

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э

О П 74-81

ifve op 74-81

К.И. Губриенко, Е.В. Еременко, Б.А. Серебряков

МАГНИТНЫЙ КОЛЛИМАТОР

Серпухов 1974

К.И. Губриенко, Е.В. Еременко, Б.А. Серебряков

МАГНИТНЫЙ КОЛЛИМАТОР

Аннотация

Губриенко К.И., Еременко Е.В., Серебряков Б.А.
Магнитный коллиматор. Серпухов, 1974.

15 стр. с рис. (ИФВЭ ОП 74-81).
Библиогр. 6.

В работе описываются конструктивные особенности и характеристики магнитного коллиматора, у которого подвижные пластины намагничены постоянным током. Приводятся оценки влияния градиентов рассеянных полей в рабочей зоне коллиматора на пучок частиц в магнитооптическом канале, температурного режима катушек электромагнита с анализом теплового равновесия электромагнита в вакуумном корпусе коллиматора и соответствующие экспериментальные данные. Приведены данные эффективности работы магнитных коллиматоров в каналах сепарированных частиц.

Abstract

Gubrienko K.I., Eremanko E.V., Serebriakov B.A.
Magnetic Collimator. Serpukhov, 1974.

p. 15. (INEP 74-81).
Ref. 6.

This paper describes constructive peculiarities and characteristics of a magnetic collimator with d.c. magnetized moving plates. It presents the estimations on the influence of the fringing field gradients on a particle beam in the magneto-optic beam channel, temperature mode of electromagnetic coils with the analysis of electromagnetic thermal equilibrium in the collimator vacuum body and the corresponding experimental data. The data on the efficiency of the magnetic collimator operation in the separated beam channels are presented.

Коллиматоры в каналах заряженных частиц служат для выделения требуемого интервала импульсов в формируемом пучке частиц, ограничения размеров пучков, проведения наладочных процедур, устранения фона. В случае формирования пучков сепарированных частиц эффективность их очистки от фона ядерно неактивных частиц повышается при использовании магнитных коллиматоров ^{/1,2/}, устанавливаемых на участках после выделения требуемого сорта частиц.

Подвижные пластины магнитных коллиматоров намагничиваются постоянным током. Направление индукции поля в щеках коллиматора выбирается таким образом, чтобы частицы, попавшие в тело коллиматора, отклонялись наружу. При этом пространство между пластинами должно быть, по возможности, свободно от магнитного поля, чтобы исключить дополнительное влияние на формируемый пучок частиц.

В данной работе описывается магнитный коллиматор КГ-75М, разработанный на базе обычного коллиматора ^{/1/}, примененный на канале сепарированных частиц для жидководородной пузырьковой камеры ОИЯИ "Людмила". Устройство магнитного коллиматора показано на рис. 1.

Медные пластины коллиматоров КГ-75 и КВ-75 были заменены на электромагниты, присоединительные размеры которых соответствуют размерам медных пластин коллиматоров КГ-75 и КВ-75. Электропитание катушек магнитов осуществляется через вакуумные вводы на переднем фланце коллиматора.

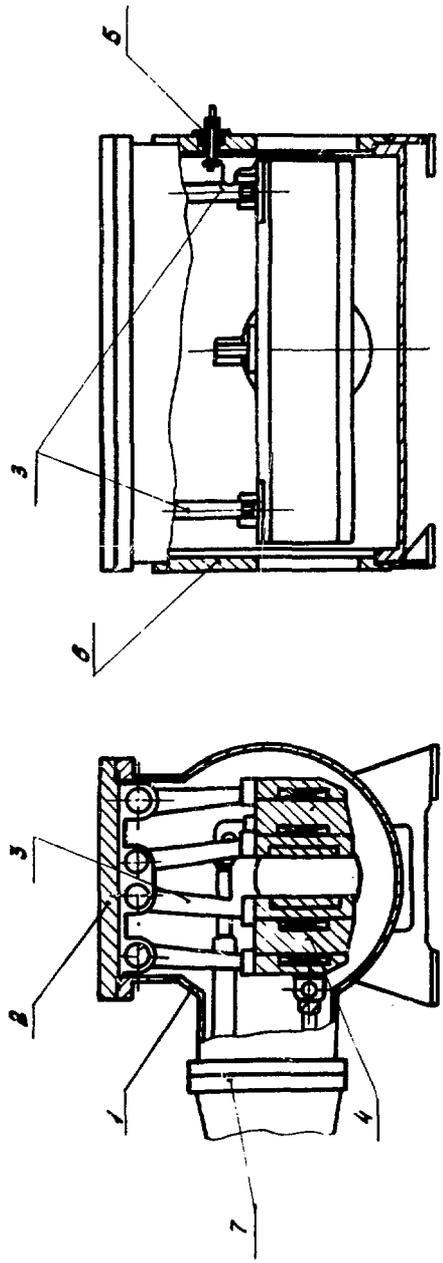


Рис. 1. Конструкция магнитного коллиматора: 1 - корпус, 2 - крышка, 3 - подвеска, 4 - электромагнит, 5 - токоподвод, 6 - ввод, 7 - механизм перемещения.

Как видно из рис. 1, на крышке (2) вакуумноплотного корпуса (1) при помощи подвески (3), выполненной в виде двух сдвинутых шарнирных параллелограммов, закрепляются два электромагнита (4). Токоподвод (5) к катушкам магнитов выполнен через два вакуумных ввода на фланце (6) гибким проводом с сечением $0,75 \text{ мм}^2$. Механизм перемещения магнитов (7) крепится на фланце бокового патрубка корпуса. Магниты перемещаются электромеханизмом типа УР-6М (27 в, 400 вт). Диапазон перемещения относительно оси пучка каждого магнита $\pm 80 \text{ мм}$. Контакты соприкосновения, предохраняющие магниты от соударения, и конечные выключатели расположены вне вакуумного объема и легко доступны для регулировки. Конструкция электромагнитов показана на рис. 2.

Магнитопровод выполняется сборным. Балка (1) является основной коллимирующей деталью, на балку (2) наматывается катушка (3). Материал балок — сталь 10. На магнит установлена крышка (4), к которой присоединяются приводные винты. Крышка выполнена из дюралюминия и для улучшения теплоизлучения оксидирована в черный цвет. Расчет магнитной цепи и электрических параметров катушки приведен в табл. I и II^{3,4/}. Сечение намоточного провода выбиралось из условия оптимальных значений выделяемой мощности и напряжения питания. При этом учитывалась технологичность изготовления катушки из медного провода типа ПЭВ-2 диаметром $0,96 \text{ мм}$.

Кривая гистерезиса электромагнита измерялась на опытном образце, в котором измерительная катушка была предварительно уложена внутри ярма. Измерения проводились милливэберметром. Кривая гистерезиса показана на рис. 3.

Оценка температурного режима катушек электромагнитов при потреблении максимальной мощности вытекает из анализа теплового равновесия электромагнита в корпусе коллиматора. В расчете учитывалось только излучение поверхностей электромагнитов в вакуумном объеме ($p = 2 \cdot 10^{-2} \text{ тор}$). При этом делалось допущение, что ярмо электромагнита целиком выполнено из стали 10.

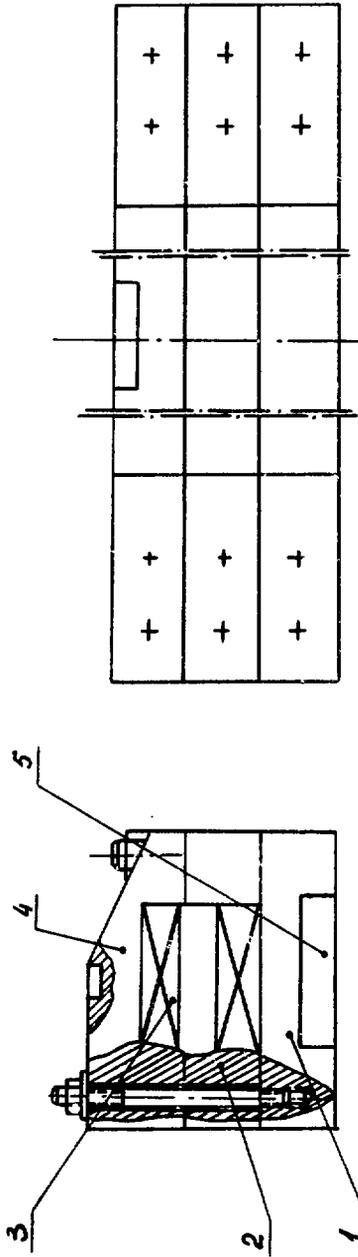


Рис. 2. Конструкция электромагнита. 1 - магнитопровод, 2 - ярмо, 3 - катушка, 4 - крышка, 5 - вставка.

Т а б л и ц а I

Участки маг- нитопровода	l (см)	S (см) ²	Φ МКС	B гс	H а/см	$H\ell$ (а)
1	13,8	314	$47 \cdot 10^4$	15 000	14	194
2	6,7	294	$47 \cdot 10^4$	16 000	25	168
3	13,8	350	$56,6 \cdot 10^4$	16 150	30	414
4	6,7	294	$47 \cdot 10^4$	16 000	25	168

Т а б л и ц а II

	Φ провода (мм)	S провода (мм) ²	W катушки	J катушки (а)	U катуш- ки (в)	P катуш- ки (вт)
Расчёт	0,96	0,73	1710	0,55	37	20
Конструкция	0,96	0,73	1480	0,64	35,8	23

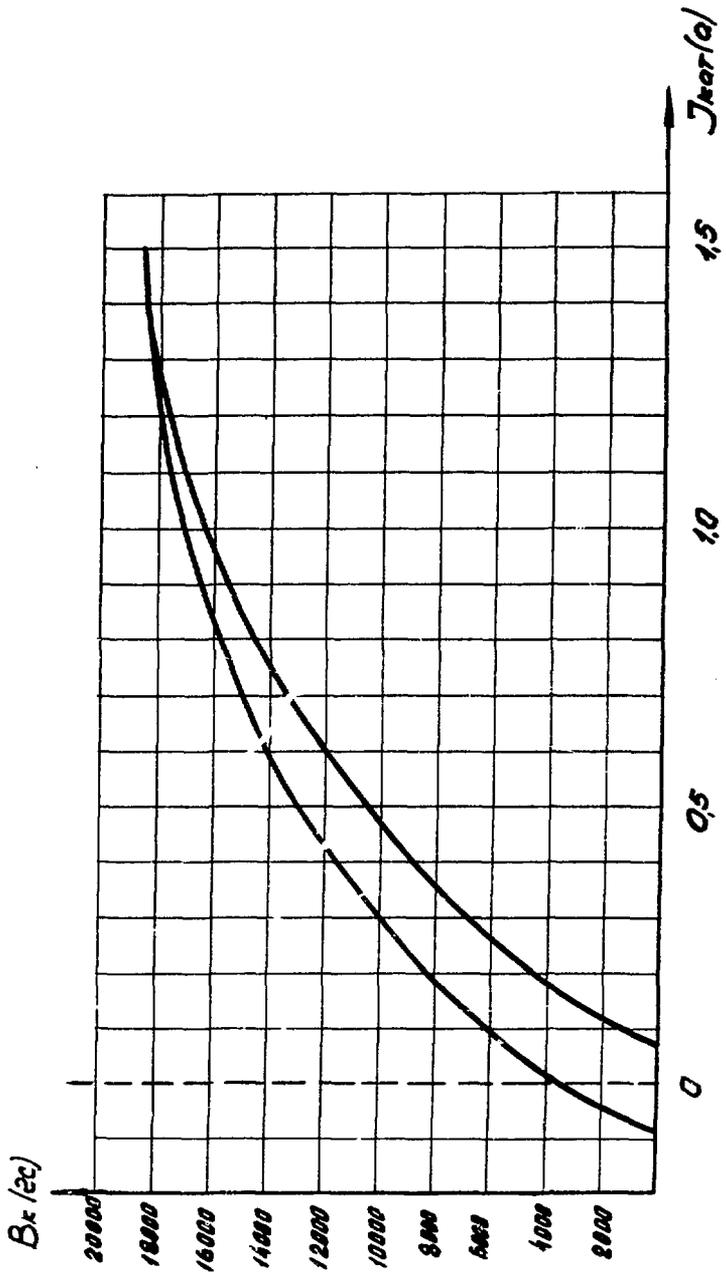


Рис. 3. Кривая гистерезиса магнитного блока коллектора.

В состоянии теплового равновесия поток тепла между поверхностями магнитов и корпусом коллиматора определяется следующей формулой^{/5/}:

$$Q_{12} = 4,9 \cdot 10^{-8} \epsilon N_{12} [T_1^4 - T_2^4] \frac{\text{ккал}}{\text{час}},$$

где N_{12} - взаимная поверхность излучения тел (м^2); T_1, T_2 - температура внутреннего и наружного тела соответственно ($^{\circ}\text{K}$);

$$\epsilon = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1\right) \phi_{12} + \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1\right) \phi_{21}}$$

приведенная степень черноты замкнутой системы в относительных единицах, где ϵ_1, ϵ_2 - приведенная степень черноты внутреннего и наружного тела соответственно (отн.ед.); ϕ_{12}, ϕ_{21} - коэффициенты облученности двух взаимных тел в замкнутой системе (отн. ед.).

Опытная проверка нагрева катушек электромагнита коллиматора в течение 240 часов при токе $J = 1,2 J$ ном. и вакууме $p = 5 \cdot 10^{-2}$ тор показала (см. рис. 4), что установившаяся температура тела катушек составляет примерно 46°C , что хорошо согласуется с расчётом.

На рис. 5 приведены данные магнитных измерений рассеянных полей между блоками электромагнитов коллиматора (пунктирные кривые). Измерения проводились при помощи датчика Холла и цифрового вольтметра.

Как видно из графиков, в рабочей области коллиматора ($X \pm 50 \text{ мм}$, $z = 0$) поля рассеяния достигают примерно 100 гс. В присоединительной области приближенно их можно экстраполировать линейными функциями $B_x \approx -g z$ и $B_z \approx -g x$.

Пучок частиц, проходящий через щель магнитного коллиматора, будет в одной плоскости дополнительно фокусироваться, а в другой дефокусироваться, как и в квадрупольной линзе. При этом режим работы канала может существенно нарушиться.

Если магнитный коллиматор расположен за объективом линз на расстоянии V до изображения, то смещение изображения в одной из плоскостей, обусловленное влиянием рассеянного поля коллиматора будет равно

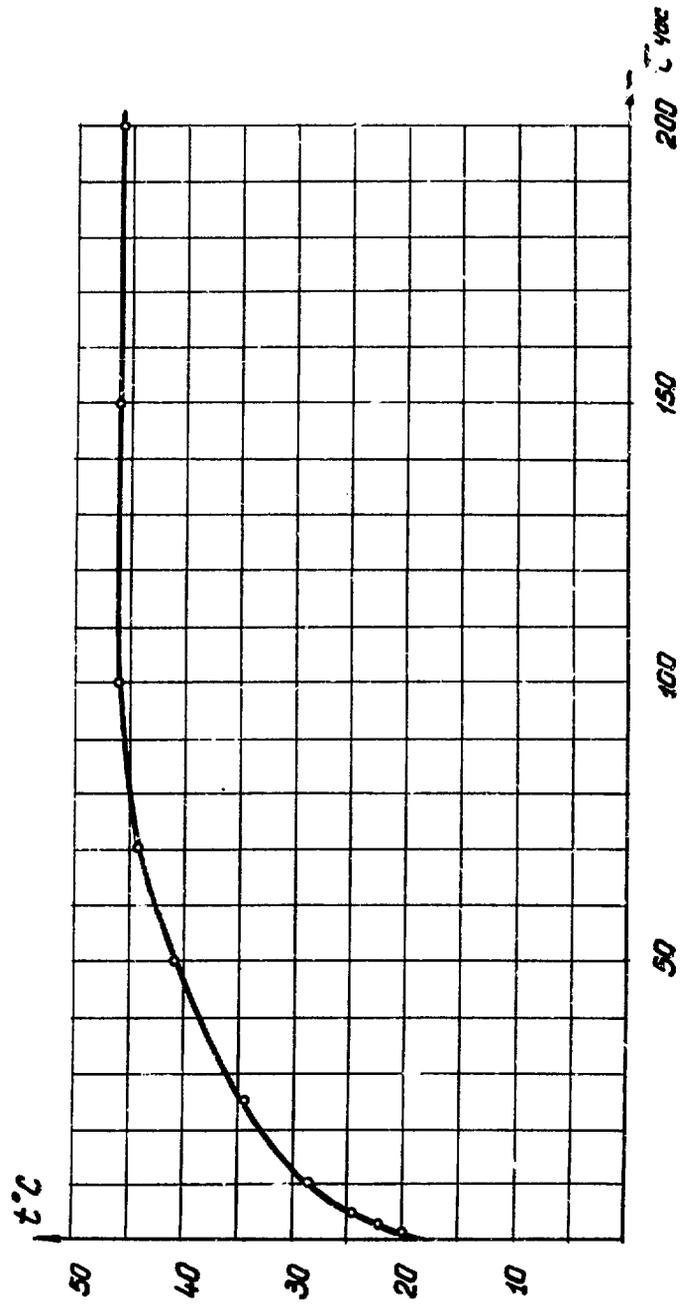


Рис. 4. Нагрев катушки коллиматора в зависимости от времени.

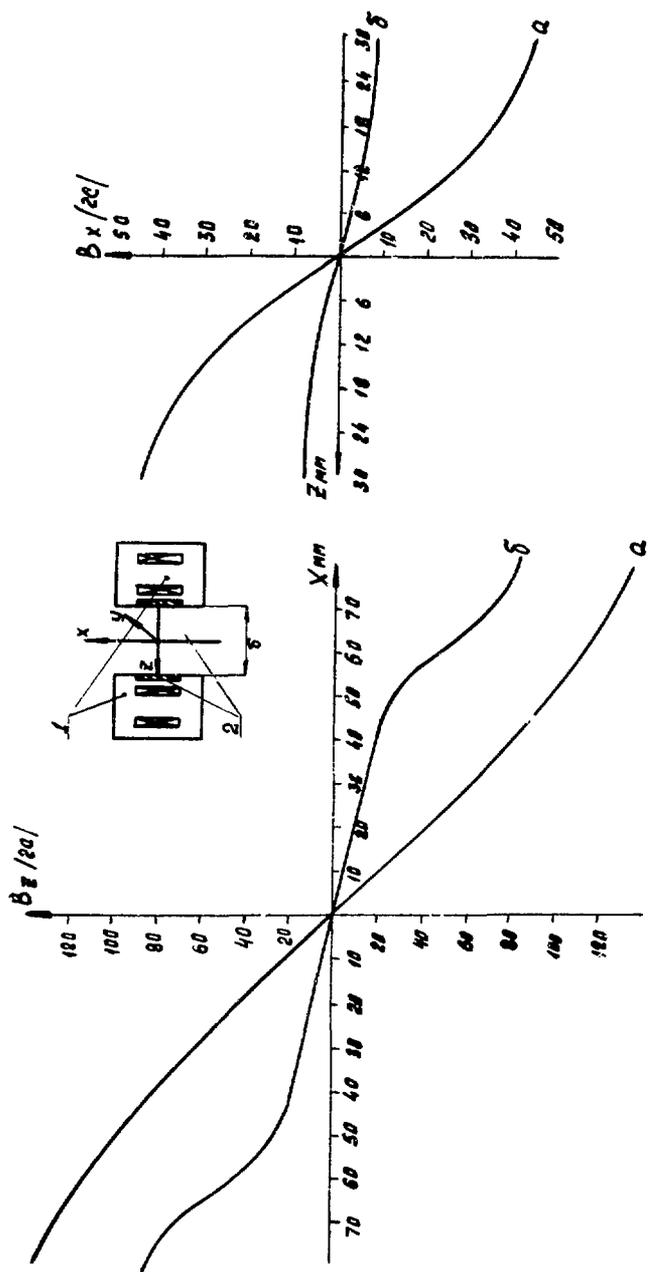


Рис. 5. Составляющие магнитного поля $B_z = f(x)$ при $z = 0$ и $B_x = f(z)$ при $x = 0$.
 Кривая "а" - без вставок, кривая "б" - со вставкой.

$$\Delta V = \frac{\sigma V^2}{1 - \sigma V},$$

где $\sigma = \frac{e g l}{rc}$, l - длина коллиматора, e - заряд частицы, p - её импульс, c - скорость света.

Для другой поперечной плоскости или той же плоскости при противоположной полярности поля в щелях коллиматора в этой формуле необходимо σ заменить на $-\sigma$.

Когда коллиматор расположен перед объективом линз (например, после поглотителя частиц), то смещение изображения в той же плоскости будет определяться соотношением

$$\Delta V = \frac{\sigma u^2 T^2}{1 + \sigma u},$$

где T - коэффициент линейного увеличения объектива, а u - расстояние от источника до коллиматора.

Допустимое смещение изображения ΔV в пределах точности измерения $\sim 30 \text{ см}^{1/3}$. Если принять $\Delta V = 30 \text{ см}$, то для допустимых значений градиентов рассеянных полей g в наиболее тяжелом случае, когда коллиматор размещается непосредственно за поглотителем, получим (канал № 9: $u = 11,3 \text{ м}$, $T = 2$, $p = 23 \text{ Гэв/с}$) $g = 4 \text{ эрст/см}$.

Как видно из рис. 5 (кривая б), этим требованиям можно удовлетворить, если использовать на рабочем участке электромагнита вставки из железа "Армако" (см. рис. 5 поз. 5). При этом градиенты рассеянных полей в рабочей зоне коллиматора уменьшаются примерно в 5 раз и составляют примерно 4 эрст/см.

В рассматриваемой конструкции магнитного коллиматора обеспечивается получение максимальной индукции в щелях коллиматоров до 16 000 гс при рабочем токе $J = 0,8 \text{ а}$ и потребляемой мощности $P = 75 \text{ вт}$.

Для питания катушек электромагнитов группы коллиматоров (до 5 шт) была разработана схема выпрямителя, мощностью $P = 500 \text{ вт}$,

с дистанционным управлением от одного блока управления с пульта канала.

Схема выпрямителя показана на рис. 6. Она состоит из трансформатора питания, силового регулируемого выпрямителя, построенного на диодах Д1-Д4, синхронизатора, порогового устройства, усилителя с формирователем управляющих импульсов, цепи измерения тока нагрузки и релейно-контактной схемы управления. Синхронизатор состоит из двухполупериодного выпрямителя и генератора пилообразного напряжения. Пороговое устройство выполнено с помощью транзисторов ПТ2 и ПТ3 по схеме триггера Шмитта. Однокаскадный усилитель собран с помощью транзистора ПТ4 и нагружен на импульсный трансформатор ТР2, управляющие импульсы с которого подаются на управляемые диоды силового выпрямителя. Тумблер Т7 и реле Р1 служат для включения питания схемы, тумблер Т6 и реле Р2, Р3 - для изменения полярности тока катушек магнитов коллиматоров, тумблеры Т1-Т5 и реле РК1-РК2 - для подключения любого из пяти коллиматоров к схеме питания. Регулирование тока осуществляется изменением фазы управляющих импульсов тиристоров Д1 и Д4 потенциометром. Диапазон регулирования тока от 0 до 10 а. Проведенные измерения показали, что отличие тока в каждом из коллиматоров не превышает 2%.

Эффективность действия магнитных коллиматоров на канале, формирующем пучки частиц на пузырьковую камеру "Людмила", иллюстрируется гистограммой (см. рис. 7), снятой с помощью счётчика полного тока, установленного перед камерой. Включение магнитных коллиматоров уменьшает фон на пузырьковой камере "Людмила" приблизительно на 50%.

Работа коллиматоров КГ-75М на канале показала достаточную надежность и удобство их в эксплуатации.

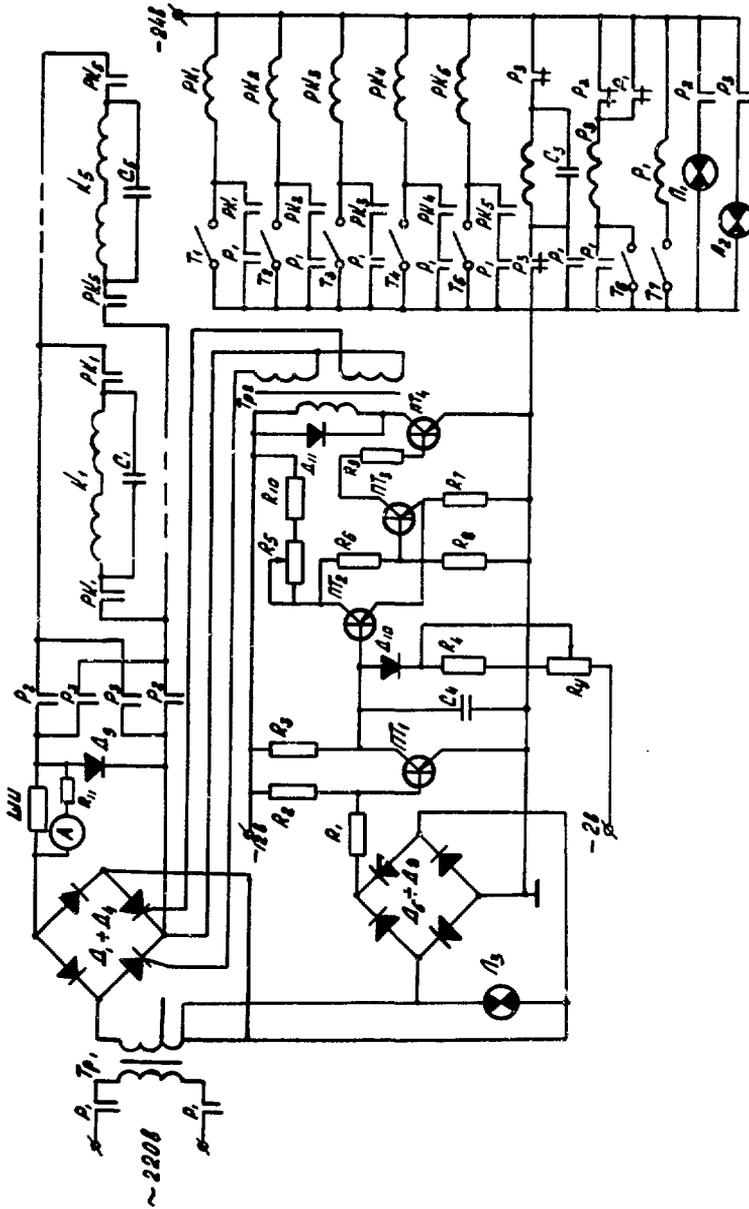


Рис. 6. Принципиальная схема источника питания для паги коллиматоров.

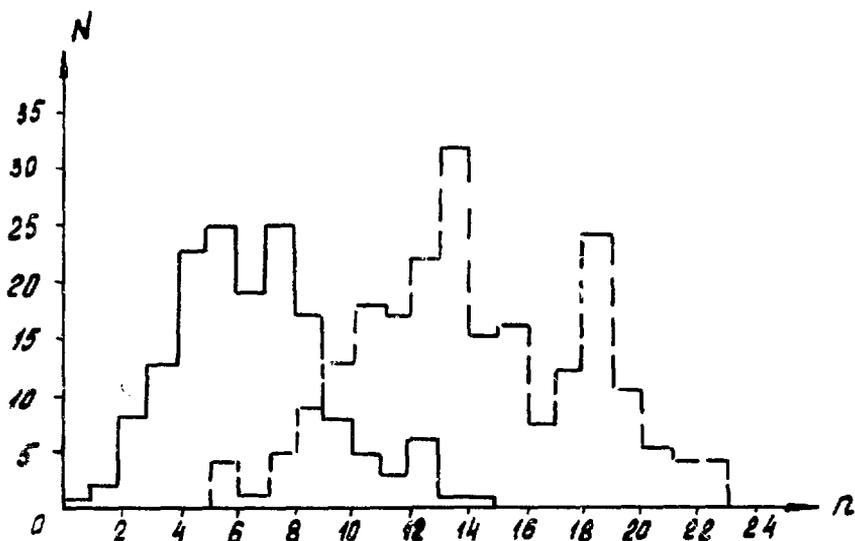


Рис. 7. Распределение числа частиц "n" на камере "Людмила" по числу циклов "N" с включенными и выключенными (---) магнитами коллиматоров.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Д. Артемов, П.В. Богданов и др. Препринт ИФВЭ 74-41, Серпухов, 1974.
2. В.И. Котов, В.В. Миллер. Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий. М., Атомиздат, 1969.
3. А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. Электромагниты постоянного тока. М.-Л., ГЭИ, 1960.
4. К.А. Андрианов, Н.П. Богородицкий и др. Справочник по электротехническим материалам, том II. М.-Л., ГЭИ, 1960.
5. С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. Справочник по телепередаче, Л.-М., ГЭИ, 1968.
6. Ф. Бернгард, А.М. Вишневецкая, Н.А. Галляев и др. Препринт ИФВЭ 73-9, Серпухов, 1973.

Рукопись поступила в издательскую группу

12 июня 1974 года.



Цена 8 коп.

© Институт физики высоких энергий, 1974
Издательская группа И Ф В Э
Заказ 362. Тираж 240, 0,7 уч.-изд.л. Т-03384.
Июль 1974. Редактор Н.В. Ежела.