

Федеральное агентство по образованию РФ.
Томский политехнический университет.
Физико-технический факультет.

Кафедра ПФ.

Отчёт по производственной практике на тему:
Магнитный спектрометр для измерения импульса пучка.

Выполнил:
студент гр.0620
Смирнов А. Н.

Руководитель:
Начальник лаборатории
МЧП ОАФ ИФВЭ
Хохлов Ю. А.

Томск 2006.

Цель производственной практике заключается в участие в создание магнитного спектрометра для определения импульса пучка с погрешностью менее одного процента. Работа и отчет по практике состоит из двух частей: расчётная часть и практическая часть. В расчётную часть входит оценка погрешности магнитного спектрометра для определения импульса пучка, в практическую – выработка технологии проверки усилителей и их починка.

Расчётная часть.

Импульсы заряженных частиц обычно измеряют с помощью магнитных спектрометров. Под действием силы Лоренца частицы движутся по круговой или спиральной траектории вокруг направления магнитного поля. Радиус кривизны траектории частицы определяется напряженностью магнитного поля и компонентой импульса частицы, перпендикулярной направлению поля:

В магнитных спектрометрах импульс P (в ГэВ/с) определяются по формуле

$$P = 0.3zRB \quad (1)$$

где z – заряд частицы, B – перпендикулярная компонента напряжённости магнитного поля в теслах, R – радиус поворота частицы в метрах. При малом угле отклонения γ пучка в магнитном поле радиус вычисляется по формуле:

$$R \approx \frac{L}{\gamma} \quad (2)$$

где L – длина полюса спектрометрического магнита. Подставив выражение (2) в (1):

$$P = \frac{0.3zLB}{\gamma} \quad (3)$$

Если магнитное поле меняется вдоль длины магнита, то выражение для определения импульса следует заменить на:

$$P = \frac{0.3 \cdot z \cdot \int_0^L B(l) dl}{\gamma} \quad (4)$$

Угол отклонения в магнитном спектрометре измеряется с помощью четырёх проволочных пропорциональных камер (ППК), две из которых находятся до отклоняющего магнита, две после отклоняющего магнита (смотреть рисунок). Пропорциональные

камеры, расположенные до отклоняющего магнита (ППК1 и ППК2), измеряют угол влёта (β) пучка частиц в магнит, две после магнита (ППК3 и ППК4) угол вылета (α). Углы β и α вычисляются выражениями

$$\beta = \frac{x_2 - x_1}{S_1}, \alpha = \frac{x_3 - x_4}{S_2} \quad (5)$$

где: x координаты определяемые соответствующими камерами, S_1 – расстояние между ППК1 и ППК2, S_2 – расстояние между ППК3 и ППК4. Угол γ уравнивается:

$$\gamma = \alpha + \beta \quad (6)$$

с учётом выражений (5) запишем:

$$\gamma = \frac{x_2 - x_1}{S_1} + \frac{x_4 - x_3}{S_2} \quad (7)$$

Отклоняющее магнитное поле будет создавать диполь СП-7 (М) имеющий габаритные размеры полюса: длина 6000мм, ширина 500мм, межполюсной зазор 200мм. Длина магнита с обмотками 7000мм.

Продифференцировав выражение (4) по углу γ получим

$$\left| \frac{dP}{d\gamma} \right| = \frac{0.3z \cdot \int_0^L B(l) dl}{\gamma^2} = \frac{P}{\gamma} \quad (8)$$

При пренебрежении изменения интеграла магнитного поля для разных траекторий разрешение магнитного спектрометра будет определяться точностью определения угла отклонения γ .

$$\frac{dP}{P} = \frac{d\gamma}{\gamma} \quad (9)$$

Для пренебрежения изменения интеграла поля необходимо выполнение условия:

$$\frac{dB}{dx} \cdot r < 0.01B_0 \quad (10)$$

где B_0 – максимальное значение индукции, размер пучка r Используемый в спектрометре диполь СП-7 имеет неоднородное магнитное поле. В связи с отсутствием подробной карты поля

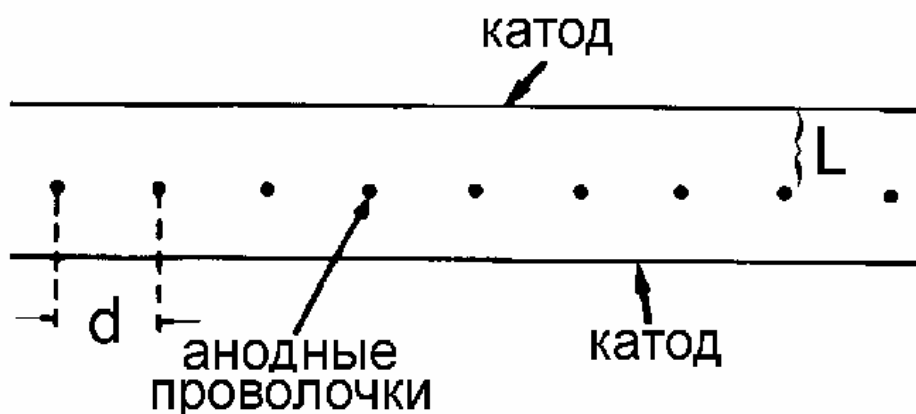
магнита СП-7, оценка производилась по картам аналогичных магнитов.

Измеряемый пучок имеет характерный размер $r \approx 6\text{ см}$. Отталкиваясь от заданного сечения были проанализированы топографии магнитных полей V/V_0 для магнитов СП-129 и СП-12А1 при различных B_0 (топографии полей приведены в приложение). Центр координат топографии полей лежит в центре полюса, координата x характеризует ширину полюса, координата y – длину полюса. В нижней колонке приведено отношение интегралов поля с координатами x к интегралу с координатами $x=0$. Анализ проводился путем сравнения значений V/V_0 в точках где разность координат x составляла 6см.(характерный размер пучка), а координата y была одинаковой, а так же по последней строчки таблиц топографии с разностью $x = 6\text{ см}$. Путём перебора точек была выделена область которая удовлетворяет условию (10), эта область составляет $\pm 12\text{ см}$ по координате x от центра полюса. Оценка производилась до координат y соответствующих длинам полюсов, так как значения за пределами полюсов вносят пренебрежимо маленький вклад в интеграл поля, что видно по последней колонки таблиц топографии полей.

Погрешность измерения угла отклонения зависит от погрешности проволочных пропорциональных камер.

Проволочные пропорциональные камеры.

Проволочные пропорциональные камеры по сути представляют собой плоский слой пропорциональных счетчиков без разделяющих стенок.



Форма электрического поля несколько изменена по сравнению с чисто цилиндрической в обычных пропорциональных счетчиках.

Образование лавин происходит точно так же, как и в пропорциональных счётчиках.

В проволочных пропорциональных камерах в качестве анодов используют гальванизированные золотом вольфрамовые проволочки диаметром от 20 мкм. Расстояние между анодными проволочками составляет 2 мм. расстояние между анодной проволочкой и катодом составляет 5 мм. Отдельные анодные проволочки выступают в роли независимых детекторов. Катоды представляют собой слои натянутых проволочек 100 мкм.

В качестве рабочего газа используется газовая смесь, которая состоит из 75% Ar и: 25% -метилала (CH₂(OCH₃)₂). Камеры обладают газовым усилением ~10⁵.

ППК работают в счётном режиме без обработки аналогового сигнала, в качестве трекового спектрометра.

Исходя из формулы (7) и теории распространения ошибок погрешность угла отклонения $\sigma(\gamma)$ будет определяться следующим образом:

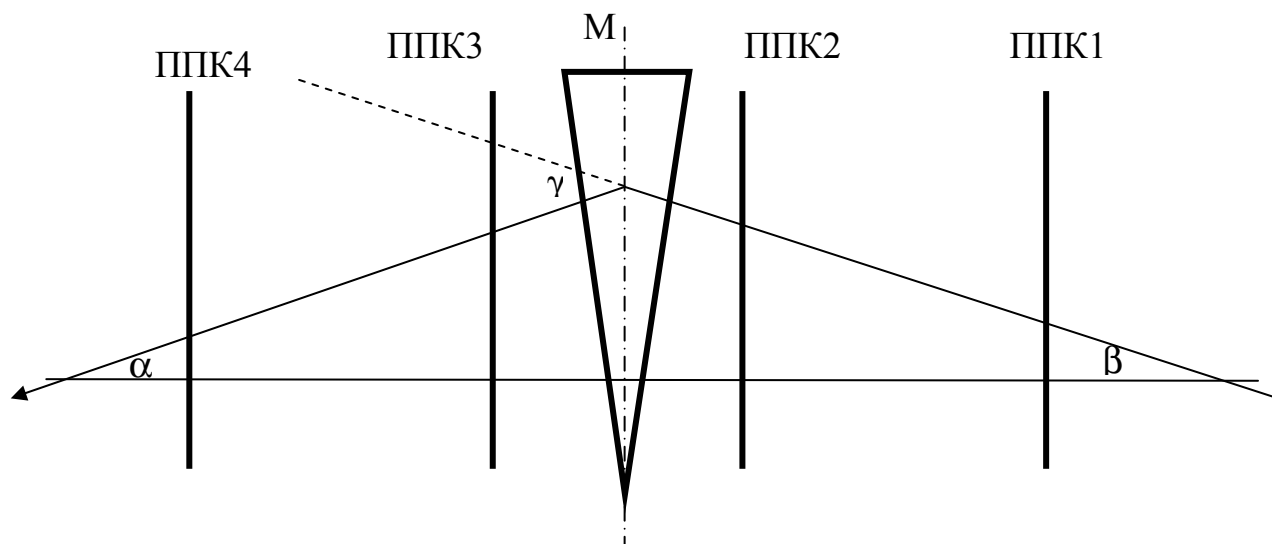
$$\sigma(\gamma) = \sqrt{\left(\frac{1}{S1}\right)^2 (\sigma^2(x_1) + \sigma^2(x_2)) + \left(\frac{1}{S2}\right)^2 (\sigma^2(x_3) + \sigma^2(x_4))} \quad (11)$$

Среднеквадратичная погрешность пространственного разрешения задаётся следующей формулой

$$\sigma(x) = \frac{d}{\sqrt{12}} \quad (12)$$

В магнитном спектрометре импульса пучка пропорциональные камеры имеют следующие расстояния между анодными проволочками: ППК1, ППК2 и ППК3 2мм, ППК4 1мм. В соответствии с формулой (12) $\sigma(x_1)$, $\sigma(x_2)$ и $\sigma(x_3) = 0.577$ мм., $\sigma(x_4) = 0.289$ мм. опираясь на эти данные рассчитываем погрешность угла отклонения вносимую пропорциональными камерами:

$$\frac{\sigma\gamma}{\gamma} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{14380}\right)^2 \cdot (0.333 + 0.333) + \left(\frac{1}{8650}\right)^2 \cdot (0.333 + 0.084)}}{24 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% \approx 0.4\%$$



Проектируемый магнитный спектрометр должен обладать следующими параметрами: $\beta = 8\text{мРад.}$, $\alpha = 16\text{мРад.}$, $S1 = 14.38\text{м.}$, $S2 = 8.65\text{м.}$

Опираясь на данный результат оценим вклад многократного рассеяния пучка заряженных частиц.

Многократное рассеяния пучка заряженных частиц.

Когда заряженная частица проходит через толстый слой вещества, она множество раз испытывает кулоновское рассеяние на малые углы. Этот процесс называется многократным рассеянием. Распределение пространственных углов многократного рассеяния $P(\theta)$ между направлениями движения частиц до и после рассеяние имеет вид

$$P(\theta) = \frac{2\theta}{\langle \theta^2 \rangle} \exp\left[-\frac{\theta^2}{\langle \theta^2 \rangle}\right] d\theta \quad (13)$$

где $\langle \theta^2 \rangle$ - средний квадрат угла рассеяния θ , равный по формуле Росси и Грейзена

$$\langle \theta^2 \rangle = z^2 \left(\frac{Es}{Pv}\right)^2 \left(\frac{t}{X}\right) \quad (14)$$

где X – радиационная длина вещества, Es – постоянная, имеющая размерность энергии

$$Es = (4\pi \cdot 137)^{1/2} mc^2 = 21.2\text{МэВ} \quad (15)$$

В нашем случае в межполюсном зазоре, длиной 600см, находится воздух, радиационная длина которого $X=36.66 \text{ г/см}^2$, и плотность $\rho=1.293\text{г/см}^3$. Отсюда

$$t = L_{\text{магн}} \cdot \rho_{\text{возд}} = 600\text{см} \cdot 1.293 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3 = 775.8 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$$

Пучок состоит из π^- -мезонов с импульсом 27 ГэВ/с. Так как масса π^- -мезоны мала (139.57МэВ) по сравнению с её импульсом, то $P \approx P v$.

$$\langle \theta^2 \rangle = 1 \left(\frac{21.2}{27 \cdot 10^3} \right) \left(\frac{775.8 \cdot 10^{-3}}{36.66} \right) \approx 12.909 \cdot 10^{-9} \text{ рад}^2.$$

$$\sqrt{\langle \theta^2 \rangle} \approx 0.1 \text{ мРад}$$

От планируемого угла поворота в магнитном поле равного 24мРад, 0.1мРад составляет примерно 0.5%.

Погрешность вносимая многократным рассеяния заряженных частиц должна быть заведомо меньше погрешности определения угла пропорциональными камерами. Поэтому требуется вакуумировать трассу пучка на участке ППК1 – ППК2.

Практическая часть.

На выходе пропорциональной камеры наблюдается сигнал порядка десятка микро Ампер. Для усиления сигнала с пропорциональной камеры используются усилитель УП-32, состоящий из 32 одинаковых усиливающих каналов. Питание каналов усилителя осуществляется по группам из 16 каналов. Опишем основные элементы одного из каналов по схеме (принципиальная схема УП-32 приведена в приложении). Сопротивление R1 (200Ом) задаёт входное сопротивление канала. Диоды V1 и V2 выполняют роль защитных диодов. Гибридная схема К243АГ1 выполняет роль усиления сигнала. Питание на ее подаётся от источника питания через диод V5(общий для 16 каналов усилителя). Транзисторы V7 и V8 (общий для 16 каналов) а также резисторы R10 и R11(общий для 8 каналов) создают опорные напряжения для К243АГ1. Транзисторы V3 и V4 формируют ЭСЛ уровни для передачи сигнала по витой паре длиной 70 метров в регистрирующую электронику.

Мне была поставлена практическая задача, выработать технологию проверки усилителей УП-32 и их починка. Для выполнения поставленной задачи был создан стенд, состоящий из: генератора, делителя напряжения, источника питания, осциллографа

и исследуемого усилителя УП-32. С генератора подаётся сигнал с амплитудой порядка 1Вольта на делитель напряжения, который уменьшает амплитуду сигнала до микро Вольта, что соответствует сигналу выходящего с пропорциональной камеры. С делителя напряжения сигнал подаётся на вход усилителя УП-32. Источник питания необходим для питания усилителя УП-32. С помощью осциллографа наблюдаются выходные сигналы с усилителя и сигнал с генератора.

Поиск неполадок осуществлялся путём сравнения потенциалов в характерных точках схемы усилителя УП-32, которые были заранее рассчитаны по принципиальной схеме усилителя.

В ходе работы с усилителем УП-32 были обнаружены следующие неисправности:

- 1) Неисправное сопротивление R1(200 Ом). Неисправность была обнаружена путём измерения потенциала на входе в усилитель УП-32 и потенциала после сопротивления. Измеренные потенциалы сильно отличаются. Всего было заменено порядка 50 сопротивлений.
- 2) Неисправны транзисторы V3 и V4. Потенциалы на базах, примерно -1.5В и -1.7В соответственно, и эмитарх -2.3В транзисторов верны, смещение на коллекторах неверны(не выполняется условие -1.7В и -0.7В на выходе усилителя УП-32). Всего обнаружен 1 случай данной неисправности.
- 3) Неисправен транзистор V7(один случай). Не работало 16 каналов усилителя, потенциал на эмиторе был неверен, вместо -2.3В -2.1В, при условии что потенциал на базе и коллекторе, -2.8В и -5.2В соответственно, совпадают.
- 4) Неисправна гибридная схема K243AG1. Потенциал на входе в усилитель УП-32 вместо -1.9В был порядка -3В. Был установлен один случай данной неисправности.
- 5) Неисправна гибридная схема K243AG1(один случай). Смещение уровней на выходе усилителя УП-32 неверно, потенциал на седьмой ноге схемы K243AG1 -2.9В вместо -2.4В, потенциал на входе УП-32 не верен (при исправном резисторе R1).

Заключение.

В ходе производственной практики был сделан расчет спектрометрического магнита для измерения импульса пучка с погрешностью менее одного процента.

Так же была разработана технология проверки усилителей УП-32, с помощью которой мной было проверено и починено порядка 15 усилителей. В процессе починки был составлен список возможных неисправностей в данном типе усилителей.

Список используемой литературы.

- 1) Принципы и методы регистрации элементарных частиц.; под редакцией академика Л. А. Арцимовича; издательство иностранной литературы; Москва 1963г.
- 2) Магнитные характеристики отклоняющих электромагнитов и квадрупольных линз для формирования пучков частиц на протонном синхротроне ИФВЭ.; А. В. Алексеев, М. Д. Веселов, В. С. Кузнецов, Ю. А. Ласточкин, И. А. Мозалевский, А. В. Никифоровский, Б. И. Тарасов, А. М. Фролов; Препринт ИФВЭ 1980г.
- 3) Review of particle physics.; Physics letters B; volume 592(2004)/
- 4) Детекторы элементарных частиц.; Клаус Групен; перевод с английского Н. Ю. Эйдельман и д-ра физ.-мат. наук Ю. И. Эйдельмана; под редакцией д-ра физ.-мат. наук Л. М. Курадзе и канд. физ.-мат. наук С. И. Эдельмана.

Приложение.

Топография магнитного поля B/B_0 магнита СП-12А1 в медианой плоскости зазора при $B_0=18\text{кГс}$.

x(см)	±16	±14	±12	±10	±8	±6	±4	±2	0	вклад % в интегр. поля
y(см)										
±252	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,036711
±242	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,048948
±232	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,085658
±222	0,02	0,02	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,128488
±212	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,208027
±202	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,054	0,054	0,330396
±192	0,08	0,082	0,083	0,085	0,086	0,087	0,087	0,088	0,089	0,544542
±182	0,137	0,138	0,139	0,139	0,14	0,141	0,141	0,142	0,142	0,86882
±172	0,223	0,225	0,227	0,229	0,231	0,232	0,233	0,234	0,234	1,431718
±162	0,369	0,372	0,373	0,375	0,376	0,377	0,378	0,378	0,378	2,312775
±152	0,658	0,661	0,663	0,665	0,666	0,667	0,668	0,668	0,669	4,093245
±142	0,855	0,861	0,866	0,87	0,874	0,877	0,879	0,881	0,882	5,396476
±132	0,917	0,923	0,927	0,931	0,934	0,936	0,937	0,938	0,938	5,739109
±122	0,943	0,948	0,952	0,955	0,96	0,96	0,962	0,963	0,963	5,89207
±112	0,957	0,962	0,965	0,968	0,97	0,972	0,973	0,974	0,974	5,959373
±102	0,964	0,97	0,973	0,976	0,978	0,98	0,981	0,982	0,982	6,008321
±92	0,968	0,973	0,977	0,98	0,983	0,985	0,987	0,988	0,988	6,045032
±82	0,972	0,978	0,982	0,985	0,987	0,988	0,989	0,99	0,99	6,057269
±72	0,975	0,981	0,985	0,988	0,99	0,992	0,993	0,994	0,994	6,081743
±62	0,977	0,983	0,987	0,99	0,992	0,944	0,994	0,995	0,995	6,087861
±52	0,979	0,985	0,987	0,992	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	6,100098
±42	0,979	0,985	0,987	0,992	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	6,100098
±32	0,979	0,985	0,987	0,992	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	6,100098
±22	0,981	0,987	0,991	0,994	0,996	0,998	0,998	0,999	0,999	6,112335
±12	0,981	0,987	0,991	0,994	0,996	0,998	0,998	0,999	0,999	6,112335
±2	0,981	0,988	0,992	0,995	0,997	0,999	0,999	1	1	6,118453
$\Phi(x)/\Phi(0)$	0,97932	0,985377	0,98917	0,992964	0,995595	0,994432	0,998532	0,999755	1	

