Препринт ЕФИ-1217(3)- 90

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

М. З. ЗАЗЯН, А. А. ЧИЛИНГАРЯН

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ АДРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С РЭК

ЦНИИатоминформ
ЕРЕВАН-1990

Նախնատիպ ԵՖԻ-1217(3)-90

Մ.Զ.ՋԱՋՅԱՆ, Ա.Ա.ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ

ՀԱԴՐՈՆՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՈՉ-ՊԱՐԱՄԵՏՐԻԿ ՄԵԹՈԴ ՌԷԽ /ՌԵՆԳԵՆ-ԷՄՈՒԼՍԻՈՆ ԽՑԻԿ/-ՈՎ ԳԻՏԱՓՈՐՁԵՐՈՒՄ

Առաջարկված է գնահատման ոչ-պարամետրիկ մեթոդ, որը թույլ է տալիս անմիջապես որոշել հադրոնի E_h էներգիան՝ օգտագործելով նրա կոռելյացիան ռենտգենյան ժապավենի վրա մգացման խտության հետ, շրջանցելով $E_h^{(\gamma)}$ էներգաանջատումից ռենտգեն-էմուլսիոն խցիկում՝ E_h միջանկյալ անցման էտապը: Ցույց է տրված, որ 50 ՏէՎ $< E_h <$ 100 ՏէՎ տիրույթում հադրոնների էներգիայի որոշման ճշտությունը կազմում է 20-27%:

Երևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1990

© Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике (ЦНИИатоминформ) 1990 г.

Preprint YERPHI-1217(3)-90

A.A. CHILINGARIAN, M.Z. ZAZIAN

A NONPARAMETRIC METHOD OF HADRON ENERGY DETERMINATION IN EXPERIMENTS WITH X-RAY EMULSION CHAMBERS

A nonparametric estimation method is offered which allows to directly determine the hadron energy E_h using its correlation with spot density on X-ray films, avoiding the intermediate stage of transition of the energy release $E_h^{(\gamma)}$ to E_h in X-ray emulsion chambers. It is shown that in the energy range $50\,TeV < E_h < 100\,TeV$ the hadron energy determination accuracy is 20-27%.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1990

Препринт ЕФИ-1217(3)- 90

УДК 537.591:0015

М.Э. ЗАЗЯН, А.А. ЧИЛИНГАРЯН

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ АДРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С РЭК

Предложен непараметрический метод оценивания, позволяющий непосредственно определять энергию адрона E_h, используя ее корреляцию с плотностью потемнения пятна на рентгеновской пленке, минуя промежуточный этап перехода от энерговыделения в рентгено-эмульсионной камере $E_h^{(\gamma)}$ к E_h. Показано, что точность определения энергии адронов в интервале $50\,\mathrm{Tev} < E_h < 100\,\mathrm{Tev}$ составляет 20-27%.

Ереванский физический институт

Ереван 1990

Регистрация адронов космических лучей рентгено-эмульсионной методикой производится с помощью слоев поглотителя-конвертора, в котором происходят ядерные взаимодействия адронов. Часть энергии при этом переходит в электронно-фотонную компоненту, которая образует в пленках Н-блока камеры пятно потемнения.

Для определения энергии адрона E_h, образовавшего пятно потемнения на пленках, необходимо установить соотношение между E_h и измеренной оптической плотностью пятна $D_{изм}$.

Переход от измеренного значения потемнения $D_{изм}$ к энергии адрона E_h можно осуществлять несколькими способами. Наиболее прямой способ - полное моделирование прохождения адрона с энергией E_h через РЭК и вычисление средней оптической плотности пятен $\bar{D}(E_h \langle R)$ в круге радиусом R. Сопоставляя экспериментально измеренное потемнение $D_{изм}$ с расчетными кривыми, можно определить энергию адрона E_h.

Обычно же в работах с РЭК определяется не энергия E_h, а энергия $E_h^{(\gamma)}$, выделенная адроном в электронно-фотонную компоненту, т.е. определяется зависимость $\bar{D}(E_h^{(\gamma)}, \langle R)$. Для перехода от $E_h^{(\gamma)}$ к энергии адронов E_h используются экспериментальные значения величины парциального коэффициента неупругости $K_\gamma = E_h^{(\gamma)}/E_h$ и его распределение. Точность определения энергии характеризуется в эксперименте "Памир" величиной $\bar{\lambda} = \langle\langle E_{изм}^{(\gamma)}/E_h^{(\gamma)} \rangle\rangle$ и дисперсией распределения этой

величины σ_Δ. В области энергии 7 Tev<E<100Tev погрешность в определении $E_h^{(\gamma)}$ составляет 15-25% [1].

Используя распределение $f(K_\gamma^{эфф})$ и погрешность определения $E_h^{(\gamma)}$, можно найти точность определения полной энергии адрона E_h. Как оказалось, относительная ширина распределения вероятности того, что при измеренном энерговыделении $E_h^{(\gamma)}$ адрон обладал энергией E_h, очень велика ($\sigma \sim 1-3.5$) [1]. Таким образом, используемый в "Памире" метод определения энергии не позволяет восстанавливать энергию индивидуального адрона. Можно восстанавливать лишь спектр адронов.

1. Метод

Для определения плотности потемнения обычно используется метод фиксированных диаграмм, т.е. определяется D в круге определенного радиуса. При этом требуется большое количество поправок к измеренному значению $D_{изм}$.

В работе польских авторов [2] предложен новый метод определения спектров адронов, свободный от необходимости введения этих поправок, -так называемый изоденсный метод. При этом каждое пятно потемнения характеризуется площадью S внутри изоденсы - линии, соединяющей точки с одинаковой плотностью потемнения. Для определения S важно уметь измерять потемнения лишь вблизи выбранного уровня. Установив же связь E_h - S, можно по измеренным значениям S перейти к E_h.

Нами предлагается метод оценивания E_h по S, основанный на предположении о том, что близкие значения измеряемых параметров (S) события соответствуют близким же значениям начальной энергии адрона (E_h).

Допустим, что на РЭК случайно и независимо падает поток адронов с энергией E согласно некоторому энергетическому спектру f(E). Далее эти частицы, претерпев ядерные

взаимодействия в конверторе, передают часть своей энергии в электронно-фотонный ливень, который и регистрируется. Получается, что каждому значению E ставится в соответствие некоторый случайный вектор $\vec{X}$ (в нашем случае - набор площадей изоденс, соответствующих некоторым пороговым значениям). Причем механизм получения $\vec{X}$ стохастичен, содержит множество точек ветвления, ошибок и неопределенностей, связанных с развитием ЯЭК в конверторе, а также с процедурами проявки пленок и фотометрирования.

Выбор и подтверждение формы связи (статистической модели) изучаемого явления составляет предмет теории статистического вывода, который, в свою очередь, составляет ядро проблемы получения нового знания на основе эмпирических данных. О статистическом выводе говорят, когда заключение о наблюдаемой величине E выводится на основании измерения некоторых связанных с E наблюдаемых признаков $\vec{X}$ и, кроме того, на основании условной плотности $f(\vec{X}/E)$, описывающей распределение наблюдаемых величин при условии некоторого фиксированного значения ненаблюдаемого параметра E.

Особенность решения задачи регрессии в физике космических лучей заключается в том, что ни истинный энергетический спектр $f(E)$, ни условная плотность $f(\vec{X}/E)$ в общем случае неизвесты. Однако существует обучающая последовательность $\{E_i, \vec{X}_i\}, i=1, M_{ов}$, полученная путем проведения вычислительных эксперементов с достаточно подробной моделью прохождения адронов через камеру. По обучающей последовательности можно провести сравнение разных методов оценивания для последующей обработки эксперементальных данных.

Очень удобным способом сравнения является широко

применяемый в байесовском анализе метод скользящего экзамена: из обучающей последовательности удаляется один элемент $\{E_i, \vec{X}_i\}$, затем производится оценивание (восстановление регрессии по "измеренному" значению $\vec{X}_i$), этот элемент снова возвращается на место, и так далее, до полного перебора обучающей выборки.

Качество оценивания характеризуется средне-квадратичной абсолютной или относительной ошибкой

$$СКО=E\{(E-\hat{E})/E\} \quad , \qquad (1)$$

и чем меньше дисперсия этого распределения, тем лучше метод оценивания.

Непараметрический метод, наиболее полно использующий информацию, заключенную в обучающей последовательности, впервые был предложен в работе [3], в которой показано, что если число рассматриваемых ближайших соседей события в пространстве измеряемых признаков равно K, а общее число событий в обучающей последовательности-M, и M и K стремятся к ∞ таким образом, чтобы $K/M \to 0$, то риск процедуры стремится к минимально достижимому байесовскому риску. И даже при использовании одного соседа K=1 (т.е. оцениваемому событию присваивается энергия ближайшего соседа) риск увеличивается не более, чем вдвое.

T.M.Cover показал сходимость процедуры для квадратичной и метрической функций потерь [4]. L.P.Devroye [5] обобщил эти результаты и показал равномерную состоятельность следующей оценки:

$$\hat{E}(X)=\sum_{i=1}^{k} C_i E_{[i]}(X), \qquad \sum_{i=1}^{k} C_i=1 \quad , \qquad (2)$$

где $E_{[i]}$ - энергия i-го ближайшего соседа события, а весовые коэффициенты C_i оптимизируются по обучающей выборке так, чтобы

некоторая функция качества, например, СКО оценивания, была бы минимальна.

В качестве метода оптимизации был выбран случайный поиск с возвратом при неудачном шаге, впервые примененный для коррекции юстировочных констант магнитного спектрометра [6].В настоящей работе применялась адаптация метода - уменьшение случайного шага по мере приближения к локальному минимуму. Поиск ведется в пространстве коэффициентов C_i, $i=1,k$ (k зависит от размера обучающей последовательности). Сначала случайно выбирается номер коэффициента, затем разыгрывается случайное приращение к нему

$$\Delta^{IT} \sim (RNDM-0.5)СКО_{IT-1}, \qquad (3)$$

где $СКО_{IT-1}$ -функция качества,вычисленная на предыдущем шаге итерации. Далее изменяются и остальные $k-1$ коэффициентов так, чтобы сохранилось условие нормировки,и вычисляется функция качества. Если она уменьшилась,то изменения сохраняются, если нет, то восстанавливается прежнее значение. В любом случае делается новый случайный шаг. И так до прерывания процедуры итераций, которое определяется практическим прекращением изменения функции качества.

2. Проверка метода на модельных данных.

Точность определения энергии адрона предложенным выше методом была оценена на основании данных,полученных с помощью моделирования ядерного взаимодействия адронов в углеродной камере, используемой в эксперименте "Памир". Рассматривались две модели сильного взаимодействия:FOO - нескейлинговая модель

и YOO-скейлинговая модель, подробно описанные в работах [7,8]. Процедура прохождения ядерно-электронного каскада через камеру описана в [2].

Для каждого события рассматривались три изоденсы для уровней D=0.5, 0.7 и 1. Восстановление энергии проводилось по одному, двум и трем уровням. Результаты оценивания энергии для случая первичного протона с начальной энергией $50<E_h<100$ Tev приведены в таблице. Видно, что энергия E_h восстанавливается с хорошей точностью (σ=20%). Энергия, переданная в электромагнитную компоненту, восстанавливается хуже (30%). В случае первичного пиона соответствующие значения σ равны 0.27 и 0.37 (число событий в этом случае-190).

При оценивании энергии экспериментальных событий необходимо использовать подробную модель рождения частиц в сильных взаимодействиях, детали которой точно неизвестны. Для проверки зависимости ошибок оценивания от неадекватности модели взаимодействия нами был рассмотрен случай, когда для оценивания энергии событий, генерированных по одной модели, использовалась выборка событий, генерированных по другой модели. Ошибка оценки E_h при этом увеличилась незначительно (СКО=0.02, σ=0.22). Относительная ошибка оценки энергии в случае известной и неизвестной модели сильного взаимодействия приведены на рис.1 и 2.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет непосредственно определять энергию адрона, используя ее корреляцию с плотностью потемнения пятна на рентгеновской пленке, минуя промежуточный этап перехода от $E_h^{(\gamma)}$ к E_h.

Однако наши результаты имеют весьма предварительный характер, так как нам были доступны ограниченные обучающие выборки, и поэтому не была исследована зависимость от величины энергетического интервала отобранных событий. Кроме того, кажется несколько неожиданным то, что точность восстановления

E_h получается несколько лучше, чем $E_h^{(\gamma)}$. Возможно, это связано с нелинейным характером каскадных процессов дробления энергии и особенностями моделирующей программы.

Авторы благодарны Я. Малиновскому за предоставленные модельные данные и А. Томашевскому за полезные обсуждения.

Один из авторов (А. А. Ч.) благодарен Л. Афанасьевой, А. Дунаевскому, М. Зимину и П. Саакяну за полезные обсуждения, позволившие уяснить постановку задачи.

Таблица

Среднеквадратичная ошибка (СКО) и дисперсия (σ) распределения оценок энергии адрона, переданной в электромагнитную компоненту $E_h^{(\gamma)}$, и начальной энергии адрона $E_h \cdot M_{ов} = 250$.

		$E_h^{(\gamma)}$		E_h	
размерность пространства	изоденсы	СКО	σ	СКО	σ
1	S(>0.5)	0.08	0.37	0.03	0.21
1	S(>0.7)	0.06	0.36	0.04	0.21
1	S(>1.)	0.09	0.38	0.03	0.21
2	S(>0.5) и S(>0.7)	0.05	0.30	0.01	0.20
2	S(>0.7) и S(>1.)	0.06	0.34	0.03	0.20
3	S(>0.5), S(>0.7) и S(>1.)	0.05	0.30	0.01	0.20

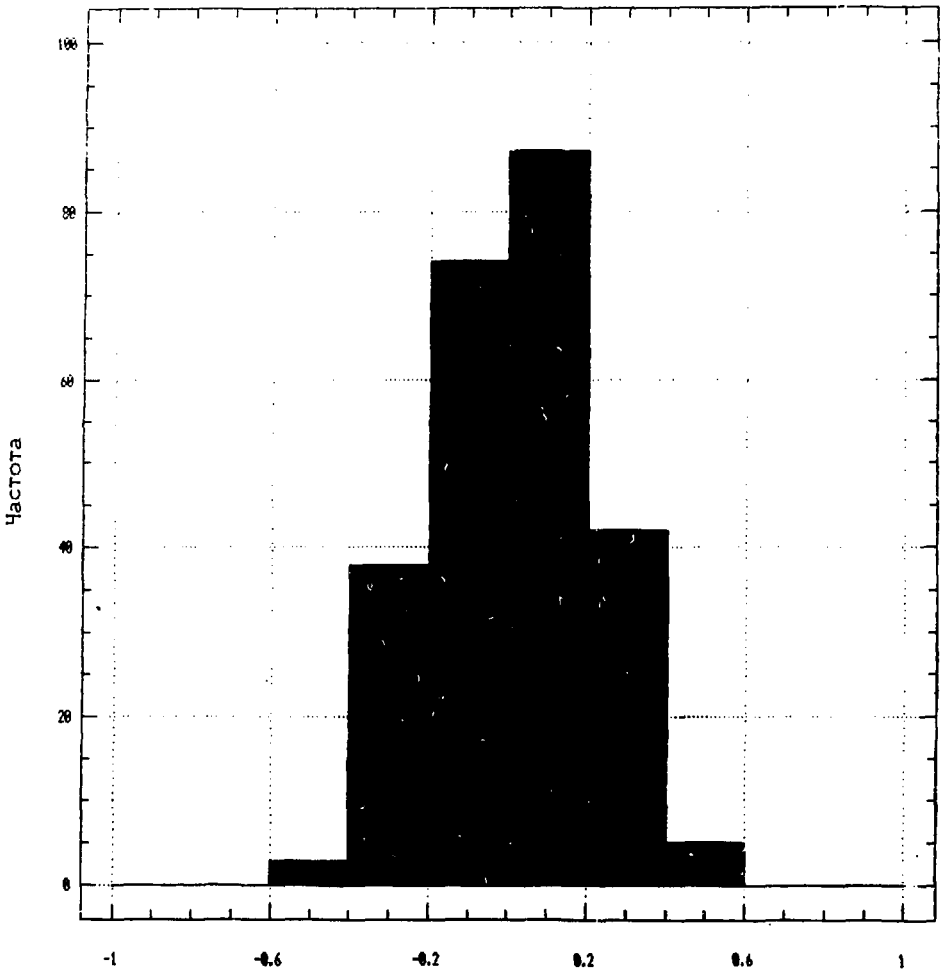

Рис.1 Относительная ошибка оценок энергии;
обучающая выборка - F00, контрольная - F00

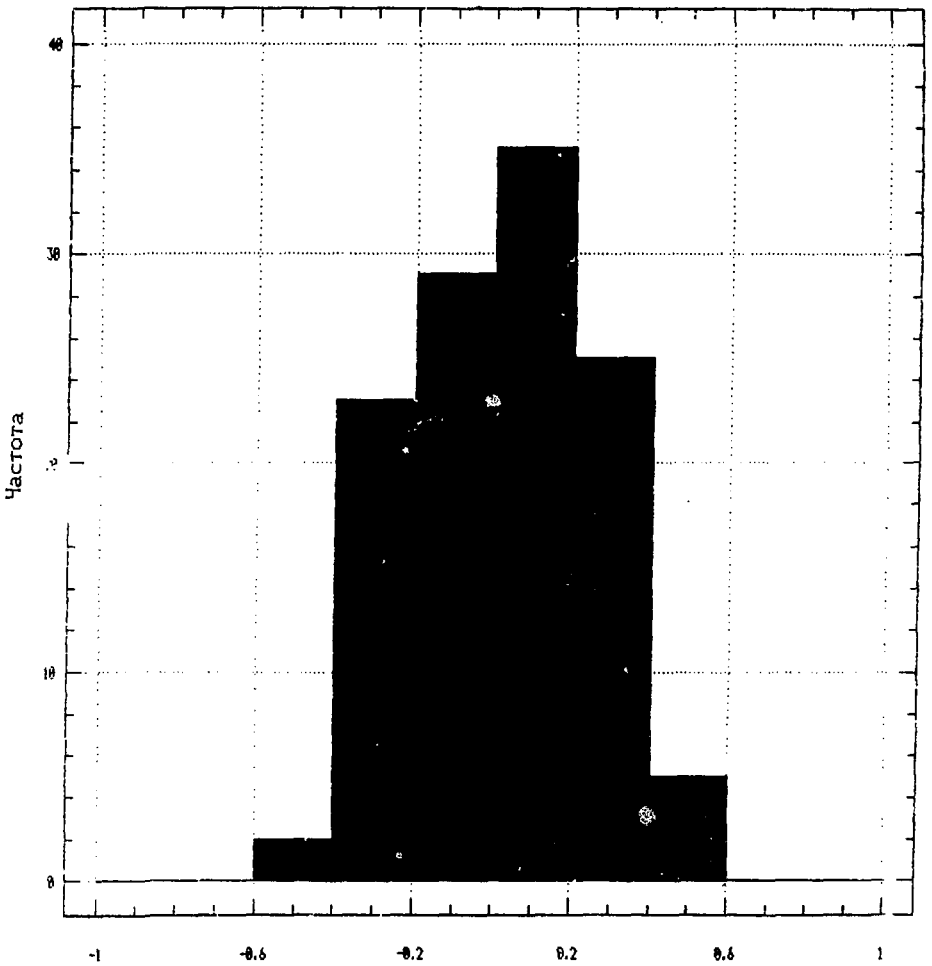

Рис. 2 Относительная ошибка оценок энергии;
обучающая выборка - F00, контрольная - Y00

Литература

1. С.Г.Байбурина, А.С.Борисов и др. Исследование ядерных взаимодействий в области энергий 10^{14}-10^{17}эВ методом рентгено-эмульсионных камер в космических лучах (эксперимент "Памир"). Труды ФИАН СССР, 1985, т.154, с.32-33.
2. A.Tomaszewski, J.Malinowski. Energy Spectrum of Hadrons 5th Intern. Symp. on Very High Energy Cosm. Ray Int. Lodz, Poland, 1988, p280-284.
3. E.Fix, J.L.Hodges. Discriminatory analysis, nonparametric discrimination, consistency properties.USAF School of Aviation Medicine.Randolph Field,Tex.,Rep.4,1951.
4. T.M.Cover. Estimation by the Nearest Neighbor Rule.IEEE Trans. on Information.IT-14,p50-55,1968.
5. L.P.Devroye. The Uniform Convergence of Nearest Neighbor Regression Function Estimators and Their Application.IEEE Trans. on Information.IT-24,p.142-151,1978.
6. A.A.Chilingarian. Software Methods to Increase Maximal-Detectable Momentum of Magnetic Spectrograph, 17th ICRC, v.5, p.364-367, Paris, 1981.
7. J.A.Wrotniak, G.P.Yodh. 19th ICRC,La Jolla,He 4.1-7,1985.
8. J.A.Wrotniak. Shower Sim., p.85-191, Maryland, 1984.

Рукопись поступила 21 декабря 1989 г.

М.З. ЗАЗЯН, А.А. ЧИЛИНГАРЯН

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ АДРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С РЭК

Редактор Л.П. Мукаян
Технический редактор А.С. Абрамян

Подписано в печать 21/III-90 ВФ-01338 Формат 60x84x16
Офсетная печать. Уч.-изд.л. 0,5 Тираж 299 экз. Ц. 8 к.
Зак. тип. 21 Индекс 3649

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван-36, ул. Братьев Алиханян 2.

The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Alikhanian Brothers 2,
Yrevan, 375036
Armenia, USSR

ИНДЕКС 3649

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ