

P10-2001-50

С.А.Мовчан, К.П.Моисенз, П.В.Моисенз

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ
ДЕТЕКТОРОВ ПЕРВОЙ МЮОННОЙ СТАНЦИИ
(ME1/1) УСТАНОВКИ
«КОМПАКТНЫЙ МЮОННЫЙ СОЛЕНОИД» (CMS)**

Первая мюонная станция (ME1/1) (см. рис. 1) является составным элементом мюонной системы создаваемой установки «Компактный мюонный соленоид» (CMS) и расположена в ее торцевой части. ME1/1 выполнена в виде набора из 36 детекторов - трапециевидных многопроволочных пропорциональных камер с катодным считыванием информации (МПК). Отдельная МПК собрана из шести регистрирующих слоев, позволяющих определять координаты регистрируемых частиц (азимутальный угол φ и радиус ρ). Область перекрытия соседних МПК составляет 0,015 рад и предназначена для связи детекторов между собой.

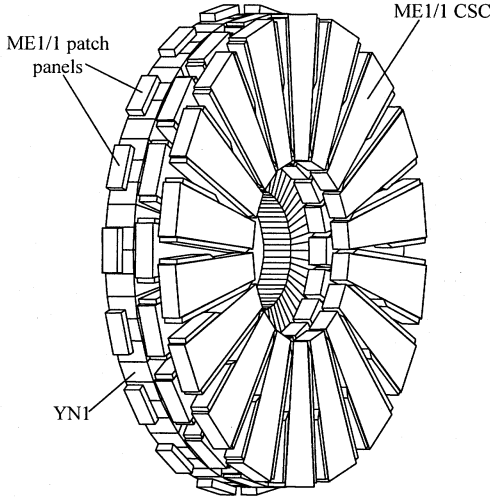


Рис. 1. Первая мюонная станция ME1/1 торцевой части установки CMS

Успешный анализ физических процессов возможен при условии, что каждый регистрирующий слой МПК обеспечивает точность (σ_{sum}) оценки азимутального угла места прохождения мюона на уровне $6 \cdot 10^{-5}$ рад (150 мкм). В упрощенной модели σ_{sum} можно представить как

$$\sigma_{sum}^2 = \sigma_{met}^2 + \sigma_{dif}^2 + \sigma_{m.f.}^2 + \sigma_{wire}^2 + \sigma_{mech}^2 + \sigma_{alig}^2,$$

где σ_{met} – точность метода для перехода от измеряемых сигналов к координате. Как показано в [2], эта величина прямо пропорциональна отношению шума канала электроники к измеренному на катоду сигналу и обратно пропорциональна производной от измеренного на стрипах заряда. Для газового усиления $6 \cdot 10^4$ и шума канала 0,8 фКл в верхней части регистрирующего слоя $\sigma_{met} = 85$ мкм,

σ_{dif} – вклад, определяемый диффузией электронов [3] при их движении к анодной проволоке в газовом объеме детектора. Для единичного электрона $\sigma_{dif,1e}$ можно найти как

$$\sigma_{dif,1e} = \sqrt{2Dt}, \quad D = \frac{2\varepsilon\tau}{3m} = \frac{\varepsilon_k\tau}{m},$$

где t – время движения электрона, ε – энергия электрона, τ – среднее время между столкновениями электрона с молекулами газа, ε_k – характерная энергия, m – масса электрона. Для N электронов $\sigma_{dif}^2 = \sigma_{dif,1e}^2/N$. Для

газовой смеси $Ar(40\%)+CF_4(10\%)+CO_2(50\%)$ $\sigma_{diff} \approx (L/3,63)^{1/2} \times 13$ мкм, где L - средняя длина пробега электрона. В нашем случае $\sigma_{diff} = 17$ мкм, $\sigma_{m.f.}$ - вклад, определяемый влиянием магнитного поля на движущийся электрон [4]. Для условий CMS основной вклад обеспечивается радиальной составляющей и параметризован по экспериментальным результатам как

$$\sigma_{Br} = \frac{h \cdot B_r \cdot \sigma_{gas}}{3},$$

где h - расстояние между анодом и катодом, а B_r - величина радиальной составляющей магнитного поля (в Теслах),

$\sigma_{gas} = 90$ мкм для $Ar(40)+CF_4(10)+CO_2(50)$,

$\sigma_{gas} = 80$ мкм для $Ar(30)+CF_4(10)+CO_2(60)$,

$\sigma_{gas} = 77$ мкм для $Ar(24)+CF_4(10)+CO_2(60)+C_4H_{10}(6)$.

Для условий CMS $\sigma_{m.f.} = 55$ мкм,

σ_{wire} - вклад, определяемый неполной компенсацией нормальной составляющей магнитного поля (для условий CMS $\sigma_{wire} \leq 48$ мкм),

σ_{mech} - вклад, определяемый качеством изготовления детектора ($\sigma_{mech} = 50$ мкм),

σ_{align} - вклад, определяемый точностью положения детектора в системе координат установки.

Результаты моделирования и стендовые испытания показали, что пять первых членов обеспечивают σ_{sum} не больше 120 мкм. В данной работе анализируется вклад σ_{align} и методы его уменьшения.

Введем общую декартову систему координат (XYZ) установки CMS. Предположим, что начало системы координат совпадает с центром установки, ось Z совпадает с осью симметрии установки и направлена вдоль оси пучка, а ось Y имеет направление, противоположное действию сил гравитации. Основными источниками неопределенности положения детектора ME1/1 являются ошибки монтажа камер на несущем диске (см. рис. 2) и влияние гравитации (см. рис. 3).

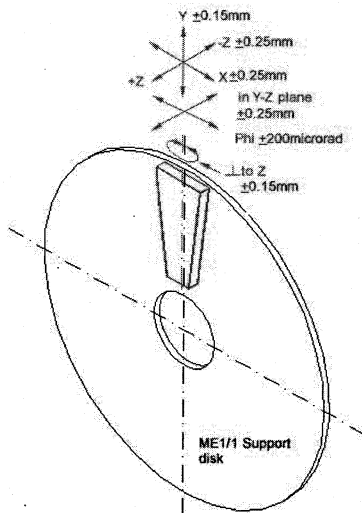


Рис. 2. Расчетная схема ошибок монтажа отдельной камеры на несущем диске

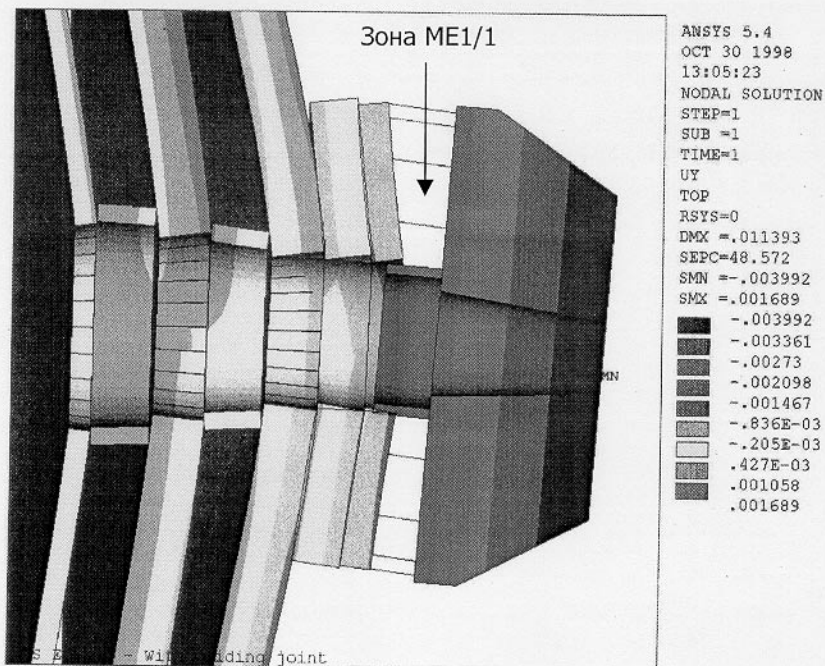


Рис. 3. Влияние гравитации на торцевую часть установки CMS

Наибольшее отклонение из-за ошибок монтажа составляет 750 мкм в верхней части детектора на радиусе 250 см, а под действием сил гравитации детектор смещается на 2,7 мм.

Математически положение детектора определяется параметрами локальной системы координат детектора в общей системе координат установки. Необходимые параметры обычно определяют геодезическими методами, но при этом их точность уступает точностным характеристикам самих детекторов. Для проведения качественной реконструкции регистрируемых событий необходимо уточнить геодезические оценки. Входной информацией для этого служат результаты регистрации траекторий частиц, прошедших через рабочую область детекторов. Основные этапы определения параметров локальных систем координат состоят в следующем:

- определение типа траектории регистрируемых частиц,
- определение значимых параметров локальных систем координат и построение формул преобразования локальных координат,
- построение функции, описывающей отклонение измеренных координат траектории от самой траектории,
- вычисление параметров локальных систем координат из условия минимума ранее построенной функции.

В объеме станции ME1/1 магнитное поле установки CMS не является строго однородным. Так, нормальная составляющая (ориентированная вдоль оси Z) изменяется от 4 Тл до 3 Тл, а радиальная составляющая не превышает 0,6 Тл, однако для решаемой задачи эти изменения не существенны, поэтому для определения типа

траектории предположим, что магнитное поле однородно и направлено вдоль оси Z. На рис. 4 представлена траектория заряженной частицы в однородном магнитном поле.

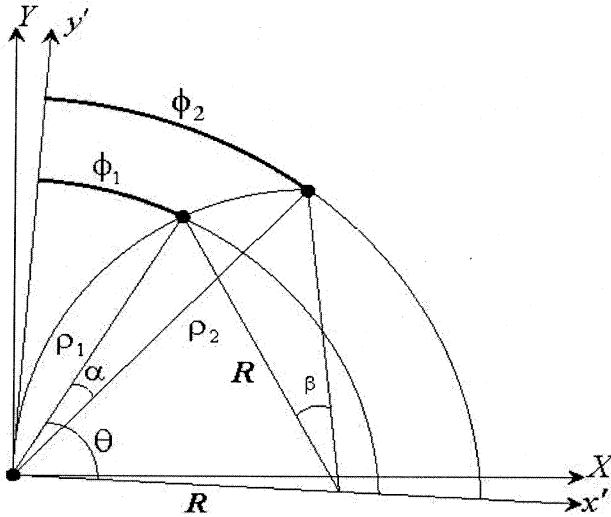


Рис. 4. Траектория заряженной частицы в однородном магнитном поле, направленном перпендикулярно плоскости XY

Введя в рассмотрение новую систему координат $(x'y')$, где y' – касательная к траектории частицы, а R – радиус окружности, по которой движется частица, легко найти, что

$$R^2 = \rho_1^2 + R^2 - 2\rho_1 R \cos(\theta),$$

$$\rho_1 = 2R \sin(\phi_1),$$

$$\rho_2 = 2R \sin(\phi_2) = 2R \sin(\phi_1 + \alpha).$$

Для малых α

$$\rho_2 = 2R \sin(\phi_1) + 2R \cos(\phi_1) \alpha.$$

При движении заряженной частицы в однородном магнитном поле по винтовой линии изменение азимутального угла пропорционально координате z , поэтому $\alpha = 0,5 \cdot \beta = k \cdot z$, где k – некий коэффициент, а z – координата частицы вдоль магнитного поля. Окончательно получим, что

$$\rho = A + Bz,$$

$$\phi = C + Dz,$$

где ρ и ϕ – полярные координаты частицы (расстояние до полюса и угол поворота). Иными словами, траектории частиц внутри станции ME1/1 в полярной системе координат являются отрезками прямых линий. На рис. 5 по результатам моделирования представлены координаты ρ и ϕ мюонов (с импульсами 30 ГэВ/с и 300 ГэВ/с), движущихся в магнитном поле величиной 3 Тл, как функции координаты z .

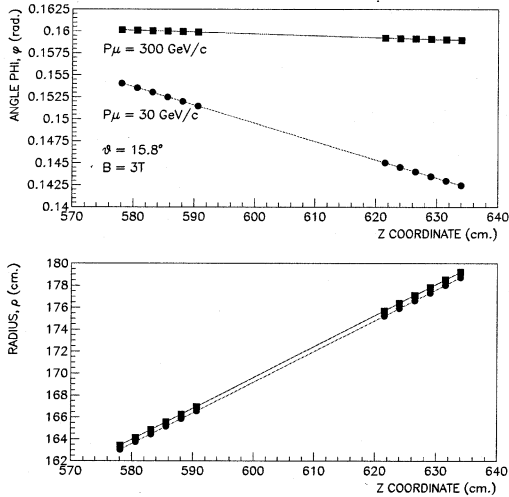


Рис. 5. Зависимость полярных координат мюона в магнитном поле 3 Тл от координаты Z

Анализ влияния ошибок монтажа (см. рис. 2) на координатную точность ME1/1 показал, что наиболее значимыми являются смещения и наклоны в плоскости XY. Таким образом, параметрами локальной (полярной) системы координат регистрирующего слоя i , подлежащими уточнению в общей системе координат установки (см. рис. 6), являются:

- ρ_i – расстояние между полюсом локальной системы координат и осью Z ,
- φ_i – угол между ρ_i и плоскостью XZ,
- γ_i – угол между полярной осью и плоскостью XZ.

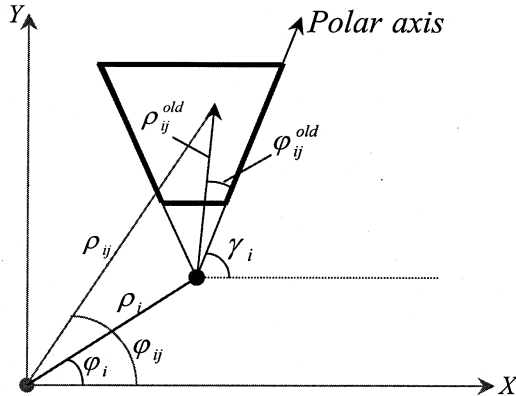


Рис. 6. Положение локальной (полярной) системы координат регистрирующего слоя i (представленного трапецией) в общей системе координат XYZ (ось Z перпендикулярна плоскости рисунка)

Перейдем к построению формул преобразования локальных координат. Пусть ρ_{ij}^{old} – полярный радиус (см. рис. 6), а φ_{ij}^{old} – полярный угол зарегистрированной частицы, где i – номер регистрирующего слоя, а j – номер трека заряженной частицы, тогда соответствующие ρ_{ij} и φ_{ij} в общей системе координат можно представить как

$$\rho_{ij}^2 = \rho_i^2 + \rho_{ij}^{old^2} - 2\rho_i \rho_{ij}^{old} \cos(\varphi_i + 180 - \varphi_{ij}^{old} - \gamma_i),$$

$$\rho_{ij} \approx \rho_{ij}^{old} \sqrt{1 + \frac{2\rho_i \cos(\alpha_i + \varphi_{ij}^{old})}{\rho_{ij}^{old}}} = \rho_{ij}^{old} + \rho_i \cos(\alpha_i + \varphi_{ij}^{old}),$$

$$\alpha_i \equiv \gamma_i - \varphi_i;$$

$$\varphi_{ij} = \varphi_i + \arcsin \left(\frac{\rho_{ij}^{old} \sin(\alpha_i + \varphi_{ij}^{old})}{\sqrt{\rho_{ij}^{old^2} + \rho_i^2 + 2\rho_i \rho_{ij}^{old} \cos(\alpha_i + \varphi_{ij}^{old})}} \right) \approx$$

$$\approx \gamma_i + \varphi_{ij}^{old} - \frac{\rho_i \sin(\alpha_i + \varphi_{ij}^{old})}{\rho_{ij}^{old}}.$$

Построим минимизируемую функцию (F) для вычисления ρ_i , φ_i и γ_i , где i – номер регистрирующего слоя. Для простоты изложения необходимые выкладки проведем для двух соседних перекрывающихся детекторов, поэтому $i = 1, 2, \dots, 12$. Траектории заряженных частиц внутри ME1/1, являющихся отрезками прямых для переменных ρ и φ , запишем в виде

$$\rho_{ij}^{theor} = (1 - k_i) \rho_{1j}^{theor} + k_i \rho_{12j}^{theor},$$

$$\varphi_{ij}^{theor} = (1 - k_i) \varphi_{1j}^{theor} + k_i \varphi_{12j}^{theor},$$

где

$$k_i \equiv \frac{(z_i - z_1)}{(z_{12} - z_1)},$$

z_i – координата Z детектирующего слоя с номером i .

$$\begin{aligned}
\text{Тогда } F &= \sum_{j=1}^N \sum_{i=2}^{11} \frac{(\rho_{ij}^{\text{theor}} - \rho_{ij})^2}{\sigma_\rho^2} + \frac{(\varphi_{ij}^{\text{theor}} - \varphi_{ij})^2}{\sigma_\varphi^2} = \\
&= \sum_{j=1}^N \sum_{i=2}^{11} [(1-k_i)(\rho_{1j}^{\text{old}} + \varepsilon_{1j}^\rho + \rho_1 \cos(\alpha_1 + \varphi_{1j}^{\text{old}} + \varepsilon_{1j}^\varphi)) + \\
&\quad + k_i(\rho_{12j}^{\text{old}} + \varepsilon_{12j}^\rho + \rho_{12} \cos(\alpha_{12} + \varphi_{12j}^{\text{old}} + \varepsilon_{12j}^\varphi)) - \rho_{ij}^{\text{old}} - \rho_i \cos(\alpha_i + \varphi_{ij}^{\text{old}})]^2 \frac{1}{\sigma_\rho^2} + \\
&\quad + \sum_{j=1}^N \sum_{i=2}^{11} [(1-k_i) \left(\varphi_{1j}^{\text{old}} + \varepsilon_{1j}^\varphi + \gamma_1 - \frac{\rho_1 \sin(\alpha_1 + \varphi_{1j}^{\text{old}} + \varepsilon_{1j}^\varphi)}{\rho_{1j}^{\text{old}} + \varepsilon_{1j}^\rho} \right) + \\
&\quad + k_i \left(\varphi_{12j}^{\text{old}} + \varepsilon_{12j}^\varphi + \gamma_{12} - \frac{\rho_{12} \sin(\alpha_{12} + \varphi_{12j}^{\text{old}} + \varepsilon_{12j}^\varphi)}{\rho_{12j}^{\text{old}} + \varepsilon_{12j}^\rho} \right) - \\
&\quad - \left(\varphi_{ij}^{\text{old}} + \gamma_i - \frac{\rho_i \sin(\alpha_i + \varphi_i^{\text{old}})}{\rho_{12j}^{\text{old}}} \right)]^2 \frac{1}{\sigma_\varphi^2},
\end{aligned}$$

где N – количество треков заряженных частиц, пересекающих одновременно две соседние камеры,

ε^ρ и ε^φ – случайные ошибки измерений полярного радиуса и полярного угла,
 σ^ρ и σ^φ – точность измерений полярного радиуса и полярного угла.

Введем новые переменные $\Delta x_i \equiv \rho_i \cos(\alpha_i)$, $\Delta y_i \equiv \rho_i \sin(\alpha_i)$
и матрицу C

$$C = \begin{pmatrix} \sum_{i=2}^{11} (1-k_i)^2 & -(1-k_2) & -(1-k_3) & \dots & -(1-k_{11}) & \sum_{i=2}^{11} k_i(1-k_i) \\ (1-k_2) & -1 & 0 & \dots & 0 & k_2 \\ (1-k_3) & 0 & -1 & \dots & 0 & k_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (1-k_{11}) & 0 & 0 & \dots & -1 & k_{11} \\ \sum_{i=2}^{11} k_i(1-k_i) & -k_2 & -k_3 & \dots & -k_{11} & \sum_{i=2}^{11} k_i^2 \end{pmatrix},$$

ранг которой равен 10. Из условия минимума F получим следующую систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \Delta x_i c_{li} \left(\frac{\cos(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} \right) - \\ & - \Delta y_i c_{li} \left(\frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} - \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} \right) - \gamma_i \frac{c_{li} \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} = \\ & = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \frac{-c_{li} \rho_{ij}^{old} \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{c_{li} \rho_{ij}^{old} \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \Delta x_i c_{li} \left(-\frac{\cos(\varphi_{ij}^{old}) \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} \right) + \\ & + \Delta y_i c_{li} \left(\frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{\cos(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} - \frac{\sigma_\varphi^2 (\delta_{1i} + \delta_{12i}) (\delta_{1l} + \delta_{12l})}{\sigma_\rho^2} \right) - \\ & - \gamma_i \frac{c_{li} \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \frac{c_{li} \rho_{ij}^{old} \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{c_{li} \rho_{ij}^{old} \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2}, \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N -\Delta x_i \frac{c_{li} \sin(\varphi_{ij}^{old})}{\rho_{ij}^{old}} - \Delta y_i \frac{c_{li} \cos(\varphi_{ij}^{old})}{\rho_{ij}^{old}} + \gamma_i c_{li} = -\sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N c_{li} \varphi_{ij}^{old},$$

где $l = 1, 2, \dots, 12$.

Для телескопа из двенадцати регистрирующих слоев, используя третье уравнение, можно избавиться в первом и втором уравнениях от членов, содержащих γ_i . Система уравнений приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \Delta x_i c_{li} \left(\frac{\cos(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} - \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \sin(\varphi_{il}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \rho_{il}^{old} \sigma_\varphi^2} \right) - \\ & - \Delta y_i c_{li} \left(\frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} - \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{ij}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} + \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{ik}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \rho_{ik}^{old} \sigma_\varphi^2} \right) = \\ & = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{-c_{li} \rho_{ij}^{old} \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{c_{li} \varphi_{ij}^{old} \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} - \frac{c_{li} \sin(\varphi_{lj}^{old}) \varphi_{ik}^{old}}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2}, \\ & \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \Delta x_i c_{li} \left(-\frac{\cos(\varphi_{ij}^{old}) \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} - \frac{\cos(\varphi_{lj}^{old}) \sin(\varphi_{il}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \rho_{il}^{old} \sigma_\varphi^2} \right) + \\ & + \Delta y_i c_{li} \left(\frac{\sin(\varphi_{ij}^{old}) \sin(\varphi_{il}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{\cos(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{il}^{old})}{\rho_{ij}^{old} \rho_{il}^{old} \sigma_\varphi^2} + \frac{\cos(\varphi_{ij}^{old}) \cos(\varphi_{ik}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \rho_{ik}^{old} \sigma_\varphi^2} - \frac{\sigma_\varphi^2 (\delta_{11} + \delta_{12l}) (\delta_{11} + \delta_{12l})}{\sigma_\rho^2} \right) = \\ & = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{c_{li} \rho_{ij}^{old} \sin(\varphi_{lj}^{old})}{\sigma_\rho^2} + \frac{c_{li} \varphi_{ij}^{old} \cos(\varphi_{lj}^{old})}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2} - \frac{c_{li} \cos(\varphi_{lj}^{old}) \varphi_{ik}^{old}}{\rho_{lj}^{old} \sigma_\varphi^2}, \\ & \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N -\Delta x_i \frac{c_{li} \sin(\varphi_{ij}^{old})}{\rho_{ij}^{old}} - \Delta y_i \frac{c_{li} \cos(\varphi_{ij}^{old})}{\rho_{ij}^{old}} + \gamma_i c_{li} = -\sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^N c_{li} \varphi_{ij}^{old}. \end{aligned}$$

Анализируя систему уравнений, легко найти, что для определения всех γ_i необходимо, как минимум, знать два значения вдоль оси Z (т.к. ранг матрицы C равен 10), а также по два значения ρ_i и φ_i . Очевидно, что эти требования могут быть заменены дополнительными связями. Например, в установке CMS предусмотрены точки связи, координаты которых известны как в общей системе координат, так и в локальной. На станции ME1/1 таких точек шесть. В этом случае для решения поставленной задачи необходимо ввести новую минимизируемую функцию $F_{NEW} = F + F_{LASER}$. Необходимая система уравнений — это

$$\frac{\partial F_{NEW}}{\partial \Delta x_l} = 0, \quad \frac{\partial F_{NEW}}{\partial \Delta y_l} = 0, \quad \frac{\partial F_{NEW}}{\partial \gamma_l} = 0,$$

где $l = 1, 2, \dots, 216$.

$$F_{LASER} \equiv \sum_{k=1}^6 \left[\varphi_{kLASER} - \varphi_{kLAYER}^{old} - \gamma_k + \frac{\Delta y_k \cos(\varphi_{kLAYER}^{old}) + \Delta x_k \sin(\varphi_{kLAYER}^{old})}{\rho_{kLAYER}^{old}} \right]^2 \frac{1}{\sigma_{\varphi LASER}^2} +$$

$$+ \sum_{k=1}^6 \left[\rho_{kLASER} - \rho_{kLAYER}^{old} - \Delta x_k \cos(\varphi_{kLAYER}^{old}) + \Delta y_k \sin(\varphi_{kLAYER}^{old}) \right]^2 \frac{1}{\sigma_{\rho LASER}^2},$$

где ρ_{kLASER} , ρ_{kLAYER} , φ_{kLASER} и φ_{kLAYER} – координаты точек связи в общей и локальной системах координат.

Перейдем к проверке полученных результатов. С использованием программы GEANT [5] моделировалось прохождение мюонов для условий установки CMS.

На первом этапе для тестирования предложенной математической модели:

- было задано однородное магнитное поле величиной 3 Тл, ориентированное вдоль оси Z,
- отсутствовало многократное кулоновское рассеяние и потери энергии,
- координатная точность регистрирующего слоя была идеальной,
- импульс мюона равнялся 300 ГэВ/с.

Фронтальный вид распределения траекторий мюонов, пересекающих все области перекрытия станции ME1/1, представлен на рис. 7.

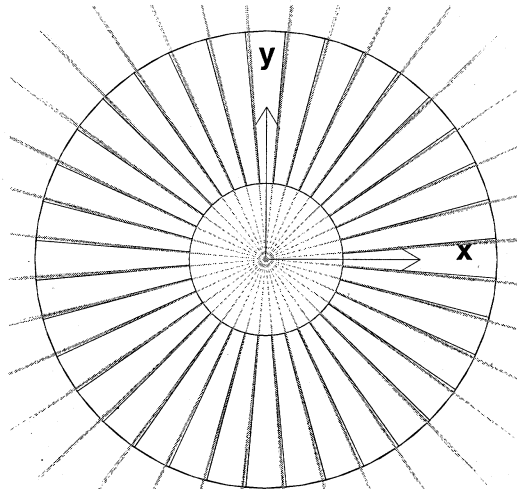


Рис. 7. Фронтальный вид распределения траекторий мюонов в ME1/1

Предполагалось, что на ME1/1 имеется шесть точек связи (три точки на передних детекторах и три точки - на задних). Решение системы уравнений для 648 неизвестных параметров дало результат, представленный на рис. 8, где хорошо видно, что модель не вносит заметного вклада в решение.

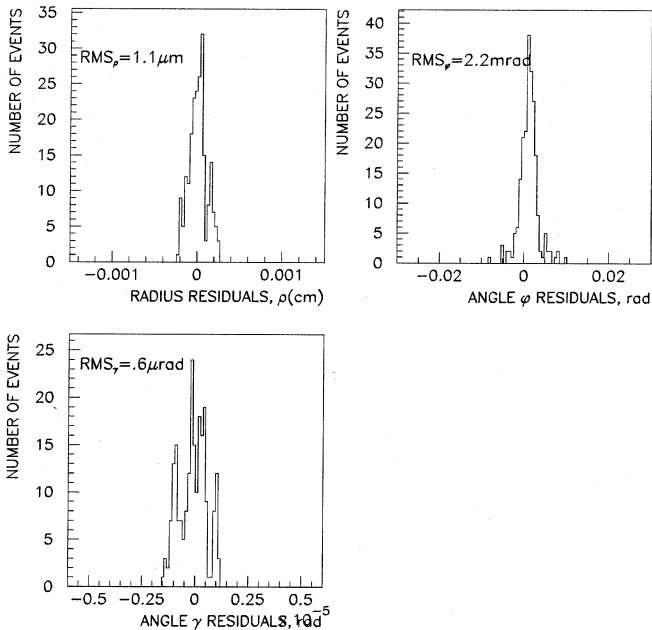


Рис. 8. Распределение ошибок реконструированных параметров станции ME1/1

На втором этапе тестирования, при моделировании прохождения мюонов через установку CMS:

- использовалась реалистичная модель магнитного поля [1],
- учитывались физические процессы, многократное кулоновское рассеяние, потери энергии и т. д.,
- предполагалось, что координатная точность регистрирующего слоя и точек связи идеальны.

С использованием 12000 треков в каждой области перекрытия были восстановлены параметры локальных систем координат, которые привели к деградации координатной точности отдельного слоя не более чем на 20 мкм.

На третьем этапе была задана реалистичная координатная точность регистрирующего слоя [4] и точек связи [6]. К сожалению, точки связи ME1/1 лежат в одной плоскости на задней части станции, что, как было показано выше, недостаточно для решения поставленной задачи, поэтому схема вычисления параметров локальных систем координат была изменена следующим образом. Для каждого из 36 детекторов отдельно были определены параметры локальных систем координат регистрирующих слоев в соответствии с методикой, изложенной выше. С учетом равной вероятности рождения мюонов различных знаков условие определенности двух углов γ было заменено на условие определенности одного угла и близости к нулю суммы азимутальных углов всех мюонов. На рис. 9 представлены зависимости точности восстановленных параметров локальных систем координат от числа треков в отдельном детекторе.

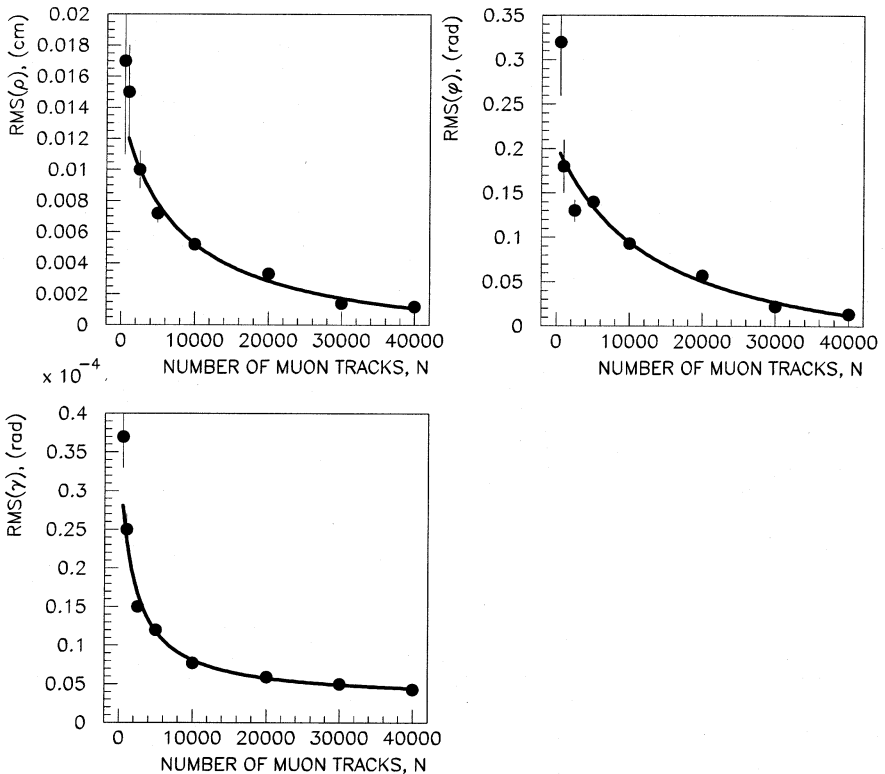


Рис. 9. Зависимости точности восстановленных параметров локальных систем координат от числа треков в отдельном детекторе

Можно предложить другой метод определения параметров локальных систем координат регистрирующих слоев отдельных детекторов, например с использованием космических лучей и подхода, изложенного в [7]. Следует особо подчеркнуть, что для любой методики крайне важным является этап сборки детекторов, на котором необходимо добиться, чтобы как минимум два слоя были ориентированы друг относительно друга с высокой точностью. Определив параметры локальных систем координат, легко связать детекторы (как единое целое) друг с другом, используя треки частиц, пересекающих области перекрытия. На рис. 10 для отдельного слоя представлена зависимость точности восстановления азимутального угла зарегистрированной частицы от числа треков в отдельной области перекрытия.

В заключение оценим временной интервал, необходимый для накопления треков, обеспечивающих восстановление параметров локальных систем координат. Следуя оценкам [8], получим, что за сутки через область перекрытия проходит примерно 700 частиц при светимости $10^{33} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Таким образом, для определения локальных систем

координат отдельного детектора необходимо два дня работы установки CMS, а для связи детекторов между собой – 25 дней.

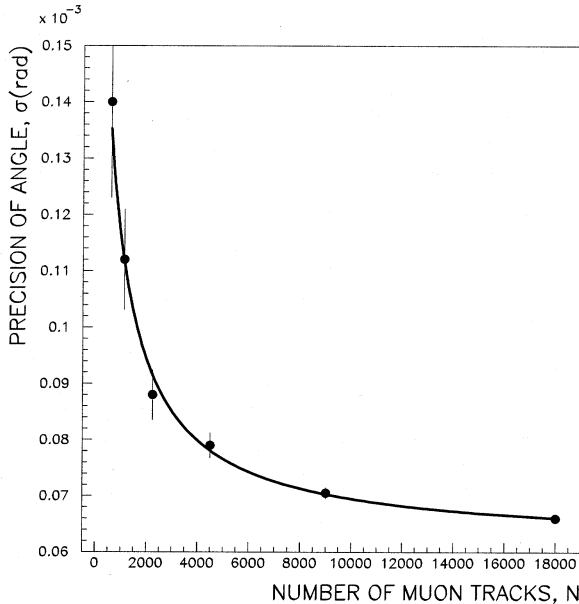


Рис. 10. Зависимость точности восстановления азимутального угла зарегистрированной частицы от числа треков в отдельной области перекрытия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод определения несмещенных оценок параметров локальных систем координат регистрирующих слоев станции ME1/1 установки CMS с использованием мюонных треков. Теоретически показано, что для восстановления всех параметров необходимо знать как минимум положение двух полюсов и двух углов поворота локальных систем координат вдоль оси Z. С учетом того, что точки связи с общей системой координат лежат в одной плоскости, крайне важным является этап сборки детекторов, на котором необходимо добиться, чтобы как минимум два слоя были ориентированы друг относительно друга с высокой точностью (≤ 50 мкм). Для определения локальных систем координат отдельного детектора (при светимости 10^{33} см⁻²·с⁻¹) необходимо два дня работы установки CMS, а для связи детекторов между собой – 25 дней. Эффективность методов подтверждена обработкой результатов моделирования регистрации мюонов станцией ME1/1.

Авторы выражают благодарность И.А.Голутвину за постоянный интерес к работе и ее поддержку, а также А.В.Зарубину за полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] CMS. The Compact Muon Solenoid. Technical Proposal. CERN/LHCC 94-38, LHCC/P1, Geneva, Switzerland, 1994.
CMS. The Muon Project. Technical Design Report. CERN/LHCC 97-32, CMS TDR 3, Geneva, Switzerland, 1997.
- [2] К.А. Зубов, В.Ю. Каржавин, С.А. Мовчан, П.В. Мойсенз. Математическое обеспечение многопроволочной пропорциональной камеры с катодным считыванием информации. ОИЯИ, P10-99-118, Дубна, 1999.
- [3] A. Peisert, F. Sauli, Preprint CERN 84-08, Geneva, Switzerland, 1984.
E. Wagner, F. Davis, G. Hurst, J. Chem. Phys., vol.47,3138,1967.
J. Parker, J. Lowke, Physd. Rew., vol. 181, 290, 1969.
H. Skullerud, J. Phys. B., vol. 2, 696, 1969.
F. Piuз, Nucl. Instr. and Meth. 205 (1983) 425.
М.И. Дайон, О.К. Егоров, С.А. Крылов и др., Приборы и техника эксперимента №5, 1970, стр. 64.
- [4] П.В. Мойсенз, Е.М. Негодаева. Катодно-стриповые камеры ENDCAP CMS. Работа в магнитном поле. Препринт №47, ФИАН, Москва, 1998.
- [5] CERNLIB – CERN Program Library. W5013, Geneva 1994, Switzerland.
- [6] P. Arce, E. Calvo, et al., Study of the Alignment Design of the CMS ME1/1 Stations. CMS Internal Note 1999/048, Geneva, Switzerland, 1999.
- [7] Ю.Л. Вертоградова, И.М. Иванченко, П.В. Мойсенз. Определение параметров локальных систем координат дискретных детекторов. ОИЯИ, P10-89-149, Дубна, 1989.
P.V. Moissenz, Determining the Local Coordinate System Parameters of Detectors. In Proceeding of the International Conference on Computing in High Energy Physics'92 Annecy, France, 21-25 September 1992, CERN 92-07, Geneva, 21 December 1992, Switzerland.
- [8] P. Arce, E. Galvo et al., Internal Alignment of the ME1/1 Stations with Tracks. CMS Internal Note 2000/009, Geneva, Switzerland, 2000.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 марта 2001 года.

Мовчан С.А., Моисенз К.П., Моисенз П.В.
Определение параметров локальных систем координат
детекторов первой мюонной станции (ME1/1) установки
«Компактный мюонный соленоид» (CMS)

P10-2001-50

Предложен метод определения несмещенных оценок параметров локальных систем координат регистрирующих слоев станции ME1/1 установки CMS с использованием мюонных треков. Теоретически показано, что для восстановления всех параметров необходимо знать как минимум положение двух полюсов и двух углов поворота локальных систем координат вдоль оси Z . С учетом того, что точки связи с общей системой координат лежат в одной плоскости, крайне важным является этап сборки детекторов, на котором необходимо добиться, чтобы как минимум два слоя были ориентированы друг относительно друга с высокой точностью (≤ 50 мкм). Для определения локальных систем координат отдельного детектора (при светимости $10^{33} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) необходимо два дня работы установки CMS, а для связи детекторов между собой — 25 дней. Эффективность методов подтверждена обработкой результатов моделирования регистрации мюонов станцией ME1/1.

Работа выполнена в Лаборатории физики частиц ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Movtchan S.A., Moissenz K.P., Moissenz P.V.
Alignment of the First Muon Station (ME1/1)
of the Compact Muon Solenoid Set-up (CMS)

P10-2001-50

The method for definition of unbiased estimates of parameters of layer local coordinate systems is proposed for the ME1/1 station (CMS set-up) by using muon tracks. From the theoretical view point it was shown that for reconstruction of the parameters it's necessary, as minimum, to know the position of two poles and two rotation angles of local coordinate systems along axis Z . Taking into account that the reference points are laid in the plane it's very important to orient as minimum two layers one to another with high precision ($\leq 50 \mu\text{m}$). Two days of CMS work at luminosity $10^{33} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ are necessary for calculation parameters of layer local coordinate systems of single ME1/1 chamber and 25 days are necessary for chambers alignment. The method has been tested by Monte-Carlo.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор А.Н.Шабашова. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 11.04.2001

Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 1,53

Тираж 300. Заказ 52594. Цена 1 р. 84 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области