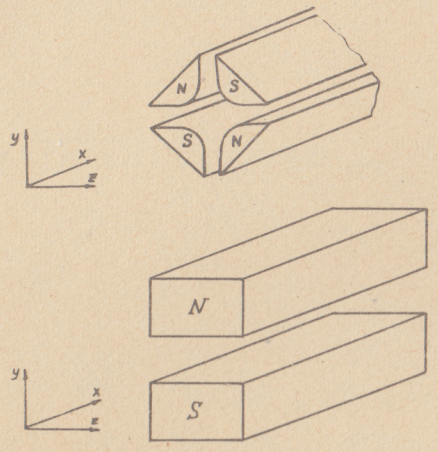

Рис.2 – Расположение координатных осей

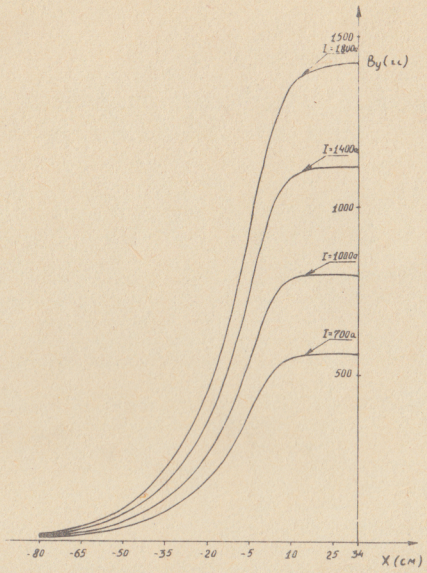

Рис.3 – Зависимость поля от продольной координаты. При нормировке кривые с точностью ~ 0,5% совпадают.

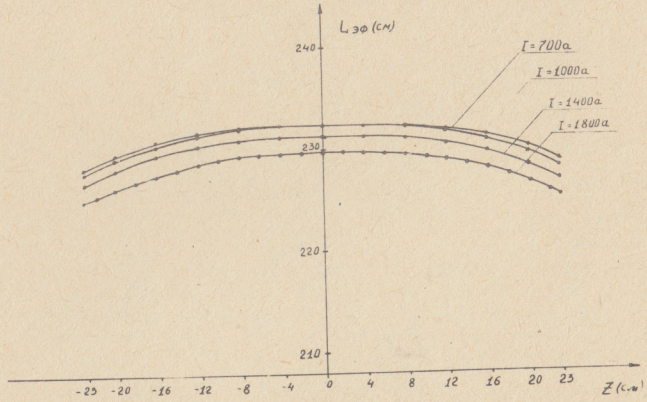

Рис.4 – Зависимость L эф СП-137 в медианной плоскости $Y=0$ от Z координаты

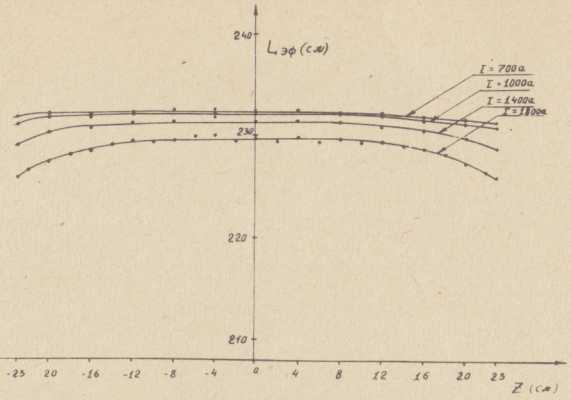

Рис.5 – Зависимость L эф СП-137 в плоскости $Y = \pm 10$ от Z координаты

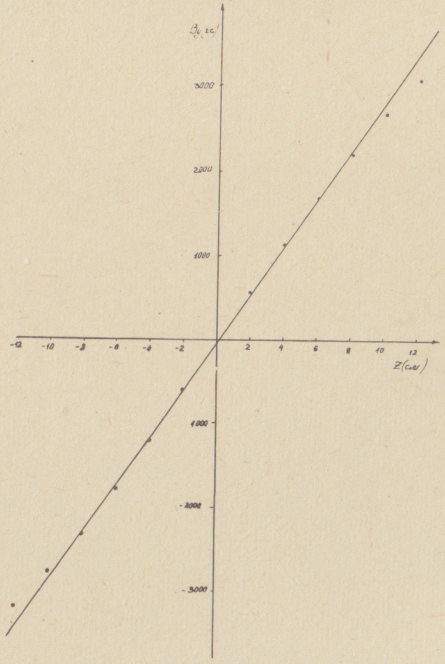

Рис.6 – Зависимость B_y от Z при X = 0, I = 400 А для МЛ-16

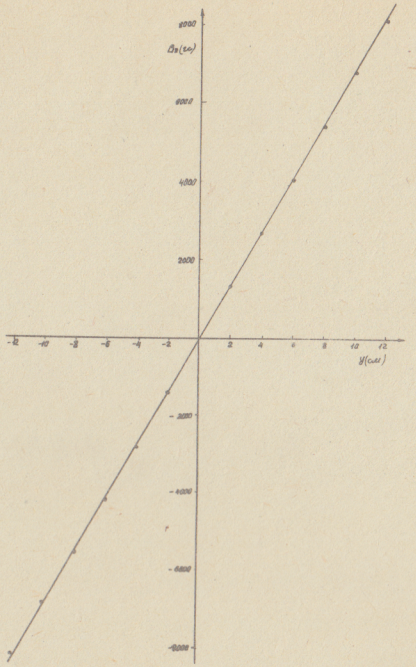

Рис.7 – Зависимость B_z от y при X = 50 I = 400 А для МЛ-I6

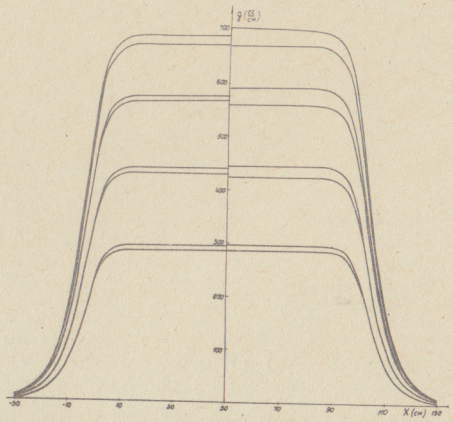

Рис.8 – Зависимость градиента (g_y и g_z) от продольной координаты X при 4-х значениях тока питания МЛ-I6 до усреднения

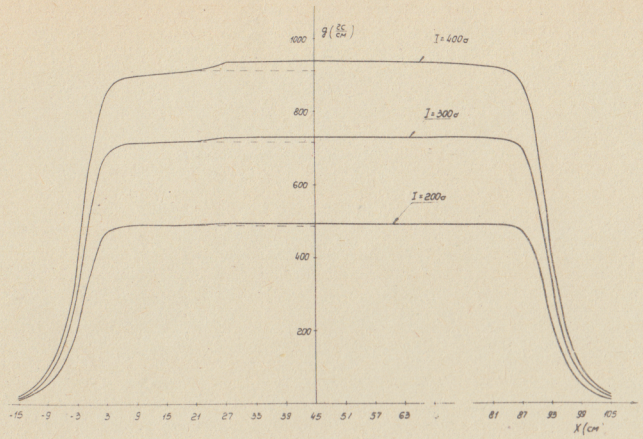

Рис.9 – Зависимость градиента от продольной координаты X при 3-х значениях тока питания МЛ-I5 до усреднения

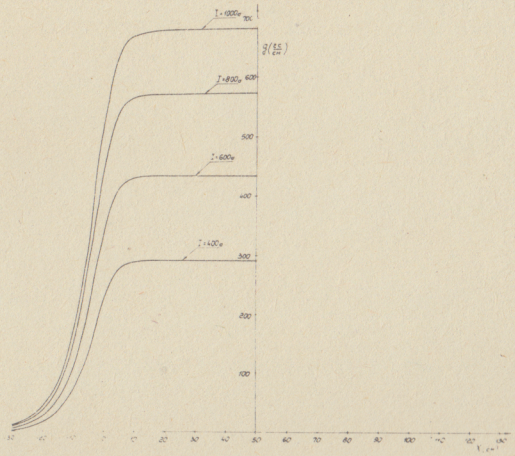

Рис.I0– Зависимость градиента МЛ-I6 после аппроксимации от X-координаты

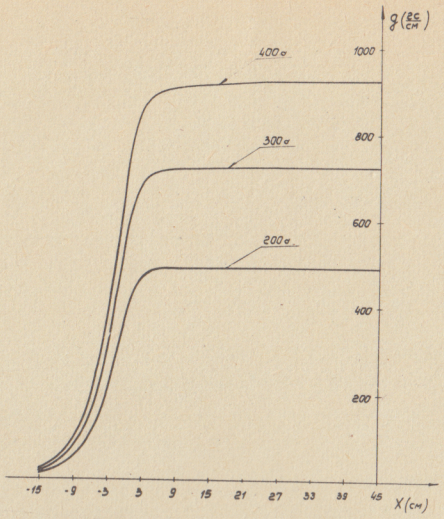

Рис.II- Зависимость градиента МЛ-I5 после аппроксимации от X--координаты

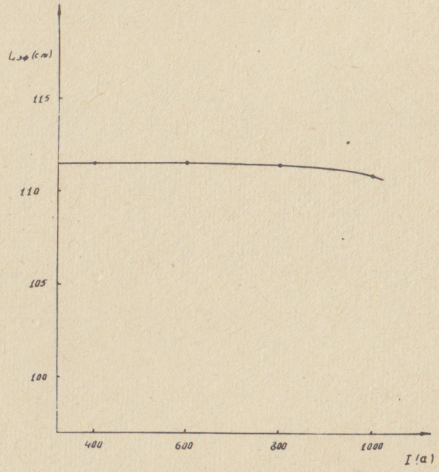

Рис.I2- Зависимость L эф для МЛ-I6 от тока питания.

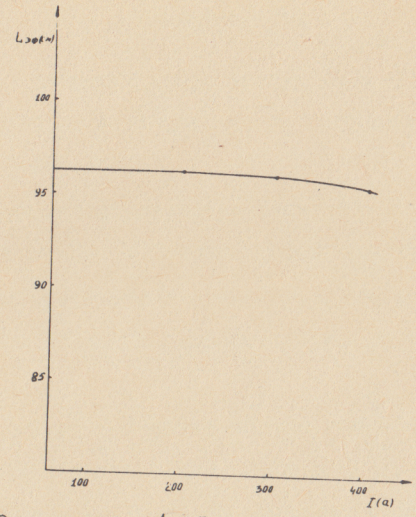

Рис.I3- Зависимость L эф для МЛ-I5 от тока питания

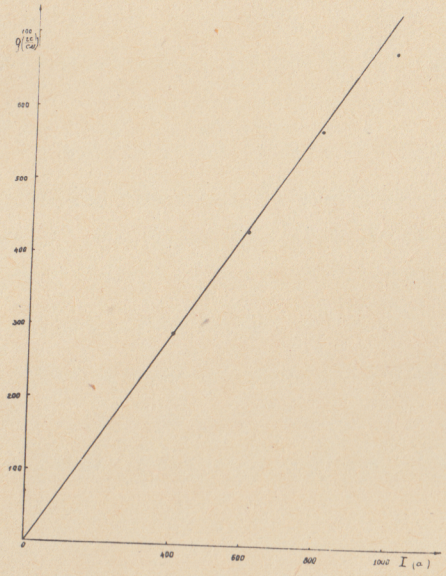

Рис.I4- Зависимость градиента МЛ-I6 от тока питания

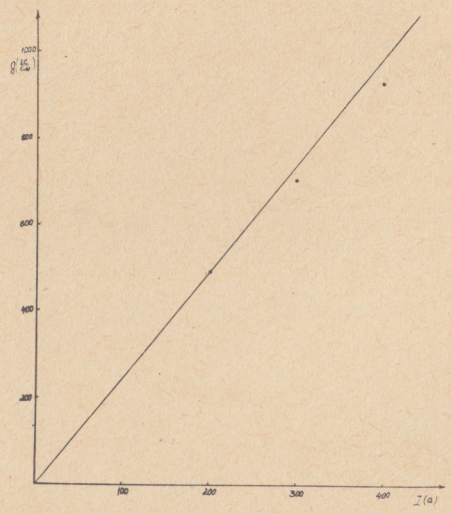

Рис.I5- Зависимость градиента МЛ-I5 от тока питания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Абрамян Л.О., Аганьянц А.О., Адамян Ф.Д. и др. Магнитный спектрометр для регистрации частиц в области до 4 ГэВ/с - -ПТЭ, № 2; Москва, I973.

2. Багдасарян Д.С., Бояхчян Е.М., Мкртчян Г.Р., Трошенкова И.А. Оптимизация и расчет параметров спектрометра для регистрации рассеянных электронов в интервале импульсов 0,5÷2,5 ГэВ/с. Труды IУ конференции молодых ученых ЕрФИ, Ереван,I980.

3. Миллер В.В. Расчет магнитных фокусирующих систем для пучков частиц высокой энергии - ПТЭ, № 6, Москва, I964.

4. Бетко Б., Гласник И., Полак М., Пузяк М. Исследование магнитных полей в элементах ионооптической системы антипротонного канала на 5 ГэВ, Препринт ОИЯИ, Р-IУ45, Дубна, I965.

5. Алексеев А.В., Веселов М.Д., Кузнецов В.Г. и др. Магнитные характеристики отклоняющих электромагнитов и квадрупольных линз для формирования пучков частиц на протонном синхротроне ИФВЭ, Препринт ИФВЭ, ОП 68-62, Серпухов, I964.

6. Бетко Ю., Гласник И., Полак М., Пузяк М. Разбор одной схемы для магнитных измерений при помощи датчиков Холла, Препринт ОИЯИ, Р-I689, Дубна I964.

7. Штеффен К. Оптика заряженных частиц , М:, Мир,I968, с.56-66.

8. Капчинский И.М., Плотников В.К. Магнитные квадрупольные линзы для линейного ускорения с пролетными трубками - ПТЭ, № 3, Москва, I963.

9. Плотников В.К. Нелинейности полей квадрупольных линз при фокусировке пучков, выведенных из протонных синхротронов- ПТЭ № I, Москва, I966.

Рукопись поступила 3I-го марта I98Iг.