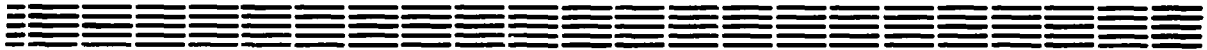


ЕФІ

Препринт ЕФН-1017(67)-87

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



С.П.КАЗАРЯН,С.Н.МОВСЕСЯН,К.К.ШИХЛЯРОВ

**ОПТИМАЛЬНЫЕ РПИ-ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ИНДЕНТИФИКАЦИИ
ЧАСТИЦ В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ**

ЦНИИАтоминформ
ЕРЕВАН — 1987

Նախնաորիպ **ԲԾՄ-ԻՕԻ**7(67)-87

Ս.Պ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ս.Ն. ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ, Կ.Կ. ՇԽՆԼՅԱՐՈՎ

ԷՆԵՐԳԻԱՆԵՐԻ ԼԱՅՆ ՏԻՐՈՒՑԹՈՒՄ ՄԱՍԻՆԿՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐԱԿՄԱՆ
ՕՊՏԻՄԱԼ ՌԱՃ-ԴԵՏԵԿՏՈՐՆԵՐ

Բերված են երկրորդական մասնիկների տարբերակման, կույտերի մեթոդի վրա հիմնված օպտիմալ ՌԱՃ-դետեկտորների ընտրությանը հաշվարկման արդյունքները: Վերլուծվում են այդպիսի դետեկտորների հնարավորությունները պիոն/կաոն, կաոն/պրոտոն, պիոն/պրոտոն բաժանման դեպքում էներգիաների ~100-1500 ԳէՎ, իսկ էլեկտրոն/պիոն բաժանման համար ~3-200 ԳէՎ տիրույթներում:

Երևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1987



Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике (ЦНИИатоминформ) 1987 г.

Препринт ЕФИ-1017(67)-87

УДК 539.1.074:536.56:539.12

С.П.КАЗАРЯН, С.Н.МОВСЕСЯН, К.К.ШИХЛЯРОВ

ОПТИМАЛЬНЫЕ РПИ-ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ЧАСТИЦ В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ

Приводятся результаты расчетов параметров оптимальных РПИ-детекторов на основе метода счета кластеров для идентификации вторичных частиц. Анализируются возможности таких детекторов при разделении пион/каон, каон/протон, пион/протон в области энергий $\sim 100-1500$ ГэВ и электрон/пион в интервале $\sim 3-200$ ГэВ.

Ереванский физический институт

Ереван 1987

Preprint ~~EDM~~-IOI7(67)-87

S.P. KAZARIAN, S.N. MOVSESSIAN, K.K. SHIKHLYAROV

OPTIMAL TRANSITION RADIATION DETECTORS FOR PARTICLES
IDENTIFICATION IN A WIDE ENERGY RANGE

The optimal parameters for transition radiation detectors in terms of the cluster-counting method have been calculated. The possibility of such detectors for pion/kaon, kaon/proton, pion/proton separation in the energy range $\sim 100-1500$ GeV and that of electron/pion within $\sim 3-200$ GeV are analyzed.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1987.

Введение

Строительство ускорителей на энергии ≥ 1000 ГэВ открывает новые возможности для идентификации частиц с помощью детекторов рентгеновского переходного излучения (РПИ-детекторы). Несомненно, что на подобных машинах РПИ-детекторы получат широкое распространение и станут одним из неотъемлемых элементов практически всех экспериментальных установок. Поэтому представляется важным, исследовать возможности реально осуществимых РПИ-детекторов в области энергии вторичных адронов > 100 ГэВ и электронов с энергиями от $\sim 2-3$ до ~ 200 ГэВ, используя методы оптимального выбора их параметров. Эти методы позволяют достичь приемлемого фактора режекции при достаточно высокой эффективности регистрации частиц и обеспечить широкий энергетический диапазон работы детектора.

В данной работе приводятся результаты расчетов оптимальных значений параметров РПИ-детекторов, анализируются их возможности в случае идентификации пионов, протонов, каонов и электронов одним детектором, где регистрация частиц проводится методом счета кластеров [1-3].

Требования к РИИ-детекторам

Решаемая физическая задача планируемого эксперимента, размеры экспериментальной установки и взаимное расположение соответствующих всевозможных детекторов, а также практическая реализуемость определяют требуемые физические характеристики РИИ-детектора и накладывают определенные ограничения на его параметры. Для конкретности остановимся на экспериментах с фиксированной мишенью и отметим наиболее существенные требования:

1) обеспечить π/π , π/μ и μ/μ разделение вторичных адронов в области энергий выше 100 ГэВ с коэффициентом режонки

$R \leq 10^{-2}$ при эффективностях регистрации $\epsilon = 0,7 - 0,9$, а также эффективное π/μ разделение ($R_{\pi} \leq 10^{-3}$ при $\epsilon_{\pi} = 0,8 - 0,9$) электронов с энергиями несколько гигаэлектронвольт и больше в условиях сильного адронного фона;

2) иметь ограниченное полное количество вещества G вдоль траектории частиц в РИИ-детекторе. В случае идентификации адронов должно быть $G \leq 8 \text{ г/см}^2 \approx 0,1 \lambda_0$ (λ_0 — длина ядерного взаимодействия вещества детектора), а π/μ разделения — $G \leq 4 \text{ г/см}^2 \approx 0,1 t_0$ (t_0 — радиационная длина вещества детектора);

3) иметь продольные размеры детектора L не более 200 - 300 см;

4) обеспечить поперечные размеры порядка нескольких квадратных метров.

Метод расчета

В работах [4-6] разработаны методы расчета оптимальных параметров РПИ-детекторов, когда ограничивается либо полная длина L , либо полное количество вещества G в детекторе. Используется то обстоятельство, что между параметрами РПИ-детектора, состоящего из нескольких (M) идентичных модулей радиатор-детектор, легко установить следующие связи:

$$L = M[(\alpha + \beta)k + e], \quad G = M[(\alpha \rho_a + \beta \rho_g)k + e \cdot \rho_e],$$

где α - толщина одного слоя периодического слоистого радиатора, содержащего K слоев; β - расстояние между слоями; e - толщина газового детектора квантов и ионизационных потерь идентифицируемых частиц; ρ_a , ρ_g , ρ_e - плотности вещества радиатора, среды, где расположен радиатор и газа детектора соответственно. Эти соотношения справедливы также и для непериодических радиаторов, при замене α , β , k на соответствующие средние значения. В работах [4-6] параметры РПИ-детекторов оптимизируются, используя только одно из этих соотношений. Это приводит к тому, что при фиксированном G не контролируется длина L детектора [6], а в обратном случае - соответственно G [5].

Исходя из более реальных требований, целесообразно одновременно контролировать как G , так и L , что и сделано в данной работе. Здесь оптимальные значения параметров РПИ-детекторов рассчитываются при фиксированном значении G_0 , когда одновременно требуется и удовлетворение условия $L \leq L_0$.

Метод расчета позволяет проводить оптимизацию и в обратном случае, когда фиксировано значение L_0 и требуется выполнение условия $G \leq G_0$.

В приводимых ниже результатах расчеты проводились для фиксированных $G_0 = 4, 6, 8 \text{ г/см}^2$ и требовалось, чтобы полная длина детектора не превышала $L_0 = 300 \text{ см}$. Число модулей менялось в пределах 6 - 24. Расчеты проводились для радиаторов из полиэтилена, полипропилена (CH_2 , $\rho_a = 0,92 - 0,95 \text{ г/см}^3$), находящихся в гелиевом окружении ($\rho_g = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$). Принималось, что рабочим газом детекторов является ксенон. Конструктивные детали и конкретные способы регистрации кластеров, а также просчеты во время их регистрации не рассматриваются.

Нами рассматривались кластеры, образованные как квантами РИИ, так и δ -электронами от ионизационных потерь частиц в детекторе. Исследовалась зависимость разрешения РИИ-детектора от установленного порогового значения E_n в случаях π/K и K/p разделения. Найдено, что в исследуемой энергетической области лучшее разрешение обеспечивает $E_n = 5 \text{ кэВ}$.

Распределение полного числа кластеров в РИИ-детекторе принимается пуассоновским со средними значениями n_π , n_K , n_p и n_e для пионов, каонов, протонов и электронов соответственно.

Способность РИИ-детектора (разрешение) идентифицировать частицы характеризуется коэффициентом режекции $R_i(n_0)$ и эффективностью регистрации $\epsilon_j(n_0)$. Например, в случае π/K разделения они определяются следующим образом:

$$R_K(n_0) = \frac{\epsilon_K(n_0)}{\epsilon_\pi(n_0)} ; \quad \epsilon_{\pi, \text{K}} = \frac{N_{\pi, \text{K}}(n \geq n_0)}{N_{\pi, \text{K}}}$$

где Π_0 - пороговое значение на число кластеров: N_{π} , N_K - полные числа пионов и каонов соответственно.

Расчеты обеспечивают следующие точности определения параметров РИИ-детекторов вблизи оптимальных значений $\pm 10\%$ для a и b ; $\pm 5\%$ для ϱ .

Результаты расчетов

Полученные значения параметров оптимальных РИИ-детекторов приведены в таблице. Проиллюстрируем возможности этих детекторов в случаях π/K , K/p , π/p и e/π разделения.

Среднее число кластеров в зависимости от энергии идентифицируемых частиц в 12-модульном РИИ-детекторе приведено на рис.1. Поскольку степень разделения частиц по массам при данной энергии определяется отличием соответствующих чисел кластеров, из рис.1 видны те энергетические области, где можно ожидать хорошее разделение частиц. Более наглядно это показано на рис.2, на котором приведена зависимость коэффициента режекции каонов от эффективности регистрации пионов при различных значениях энергии. Отсюда можно построить кривые зависимости коэффициента режекции от энергии при различных фиксированных значениях эффективности регистрации и определить границы интервала энергий, где обеспечивается необходимое разделение частиц. Полученная таким способом зависимость R_K от энергии при $\epsilon_{\pi} = 0,8$ для РИИ-детекторов с числом модулей 6 - 24 приведена на рис.3. Из анализа рис.2,3 следует, что 12-модульный детектор при $\epsilon_{\pi} = 0,6 - 0,9$ обеспечивает режекцию каонов

на уровне $R_k \leq 10^{-2}$ в области энергий 125 - 760 ГэВ. Видно, что с увеличением числа модулей интервал энергии расширяется, достигая диапазона 110 - 870 ГэВ при $M = 24$. Об ожидаемых разрешениях этих же детекторов в случае K/P разделения дают представление рис.4 и 5. Видно, что 12-модульный детектор при $\epsilon_k = 0,7 - 0,8$ может обеспечить режекцию протонов на уровне $R_p \leq 5 \cdot 10^{-2}$ в интервале энергий 400 - 1500 ГэВ. Что касается разделения π/P , то как и следовало ожидать из рис.1, здесь можно получить довольно высокое разрешение в широкой области энергий. Действительно, рис.6 указывает, что при эффективностях $\epsilon_\pi = 0,8 - 0,9$ можно иметь режекцию протонов $R_p \leq 10^{-3}$ в области энергий 140 - 1300 ГэВ.

Вопрос разделения электронов от адронов в основном сводится к идентификации e/π . Для электронов с энергией ≥ 3 ГэВ среднее число кластеров почти не зависит от энергии (рис.1) в РПИ-детекторах, параметры которых приведены в таблице. Из рис.7, 8 следует, что 12-модульный детектор может обеспечить режекцию пионов $R_\pi \leq 10^{-3}$ при $\epsilon_e = 0,9$ до энергии электронов 175 ГэВ. Этот предел доходит до значения ~ 210 ГэВ при $M = 24$.

Естественно, что в любом РПИ-детекторе можно рассматривать и решение обратной задачи, например, K/π разделение. Ожидаемое разрешение показывают рис.9,10, где приведены соответствующие кривые для 12-модульного детектора с $G_0 = 8$ г/см². Как следует из рис.10 при $\epsilon_k = 0,8$ в диапазоне энергий 130-760 ГэВ режекция пионов составляет $R_\pi \leq 10^{-2}$, в то время, как в случае π/K разделения аналогичное разрешение ($\epsilon_\pi = 0,8$ и $R_k \leq 10^{-2}$) обеспечивается в интервале 120 - 760 ГэВ (см. рис.17).

Кроме того, абсолютное разрешение для π/K разделения значительно лучше.

Представляет интерес сравнение возможностей аналогичных РПИ-детекторов, параметры которых оптимизированы согласно [6] и по методу данной работы. Такое сравнение проведено на рис. I0. В работе [6] оптимальные параметры детектора определяются при одном значении энергии - 140 ГэВ, тогда как в данной работе оптимизируется широкая область. Если учесть и технологические сложности радиаторов из Li, то преимущества детектора данной работы очевидны.

Сравнение разрешающих способностей РПИ-детекторов одинакового числа модулей, но с различными значениями G_0 для π/K , K/P и e/π разделений соответственно, проведено на рис. II - I3. Видно, что с ростом G_0 разрешение детекторов улучшается. Однако, так как выбор того или иного детектора с определенными оптимальными параметрами во многом будет продиктован требованиями конкретного физического эксперимента, ясно, что при соответствующих условиях могут применяться любые из этих детекторов. С целью облегчения выбора оптимального РПИ-детектора при проектировании экспериментов с фиксированной мишенью на ускорителях с энергиями несколько ТэВ, на рис. I4 - I9 приведены ожидаемые разрешающие способности для π/K , K/P и e/π разделений в случаях $G_0 = 4,8 \text{ г/см}^2$ и различного числа модулей.

Заключение

Таким образом, обсуждаемые в данной работе РПИ-детекторы с

оптимальными значениями параметров могут обеспечить:

1. π/K разделение в области энергий 110-870 ГэВ с режекцией $R_K \leq 10^{-2}$, при эффективностях регистрации пионов $\epsilon_\pi = 0,8 - 0,9$;
2. K/P разделение в интервале энергий 345 - 1600 ГэВ с режекцией $R_\pi \leq 5 \cdot 10^{-2}$ при $\epsilon_K = 0,7 - 0,8$;
3. π/P разделение в области энергий 110 - 1600 ГэВ с режекцией $R_P \leq 10^{-3}$ при $\epsilon_\pi = 0,8 - 0,9$;
4. e/π разделение в области энергий 3 - 215 ГэВ с режекцией $R_\pi \leq 10^{-3}$ при $\epsilon_e = 0,9$.

В заключение авторы выражают благодарность проф. А.Ц.Аматуни и проф. Г.А.Вартапетяну за интерес к работе и обсуждение её результатов.

Т а б л и ц а

оптимальных параметров РЛМ-детекторов для идентификации частот в области энергий ≥ 100 Гц

	$G_0 = 4 \text{ г/см}^2$				$G_0 = 6 \text{ г/см}^2$				$G_0 = 8 \text{ г/см}^2$						
	число модулей (М)				число модулей (М)				число модулей (М)						
	6	8	12	16	24	6	8	12	16	24	6	8	12	16	24
a (мм)	13	13	13	13	13	13	15	15	15	13	15	15	15	15	15
b (мм)	570	570	570	540	540	570	400	420	420	540	380	400	400	420	420
ρ (см)	2,1	1,9	1,5	1,25	0,85	2,6	2,2	1,8	1,6	1,25	3,1	2,6	2,1	1,6	1,4
K	534	399	265	198	132	604	553	367	274	196	948	739	491	367	244
$N = K \cdot M$	3204	3192	3180	3168	3166	4824	4424	4404	4384	4752	5688	5912	5892	5872	5656
L (см)	199	201	203	195	196	297	201	213	217	293	243	266	270	284	268

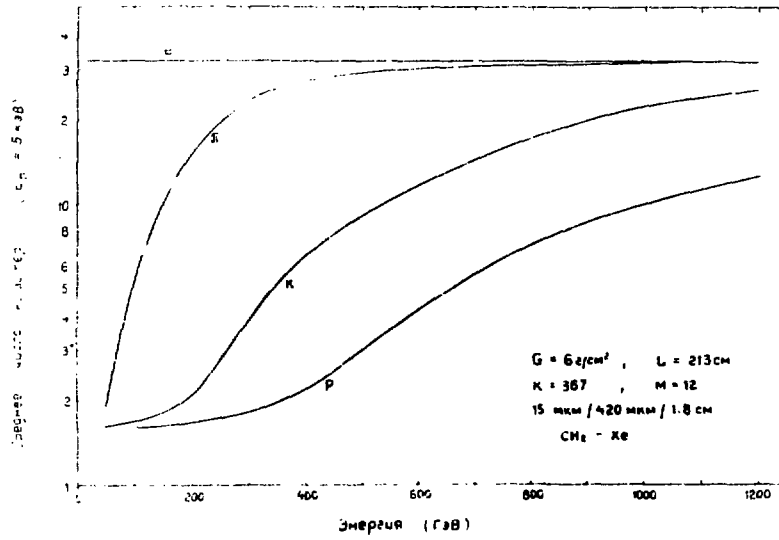
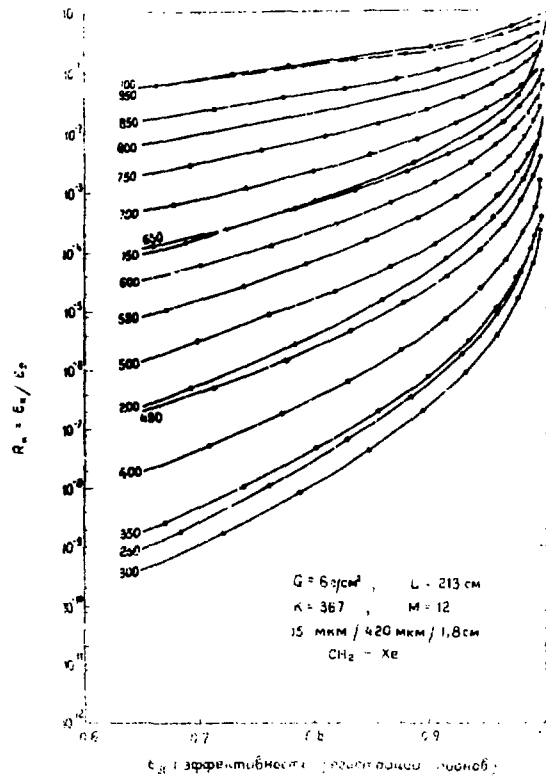


Рис. I



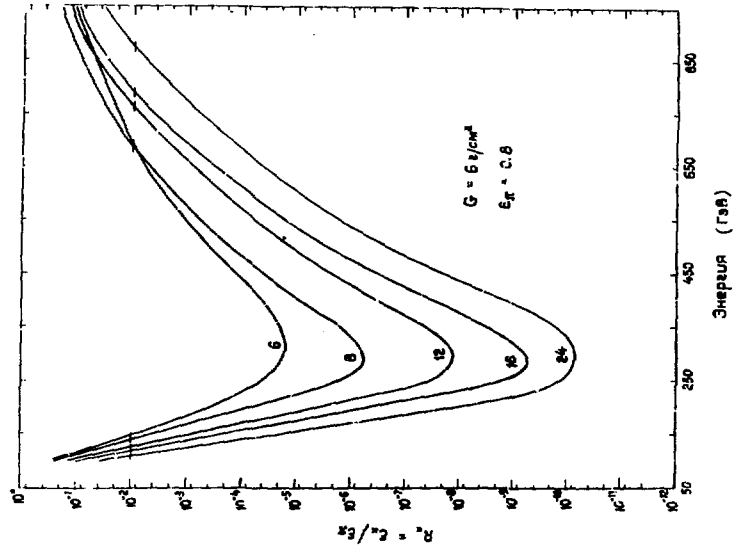


Рис. 3

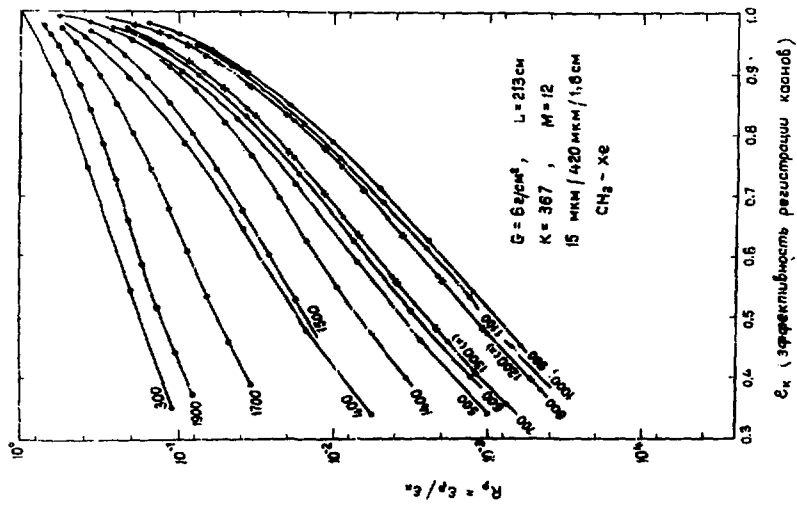
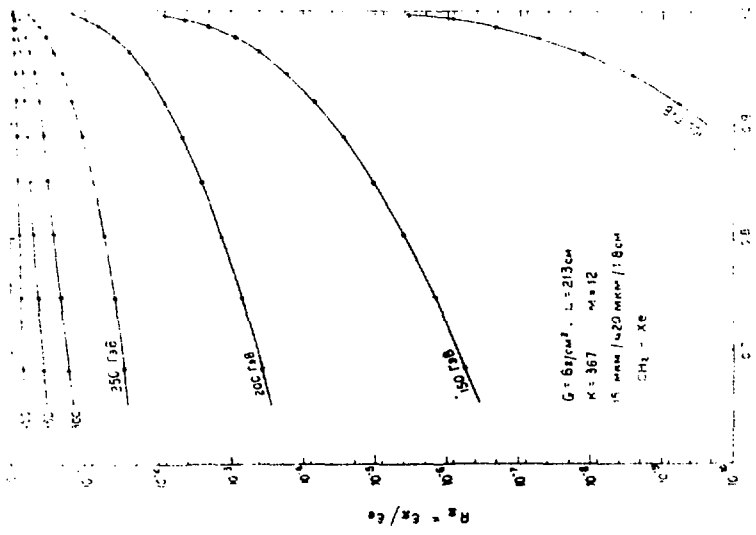


Рис. 4



Зависимость относительной эффективности от угла облучения

Рис. 7

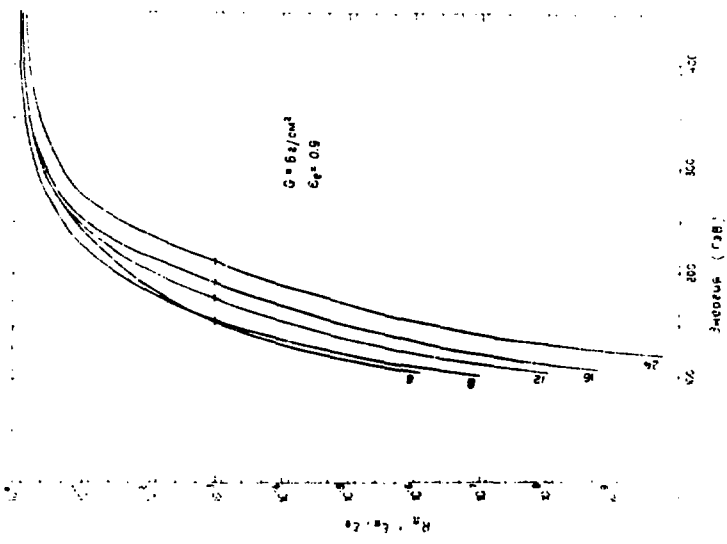


Рис. 8

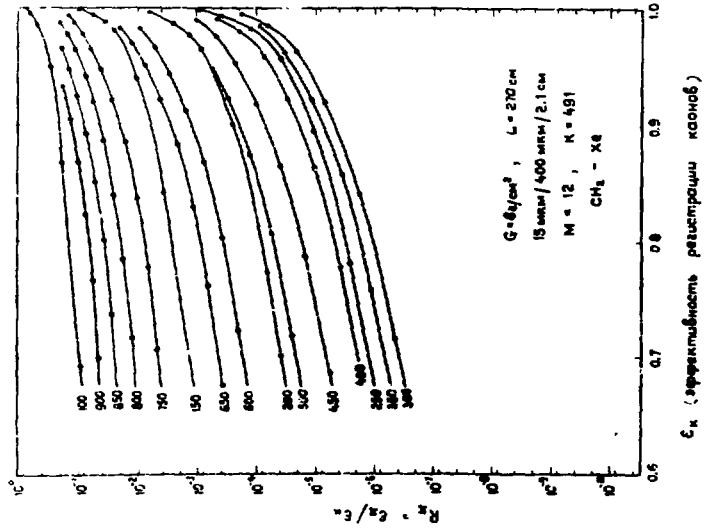


Рис.9

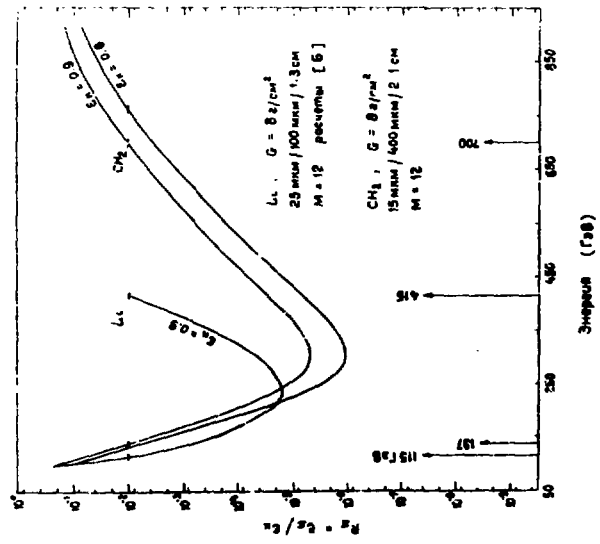


Рис.10

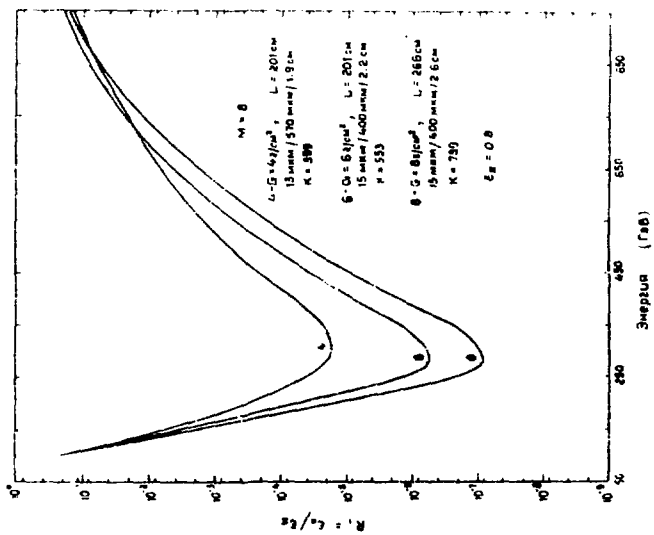


Рис. I1

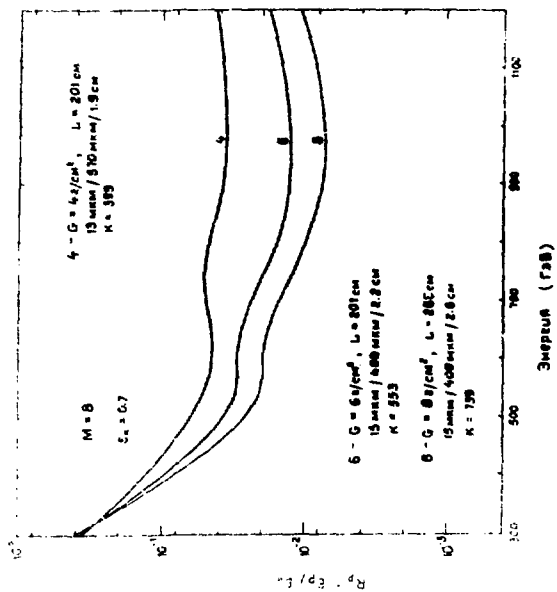


Рис. I2

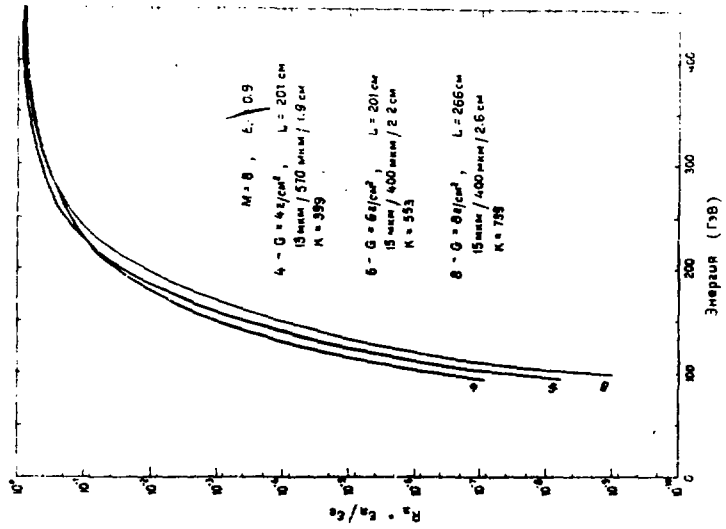


Рис. 13

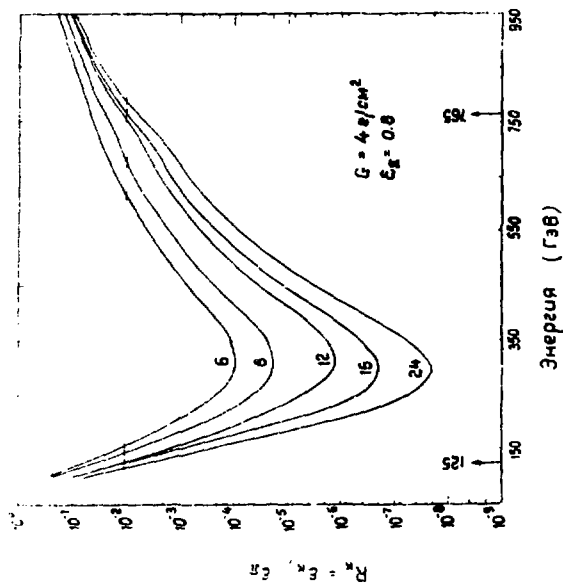


Рис. 14

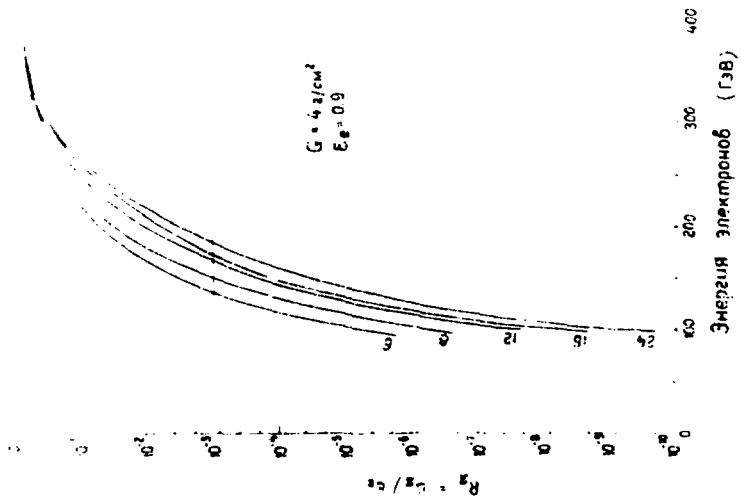


Рис.16

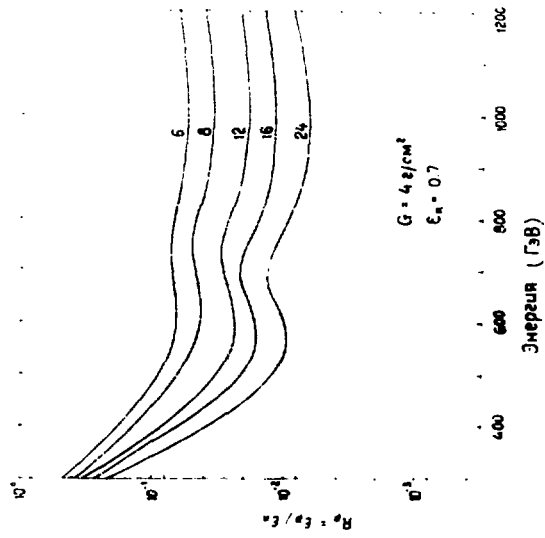


Рис.15

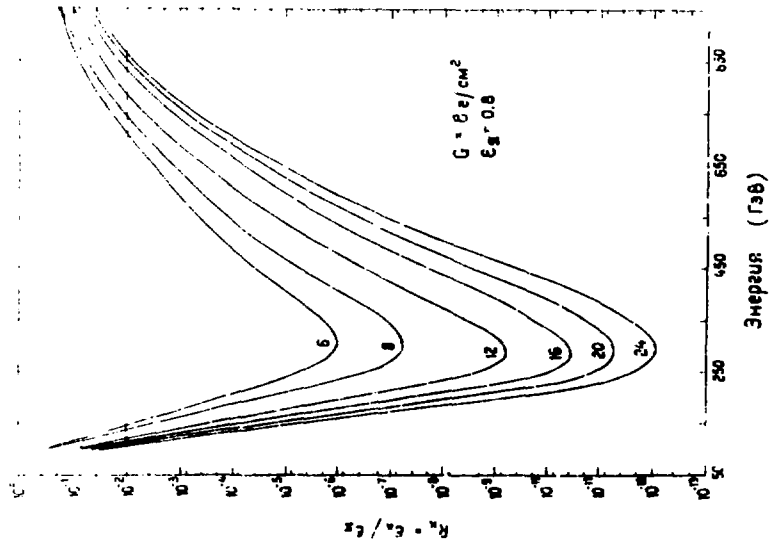


Рис. 17

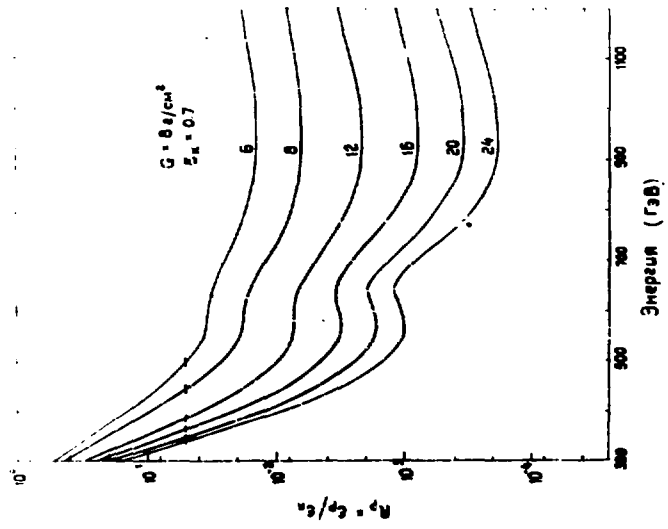


Рис. 18

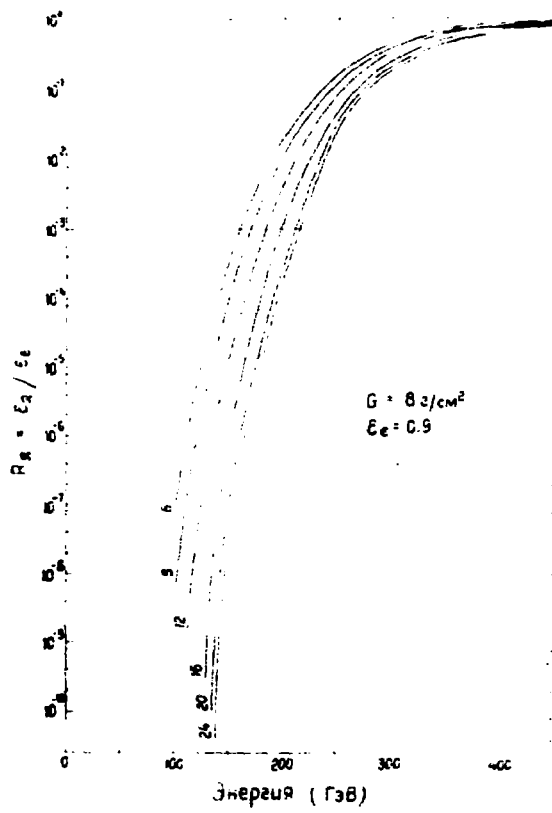


Рис.19

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Зависимость среднего числа кластеров ($E_M = 5$ кэВ) от энергии идентифицируемых частиц в 12-модульном оптимальном PИИ-детекторе. Параметры детектора a , b , c приведены в виде a мкм/ b мкм/ c см, остальные параметры обозначены согласно тексту.
- Рис.2 Зависимость коэффициента режекции каонов R_K от эффективности регистрации пионов ϵ_π в случае π/K разделения при различных значениях энергии в (ГэВ).
- Рис.3 Зависимость коэффициента режекции каонов R_K от энергии для оптимальных PИИ-детекторов с числом модулей $M = 6 - 24$ при $\epsilon_\pi = 0,8$ (π/K разделение). Параметры детектора приведены в таблице.
- Рис.4 Зависимость коэффициента режекции R_P от эффективности регистрации каонов ϵ_K в случае K/P разделения. Цифры у кривых указывают значение энергии в (ГэВ).
- Рис.5 Зависимость коэффициента режекции протонов R_P от энергии в случае K/P разделения для оптимальных PИИ-детекторов с числом модулей $M = 6 - 24$ при $\epsilon_K = 0,7$. Параметры детекторов приведены в таблице.
- Рис.6 Зависимость коэффициента режекции протонов R_P от эффективности регистрации пионов ϵ_π в случае π/P разделения для детектора с $G = 6$ г/см² и $M = 12$. Здесь же приведены зависимости R_P от энергии (верхняя шкала) при $\epsilon_\pi = 0,8$ и $\epsilon_\pi = 0,9$. Стрелки указывают границы интервала энергии на уровне $R_P = 10^{-2}$. Параметры детектора приведены на рис.1 и в таблице.

- Рис. 7 Зависимость коэффициента режекции пионов R_{π} от эффективности регистрации электронов ϵ_e при энергиях, указанных на рисунке для детектора с $G = 6 \text{ г/см}^2$ и $M = 12$, e/π разделение.
- Рис. 8 Зависимость коэффициента режекции пионов R_{π} от энергии для детекторов с $G = 6 \text{ г/см}^2$ и $M = 6 - 24$ при $\epsilon_e = 0,9$. Параметры детекторов приведены в таблице.
- Рис. 9. Зависимость коэффициента режекции R/π от эффективности регистрации каонов ϵ_k в случае k/π разделения при различных значениях энергии. Параметры детектора приведены на рисунке.
- Рис. 10 Зависимость коэффициента режекции пионов R_{π} от энергии при $\epsilon_k = 0,8$ и $\epsilon_k = 0,9$ в случае k/π разделения. Для сравнения приведена эта же зависимость в случае аналогичного РИИ-детектора с радиатором из Li , параметры которого оптимизированы в работе [6]. Стрелками указаны границы интервалов энергии на уровне $R_{\pi} = 10^{-2}$.
- Рис. 11 Зависимость коэффициента режекции каонов R_k от энергии при эффективности регистрации пионов $\epsilon_{\pi} = 0,8$, случай π/k разделения. РИИ-детекторы с одинаковым числом модулей ($M = 8$) и $G = 4,6,8 \text{ г/см}^2$ соответственно.
- Рис. 12 Зависимость коэффициента режекции протонов R_p от энергии при $\epsilon_k = 0,7$. Случай k/p разделения, $G = 4,6,8 \text{ г/см}^2$ и $M = 8$.
- Рис. 13 Зависимость коэффициента режекции пионов R_{π} от энергии при $\epsilon_e = 0,9$. Случай e/π разделения, $G = 4,6,8 \text{ г/см}^2$ и $M = 8$.

- Рис. I4) Зависимость коэффициента режекции каонов R_K от энергии при $\epsilon_{\pi} = 0,8$, π/K разделение. РПИ-детекторы с числом модулей $M = 6 - 24$ и $G = 4$ г/см². Стрелки указывают границы интервала энергии на уровне $R_K = 10^{-2}$ для $M = 12$.
- Рис. I5 Зависимость коэффициента режекции протонов R_p от энергии при $\epsilon_K = 0,7$, K/p разделение. РПИ-детекторы с числом модулей $M = 6 - 24$ и $G = 4$ г/см².
- Рис. I6 Зависимость коэффициента режекции пионов R_{π} от энергии при $\epsilon_e = 0,9$, e/π разделение. РПИ-детекторы с числом модулей $M = 6 - 24$ и $G = 4$ г/см².
- Рис. I7 Та же зависимость, что и на рисунке I4, при $G = 8$ г/см².
- Рис. I8 Та же зависимость, что на рисунке I5, при $G = 8$ г/см².
- Рис. I9 Та же зависимость, что и на рисунке I6, при $G = 8$ г/см².

СИМКОС ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alikhanian A.I., Avakian K.M., Garibian G.M. et al.
Detection of X-Ray Transition Radiation by means of a Spark Chamber,- Phys.Rev.Lett., 1970, vol.25, p.636.
2. Aspirian K.A., Knyazian S.G., Margarian A.T. Optimal Transition Radiation Detectors For Identification at Momenta $P \geq 80\text{GeV}/c$, Proc. of Inter. Simp. on Transition Radiation of High Energy Particles, Yerevan, 1977, p.209-235.
3. T.Ludsm, S.Platner, V.Polychronskos et al., Particle Identification by Electron Cluster Detection of Transition Radiation.- NIM, 1981, vol.180, p.413-418
4. Авунджян А.Т., Дадамян А.Г., Казарян С.П., Оганесян А.Г.
Оптимизация РТИ-детекторов. Препринт ИФИ-492(35)-81, Ереван, 1981.
5. Авунджян А.Т., Дадамян А.Г., Казарян С.П., Оганесян А.Г.
Оптимизация РТИ-детекторов. Труды II Международного симпозиума по переходному излучению частиц высоких энергий. Ереван, 1983, с.533-550.
6. C.W.Fabjan, W.W.Willis, S.Maiburov et al. Optimization of Cluster-Counting Transition Radiation Detectors,- Preprint CERN-EP/83-45, CERN, 1983.

Буклетъ поступила 14 сентября 1987 г.

С. П. КАЗАРЯН, С. Н. МОВСЕСЯН, К. К. ШИХЛЯРОВ

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕИ-ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТИЦ В ШИРОКОЙ
ОБЛАСТИ ЭНЕРГИИ

Редактор Л. П. Мукаян

Технический редактор А. С. Абрамян

Подписано в печать 17/VI-87г. ВФ- 09513 Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч. изд. л. 1,5 Тираж 299 экз. Ц. 22 к.
Зак. тип. № 689 Индекс 3624

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маржаряна 2

The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Markaryan St., 2
Yerevan, 375036
Armenia, USSR

индекс 3624



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ