

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



2/10/78

СЗЧЧ.1к 3457/2-78
B-558

P1 - 11538

В.В.Вишняков, А.Г.Гальперин, И.Л.Писарев,
Я.Ружичка

ОБ ОЦЕНКАХ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МИС ОИЯИ

1978

P1 - 11538

В.В.Вишняков, А.Г.Гальперин, И.Л.Писарев,
Я.Ружичка

ОБ ОЦЕНКАХ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МИС ОИЯИ

Об оценках точностных характеристик МИС ОИЯИ

В работе рассмотрены точностные характеристики МИС ОИЯИ на основе анализа треков частиц пучка. Распределения систематических смещений координат искр в камерах спектрометра для разных сеансов работы характеризуются величинами $\sigma_{(\Delta y)} = 0,33$ мм и $0,40$ мм, $\sigma_{(\Delta z)} = 0,49$ мм и $0,52$ мм по осям Y и Z (магнитное поле параллельно оси Z и ортогонально к направлению пучка (ось X и оси Y)). Основной вклад в величину $\sigma_{(\Delta y)}$ вносит эффект стаггеринга. Проведено разделение случайных ошибок. Величины значений средних случайных отклонений координат искр относительно подгоночного трека составили $\sigma_y = 0,18$ мм и $\sigma_z = 0,64$ мм и $0,85$ мм при измерительной ошибке $\sigma_m = 0,11$ мм и $0,18$ мм, соответственно.

Показано, что величина пространственных флуктуаций положения искр в направлении оси Y в магнитном поле $H=1,76$ Т уменьшилась более чем в два раза по сравнению с той же величиной, определенной в отсутствие магнитного поля при сохранении остальных условий эксперимента, и составила $\sigma_{sp}(H) = 0,13$ мм ($\sigma_{sp}(0) = 0,27$ мм) и $\sigma_{sp}(H) = 0,16$ мм ($\sigma_{sp}(0) = 0,39$ мм). При этом учтено, что $\sigma_{y,sp}(0) = \sigma_{z,sp}(0) = \sigma_{z,sp}(H)$. Величины значений оценок разрешения спектрометра составили: по азимутальному углу $\delta_\phi = 0,10$ мрад; по глубинному углу $\delta_\lambda = 0,10$ мрад и $\delta_\lambda = 0,14$ мрад; импульсное разрешение $\Delta p/p = 0,23\%$.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

MIS(JINR) Accuracy Parameters

MIS (JINR) accuracy parameters are considered on the basis of the beam particle tracks analysis. Systematic error distributions in spark chambers for two runs are characterised by values $\sigma_{(\Delta y)} = 0,33$ mm and $0,40$ mm, $\sigma_{(\Delta z)} = 0,49$ mm and $0,52$ mm along Y- and Z-axes (magnetic field is parallel to z-axis and orthogonal to the beam direction (X-axis) and (Y-axis)). The main contribution in $\sigma_{(\Delta y)}$ is due to an effect of staggering.

Statistic error separation was made. Values of mean random deviations of spark coordinates from fitted track are equal to $\sigma_y = 0,18$ mm and $\sigma_z = 0,64$ mm and $0,85$; corresponding errors of measurements are $\sigma_{meas} = 0,11$ mm and $0,18$ mm, respectively. It is shown that $\sigma_{y,sp}(H)/\sigma_{y,sp}(0) \geq 2$ at the magnetic field $H=1,76$ Tl and at the same other experimental conditions: $\sigma_{y,sp}(H) = 0,13$ mm ($\sigma_{y,sp}(0) = 0,27$ mm) and $\sigma_{y,sp}(H) = 0,16$ mm ($\sigma_{y,sp}(0) = 0,39$ mm); in this calculation we suppose that: $\sigma_{y,sp}(0) = \sigma_{z,sp}(0) = \sigma_{z,sp}(H)$. Angular resolution of the spectrometer is $\sigma_\phi = 0,10$ mrad (for an azimuthal angle) and $\sigma_\lambda = 0,10$ and $0,14$ mrad (for a deep angle); momentum resolution is $\Delta p/p = 0,23\%$.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Точностные характеристики спектрометра МИС ОИЯИ^{/1/} при выключенном магнитном поле рассмотрены в работе^{/2/}. Полученные в этой работе характеристики представляют методический интерес и, кроме того, необходимы при анализе экспериментов по множественному рождению частиц при взаимодействиях π -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с с ядрами, выполненных на установке МИС ОИЯИ^{/3/}.

Для анализа частиц по импульсам требуется проводить эксперименты при включенном магнитном поле. Следовательно, и точностные характеристики спектрометра необходимо определить при этих же условиях. С этой целью были проанализированы результаты обработки двух пленок, полученных в разных сеансах работы спектрометра /пленка №652-сентябрь 1976 г., №954-декабрь 1976 г./ и содержащих информацию о треках частиц пучка при включенном магнитном поле $V=17,6$ кГц/.

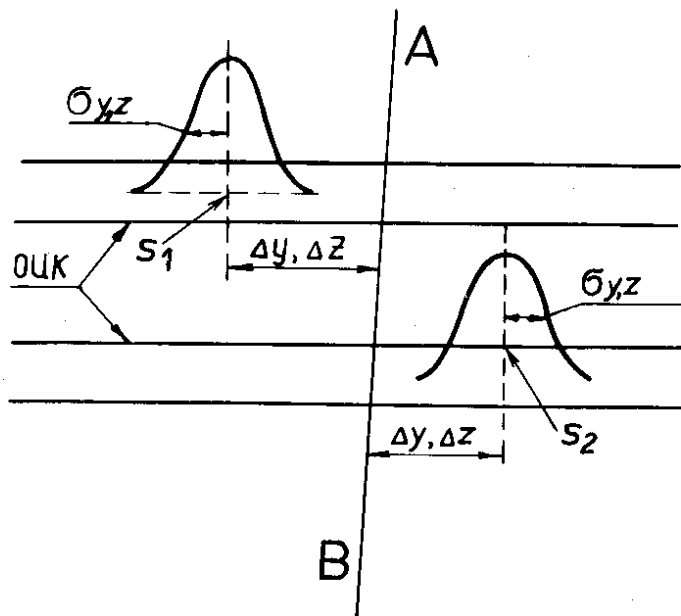
В данной работе рассматриваются систематические ошибки при определении координат искр в оптических искровых камерах /ОИК/, определяется величина стаггеринга и проводится разделение случайных ошибок. Некоторые из полученных характеристик сравниваются с аналогичными величинами, проведенными в работе^{/2/}, в которой содержатся определения основных величин и понятий, используемых в настоящей работе, а также сведения о вариантах геометрической реконструкции треков. Используемая в данной работе версия программы МОГМ1 отличается от предыдущей^{/2/} блоком, учитывающим оптические дисторсии искровых камер. При вычислениях использованы оптические константы, опре-

деленные в отсутствие магнитного поля и ранее примененные в работе^{12/}.

В данной работе определяются величины оценок разрешения по глубинному и азимутальному углам, а также значения импульсного разрешения спектрометра. Наконец, изучение систематических смещений координат искр приводит к рассмотрению эффектов, указывающих на возможное различие в координатах реперных меток спектрометра при включенном и выключенном магнитном поле.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ОИК

В работе часто используются термины "систематическое смещение искр" и их "случайные отклонения" относительно подгоночного трека. Смысл этих терминов становится ясен из рассмотрения рис. 1/см. также^{12/} /, где схематически изображены несколько ОИК. Здесь же показаны положения искр и отрезок подгоночного трека, усредненные по исследованным событиям.



Графики систематических смещений $\overline{\Delta y}$ как функций номера ОИК для пленок №652 и №954 приведены на рис. 2 а,б. На каждом из этих рисунков график 1 построен

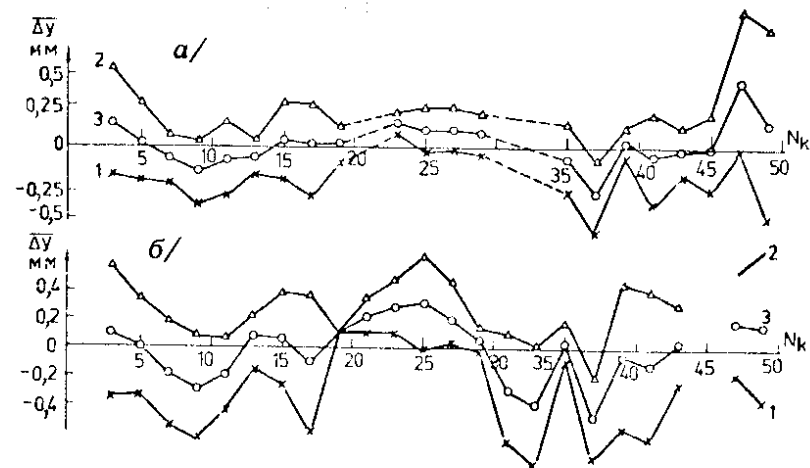


Рис.2. а/ - систематическое смещение Δy координат искр как функция номера ОИК /пленка №652/; б/ - систематическое смещение Δy координат искр как функция номера ОИК /пленка №954/. На обоих рисунках кривая 1 /крестики/ построена для камер с нечетными номерами, кривая 2 /треугольники/ - для камер с четными номерами, кривая 3 /кружки/ - усредненная по парам соседних камер величина $\overline{\Delta y}$.

Рис.1. Схематическое изображение нескольких оптических искровых камер, а также усредненных /по исследованным событиям/ положений искр в камерах спектрометра и подгоночного трека /для плоскостей YX и ZX/. Здесь ОИК - оптические искровые камеры, АВ - отрезок подгоночного трека, S_1 и S_2 - усредненные положения искр; $\Delta y, \Delta z$ - систематические смещения искр в ОИК относительно подгоночного трека; σ_y, σ_z - случайные отклонения искр относительно подгоночного трека, равные ширинам распределений соответствующих координат искр.

для систематических смещений искр в камерах с нечетными номерами, график 2 - для камер с четными номерами, а график 3 - для систематических смещений, усредненных по парам соседних камер /№1 и №2; №3 и №4 и т.д./. Относительный сдвиг графиков 1 и 2 объясняется эффектом стаггеринга /т.е. смещением электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях/. Величина стаггеринга определяется выражением

$$2S = \overline{\Delta y}_{\text{чет.}} - \overline{\Delta y}_{\text{нечет.}} \quad /1/$$

На рис. 3 приведены графики величины стаггеринга

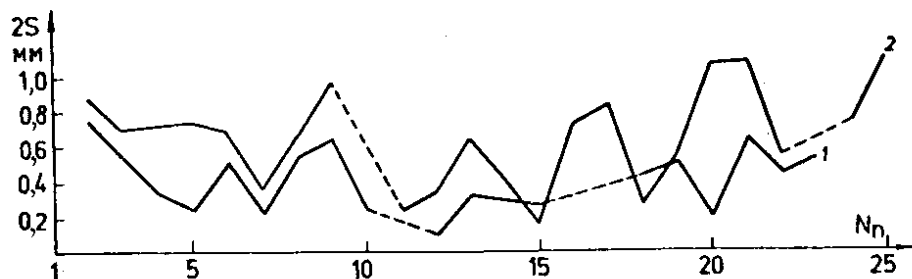


Рис. 3. Стаггеринг искр 2s как функция номера пары камер: кривая 1 - для пленки №652, кривая 2 - для пленки №954.

как функции номера пары камер для пленок №652 и №954 /графики 1 и 2 соответственно/. При этом средняя по спектрометру величина стаггеринга составляет $\sim 0,42 \pm 0,04$ мм в первом случае и $0,63 \pm 0,06$ мм - во втором. Отличие в средней величине стаггеринга для указанных пленок объясняется увеличением времени задержки импульсного питания камер /пленка №954/ на 0,3 мкс по сравнению с временем задержки /пленка №652/ $\tau_{\text{зад.}} = 1,1$ мкс. Очищающее поле в ОИК составляло величину ~ 20 В/см в обоих случаях. Нерегулярность в поведении зависимости стаггеринга от номера пары

камер может быть объяснена неидентичностью импульсного питания камер /различия в величинах задержек и форме высоковольтных импульсов/. Из данных, полученных в работе^{/4/}, следует, что изменение задержки на 0,1 мкс приводит к изменению величины стаггеринга на 0,4 мм /при $U_{\text{от}} = 50$ В/см, $B = 1,76$ Т/. Для сравнения приводится величина стаггеринга $2S = 2,2$ мм, полученная в работе^{/5/} /очищающее поле - 60 В/см, магнитное поле - 1,05 Т, время задержки - 0,4 мкс/.

Кроме указанного выше эффекта, связанного с различием в импульсном питании камер, на сравнительно большие флуктуации величины $\overline{\Delta y}$ вдоль спектрометра /рис. 2 а,б/ может влиять и изменение положения реперных меток спектрометра, происходящее при включении магнитного поля. На это же обстоятельство указывает и изменение величины систематических смещений $\overline{\Delta z}$ в камерах, происходящее при включении магнитного поля. Систематические смещения $\overline{\Delta z}$ искр относительно подгоночного трека, проведенного через весь спектрометр, для случаев с включенным и выключенным магнитным полем представлены на рис. 4 а,б. Более наглядное представление о перемещении реперных меток при включении магнитного поля дает рис. 5. На этом рисунке представлены для сравнения построенные по кусочно-линейной модели трека^{/2/} линии, характеризующие участки средней /по исследованным событиям/ траектории в блоках спектрометра при включенном /рис. 5а/ и выключенном /рис. 5б/ магнитном поле /при этом подгонка траектории проводится отдельно по каждому блоку спектрометра/. Распределения систематических смещений искр в камерах $\overline{\Delta z}$ относительно прямых участков средней траектории в блоках характеризуются величиной $\sigma_{\overline{\Delta z}} = 0,28$ мм/ для пленок №652 и №954/. Распределение систематической ошибки смещений искр $\overline{\Delta z}$ относительно треков, проведенных через весь спектрометр, характеризуется величиной $\sigma(\overline{\Delta z}) = 0,52$ мм.

Рассмотренные в этом разделе результаты были получены при обработке данных с использованием оптических констант, определенных в отсутствие магнитного поля. Эти результаты указывают на необходимость

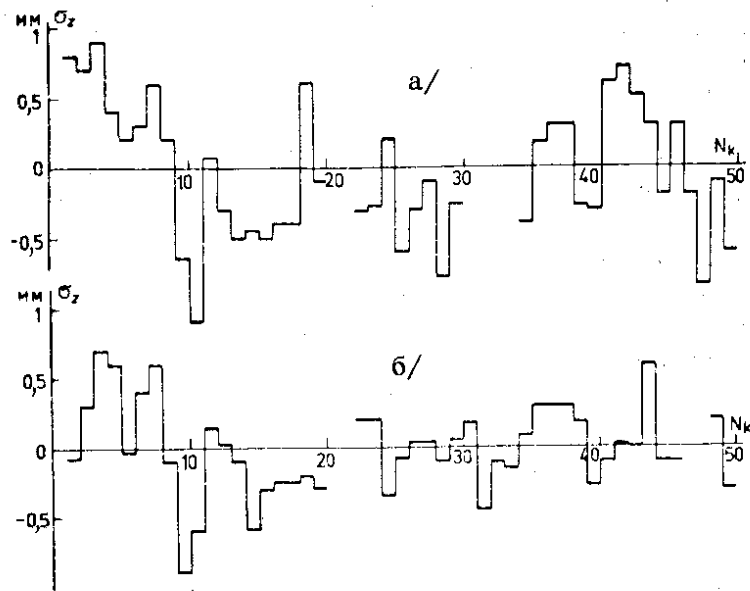


Рис.4. Систематические смещения $\bar{\Delta z}$ координат искр относительно подгоночного трека: а/ - магнитное поле включено, б/ - магнитное поле выключено.

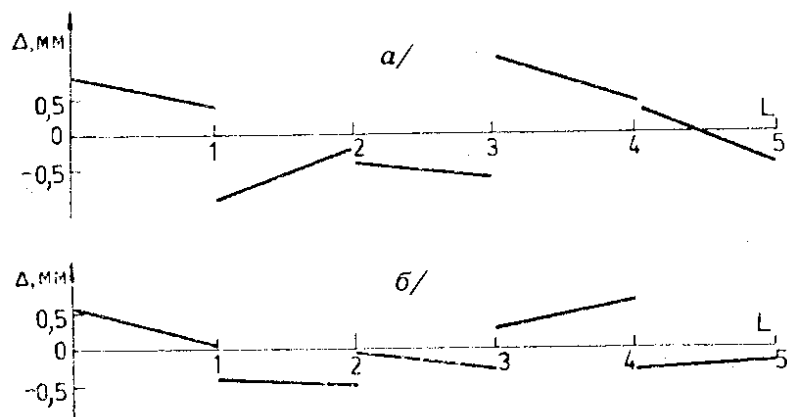


Рис.5. Линии, характеризующие отклонения подгоночных треков, построенных отдельно для каждого блока спектрометра, относительно подгоночного трека, проведенного через весь спектрометр: а/ - магнитное поле включено, б/ - магнитное поле выключено.

получения новых оптических констант, описывающих оптическую систему спектрометра при включенном магнитном поле.

Перейдем к рассмотрению случайных отклонений координат искр от подгоночных треков. Эти отклонения характеризуются величинами σ_y и σ_z для каждой камеры. На рис. 6 представлены распределения величин σ_y и σ_z по всем камерам спектрометра для уже упоминавшихся пленок №652 и №954. Для сравнения на этих же рисунках приведены распределения величин σ_y и σ_z для пленок №649 и №953, полученных при выключенном магнитном поле. Средние значения величин σ_y и σ_z по всему спектрометру составляют $\bar{\sigma}_y = 0,18$ мм и $\bar{\sigma}_z = 0,64$ мм /пленка 954/. В отсутствие магнитного поля $\bar{\sigma}_y = 0,40$ мм и $\bar{\sigma}_z = 0,71$ мм /пленка 953, см. /2/ /. Отсюда видно, что в магнитном поле величина $\bar{\sigma}_y$ значительно уменьшилась, в то время как величина $\bar{\sigma}_z$ приблизительно сохранила свое значение.

Известно /6/, что в магнитном поле уменьшается коэффициент диффузии электронов

$$D(H) = D(0) / (1 + \omega^2 / \nu^2), \quad /2/$$

где $D(0)$ - коэффициент диффузии электронов в отсутствие магнитного поля, $D(H)$ - коэффициент диффузии в плоскости, перпендикулярной к направлению поля, $\omega = \frac{eH}{mc}$ - частота Лармора и ν - частота столкновений электронов с атомами газа. Рассматривая среднеквадратичные отклонения искр относительно подгоночного трека аналогично тому, как в работе /7/ рассмотрены среднеквадратичные отклонения стримеров, запишем

$$\sigma_{y, sp}^{(2)}(H) = K \cdot D(H) \cdot \tau, \quad /3/$$

где $\sigma_{y, sp}$ - среднеквадратичная ошибка, связанная со смещением искр относительно подгоночного трека из-за диффузии /связь между измеренной величиной $\bar{\sigma}_y$, измерительной ошибкой и величиной $\sigma_{y, sp}$ рассмотрена в следующем параграфе/; K - коэффициент пропорциональности, τ - время задержки. Предполагая независимость

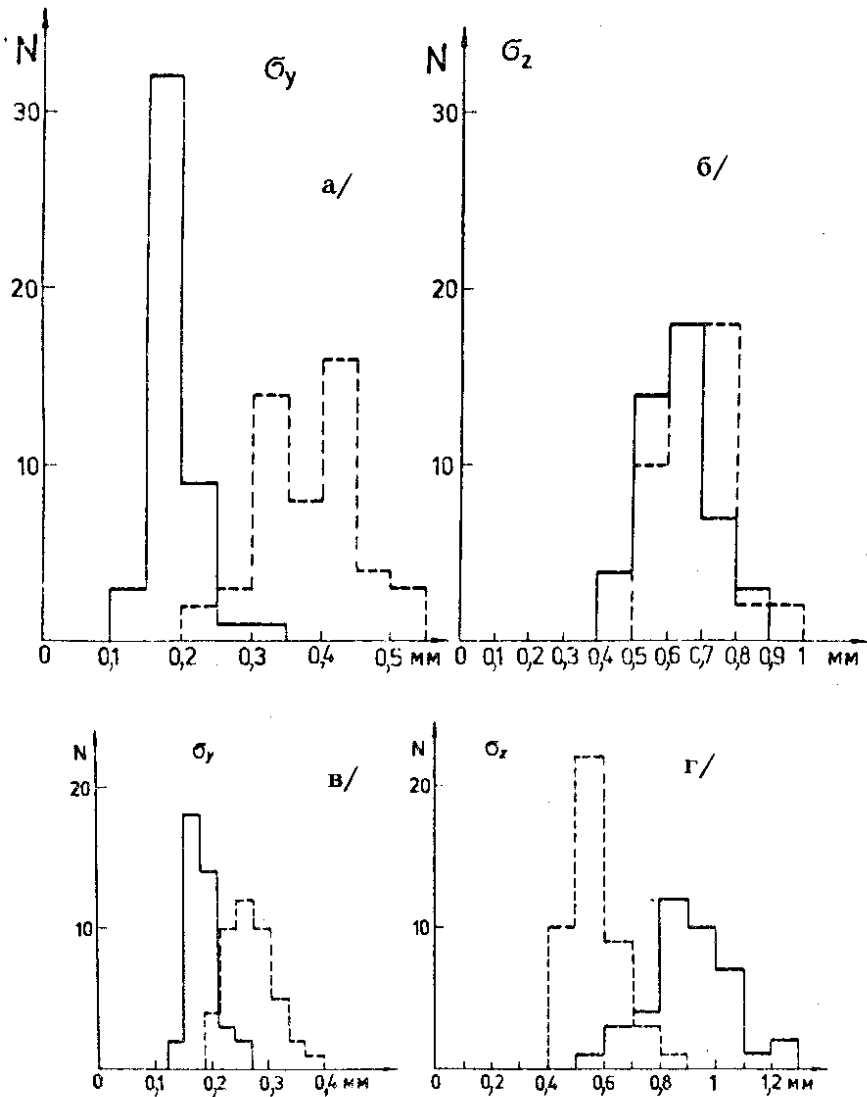


Рис.6. Распределение случайных отклонений координат искр по всем камерам спектрометра при включенном /сплошные линии/ и выключенном /пунктирные линии/ магнитном поле при прочих равных условиях эксперимента для пар пленок, полученных в разных сеансах работы спектрометра: а, б - σ_y и σ_z /пленка №953, №954/; в, г - σ_y и σ_z /пленка №649, №952/

коэффициента K от магнитного поля, из формул /2/ и /3/ получаем

$$\sigma_{y,sp}(H,t) = \frac{\sigma_{y,sp}(0,t)}{\sqrt{1 + \omega_H^2/\nu^2}} \quad /4/$$

Этим и объясняется уменьшение величины $\bar{\sigma}_y$ при включенном магнитном поле и приближенное равенство $\bar{\sigma}_z(H) \approx \bar{\sigma}_z(0)$. Этот эффект для стримерной камеры наблюдался авторами работы /7/. Ими же указано на возможность возникновения этого эффекта в искровых камерах.

РАЗДЕЛЕНИЕ ОШИБОК ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Используя данные о величинах измеренных среднеквадратичных отклонений по Y- и Z-координатам $\bar{\sigma}_y$ и $\bar{\sigma}_z$, можно составить систему уравнений, связывающую эти величины с измерительной ошибкой $\bar{\sigma}_m$ и ошибками вследствие диффузии искр $\sigma_{y,sp}$ и $\sigma_{z,sp}$ в магнитном поле:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_y^2 &= \bar{\sigma}_{y,sp}^2(H) + \frac{1}{2} \bar{\sigma}_m^2, \\ \bar{\sigma}_z^2 &= \bar{\sigma}_{z,sp}^2(H) + 2\lambda^2 \bar{\sigma}_m^2. \end{aligned} \quad /5/$$

Здесь $\lambda = L/B$ - стереофактор, где B - расстояние между оптическими осями объективов, L - расстояние до фотографируемого объекта; $\bar{\sigma}_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 2\sigma_d^2}$ - полная измерительная ошибка, включающая собственно измерительную ошибку σ_m и ошибки вследствие оптических дисторсий стекол камер σ_d .

Система уравнений /5/ отличается от системы уравнений относительно возможных ошибок спектрометра /2/ в отсутствие магнитного поля тем, что в /5/ не может быть использовано предположение об изотропности в пространстве флуктуаций искры. Это следует из результатов, полученных в предыдущем параграфе.

Система уравнений /5/ не определена, так как число неизвестных в ней превышает число уравнений. Тем не менее, используя тот факт, что $\sigma_{z,sp}(H) \approx \sigma_{z,sp}(0)$, и подставляя для $\sigma_{z,sp}(0)$ значение, полученное для пленок, экспонированных при выключенном магнитном поле при прочих равных условиях эксперимента, вместо уравнений /5/ получаем систему уравнений /6/, которая разрешима:

$$\bar{\sigma}_y^2 = \bar{\sigma}_{y,sp}^2(H) + \frac{1}{2} \bar{\sigma}_m^2$$

$$\bar{\sigma}_z^2 = \bar{\sigma}_{z,sp}^2(0) + 2\lambda^2 \bar{\sigma}_m^2 \quad /6/$$

Решая уравнения /6/, находим

$$a/ \bar{\sigma}_{y,sp}(H) = 0,16 \text{ мм.}$$

$$б/ \bar{\sigma}_m = 0,11 \text{ мм.}$$

Эти данные получены по обработке пленок №№ 953, 954. В таблице приведены величины $\bar{\sigma}_{y,sp}(H)$ и, для сравнения, величины $\bar{\sigma}_{sp}(0)$, взятые из работы /2/.

Таблица

№ пленки	652	649	954	953
$\sigma(\Delta y)$, мм	0,33	0,16	0,40	0,16
$\sigma(\Delta z)$, мм	0,49	0,80	0,52	0,79
$\bar{\sigma}_y$, мм	0,18	0,28	0,18	0,40
$\bar{\sigma}_z$, мм	0,85	0,57	0,64	0,71
$\bar{\sigma}_m$, мм	0,18	0,11	0,11	0,13
$\bar{\sigma}_{y,sp}(H)$, мм	0,13	—	0,16	—
$\bar{\sigma}_{z,sp}(H)$, мм	0,27	0,27	0,39	0,39
$\bar{\delta}_\phi(H)$, мрад.	0,10	0,15	0,09	0,19
$\bar{\delta}_\lambda(H)$, мрад.	0,14	0,12	0,10	0,12

Используя формулу /4/ и величины $\bar{\sigma}_{y,sp}(0)$ и $\bar{\sigma}_{y,sp}(H)$ при заданном магнитном поле, получаем величину частоты столкновений электронов с атомами газа, усредненную по времени задержки, превышающему время термализации электронов:

$$\bar{\nu} = \sqrt{\frac{\sigma_{y,sp}^2(H, \tau)}{\sigma_{y,sp}^2(0, \tau) - \sigma_{y,sp}^2(H, \tau)}} \cdot \omega \quad /7/$$

РАЗРЕШЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРА ПО ГЛУБИННОМУ И АЗИМУТАЛЬНОМУ УГЛАМ

Угловые размеры пучка частиц составили: по азимуту $\sigma_\phi = 0,36$ мрад и по глубинному углу $\sigma_\lambda = 0,53$ мрад. При этом величина значения оценки разрешения спектрометра по глубинному углу $\bar{\delta}_\lambda = 0,14$ мрад.

Вследствие пропорциональности величин $\bar{\delta}_\phi$ и $\bar{\sigma}_y$, используя значения величин $\bar{\delta}_\phi(0) = 0,15$ мрад и $\bar{\sigma}_y(0) = 0,28$ мрад, полученные при выключенном магнитном поле /2/ и значение $\bar{\delta}_y(H)$, определенное в настоящей работе, получим

$$\bar{\delta}_\phi(H) = \bar{\delta}_y(H) \cdot \frac{\bar{\delta}_\phi(0)}{\bar{\sigma}_y(0)} = 0,10 \text{ мрад.}$$

Такой способ получения значения оценки величины $\bar{\delta}_\phi(H)$ использован потому, что определяемая в программе геометрической реконструкции величина дает заниженную оценку точности. Это происходит из-за того, что в существующем варианте программы не вводится поправка на стаггеринг. Полученная по программе величина разрешения спектрометра по азимутальному углу составила $\bar{\delta}_\phi \text{ прогн.}(H) = 0,18$ мрад. Вышеприведенные величины относятся к пленке №652. Для пленки №954 указанные величины составили: $\sigma_\phi = 0,32$ мрад;

$\sigma_\lambda = 0,44$ мрад; $\bar{\delta}_\lambda (H) = 0,10$ мрад; $\bar{\delta}_\phi (H) = 0,09$ мрад;
 $\bar{\sigma}_{\text{фирогр}} (H) = 0,19$ мрад.

ИМПУЛЬСНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРА

Как известно, величины ошибок импульса и сагиты связаны соотношением

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta s}{s}, \quad /8/$$

где p - импульс, s - сагита, а Δp и Δs - ошибки этих величин.

Используя соотношение между Δs и σ_y , данное в работе /8/:

$$\Delta s = \frac{3,5 \sigma_y}{\sqrt{N}},$$

где N - число измеряемых на треке точек, и соотношение $s = \ell^2 / 8R$, получим

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{3,5 \sigma_y \cdot 8R}{\sqrt{N} \cdot \ell^2}.$$

Подставляя в это выражение найденное значение $\sigma_y = 0,18$ мм, $N = 50$, $R = 75$ м, $\ell = 4,8$ м /расстояние между крайними камерами/, получим оценку импульсного разрешения спектрометра

$$\frac{\Delta p}{p} = 0,23 \%$$

Авторы благодарят М.А.Ананьеву за помощь в работе, О.А.Займидорогу за дискуссию, Л.К.Лыткина за предоставление оптических констант и Г.Н.Литвинову за помощь при оформлении работы. Авторы признательны И.М.Василевскому за постоянный интерес к работе и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анджек Р. и др. ОИЯИ, 13-3588, Дубна, 1967.
2. Вишняков В.В. и др. ОИЯИ, P1-11321, Дубна, 1978.
3. Труды ХУШ международной конференции по физике высоких энергий, Тбилиси, 1976. ОИЯИ, Д1,2-10400, Дубна, 1977.
4. Журавик А. и др. ОИЯИ, P13-11016, Дубна, 1977.
5. Astbury P. e.a. Nucl. Instr. and Meth., 1967, 46, p.61.
6. Энгель А. Ионизованные газы. ГИФМЛ, Москва, 1959.
7. Дайон М.И. и др. ПТЭ, 1970, 5, с. 64.
8. Roberts A. Int. Symp. Nucl. Electr., Paris, 1963, p.21.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 мая 1978 года.