

УДК 539.121.7

ФИЗИКА

Ф. Р. Арутюнян, А. А. Назарян, Г. Б. Торгомян, А. А. Франгян, Г. А. Экимян

### Детектор частиц сверхвысоких энергий, основанный на принципе использования излучения частицы в слоистой среде

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 25/XI 1970)

Пороговый характер излучения, возникающего при прохождении ультрарелятивистской частицы через периодическую слоистую среду (резонансное излучение) и резкая зависимость его интенсивности от энергии частицы, позволяет использовать это излучение для детектирования одиночных заряженных частиц высоких энергий ( $E/mc^2 > 10^3 - 10^4$ ).

Детектор (за ним установилось название «РИД» — резонансного излучения детектор) аналогичен черенковскому счетчику, как в смысле выделения направления движения частицы, так и его пороговых свойств, но в отличие от последнего может работать в области больших значений  $E/mc^2$ , где обычные черенковские счетчики не могут отличить одну энергию от другой.

Такой метод детектирования частиц был впервые предложен и экспериментально исследован нами ранее (1-4); детектировались  $\mu$ -мезоны горизонтального потока космических лучей с энергией более  $7 \cdot 10^2$  Гэв. В этом эксперименте эффективность регистрации  $\mu$ -мезонов, усредненная по интервалу энергий  $7 \cdot 10^2 - 6 \cdot 10^3$  Гэв, составляла 9%.

Исследования спектральных, энергетических и других характеристик резонансного излучения описаны в ряде работ (5-7).

Ниже приводятся результаты экспериментального исследования «РИД»-а для электронов с энергией 2,8 и 3,7 Гэв. Работа выполнена на синхрофазотроне ОИЯИ. Пучок  $\pi^-$ ,  $e^-$  после прохождения через слоистую среду, отклоняется магнитом и далее проходит через газовый пороговый черенковский счетчик (СГ) и черенковский счетчик полного поглощения (СП). С помощью последних электроны выделяются из пучка  $\pi^-$ -мезонов. Число электронов составляет 0,7—1,0% от числа  $\pi^-$ -мезонов. Измерения проводились для нескольких сред ( $n$  — число слоев,  $l_1$  — толщина слоя (бумага или органическая пленка),  $\alpha \cdot l_1$  — расстояние между слоями,  $L$  — полная длина слоистой среды).

Излучение, образованное в слоистой среде, детектируется в направлении первоначального движения электрона двумя методами. В первом методе, кванты резонансного излучения детектируются  $\gamma$ -спектрометром полного поглощения, состоящим из сцинтилляционного кристалла NaI(Tl).

На рис. 1 показана зависимость среднего числа квантов ( $N$ ) с энергией выше 15 и 35 кэв на электрон от энергии электрона  $E$  (результаты для электронов с энергией до 0,6 Гэв были получены ранее <sup>(5,6)</sup>). Данные соответствуют непосредственно выходу из слоистой среды.

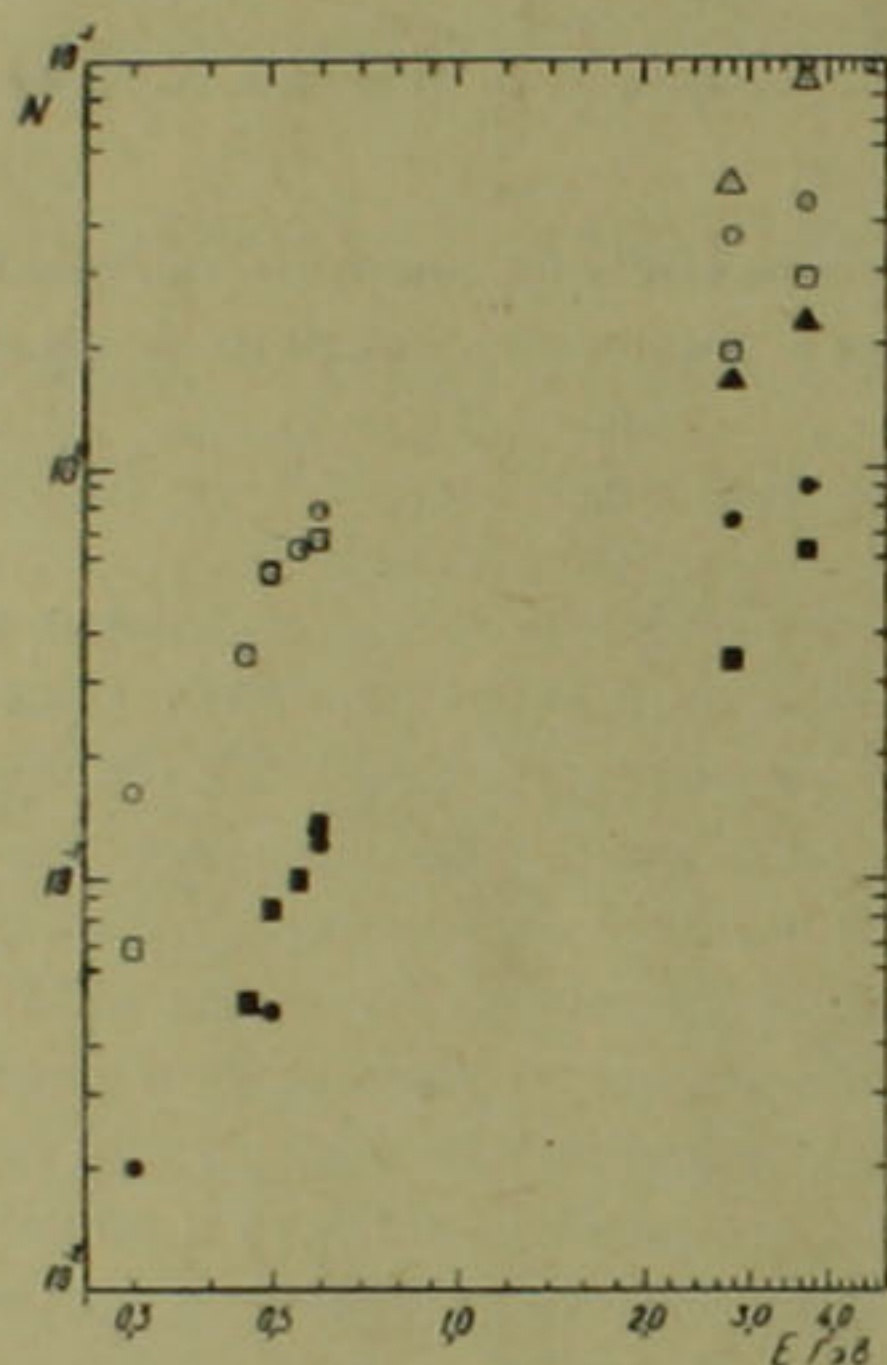


Рис. 1.  $\circ, \bullet$  —  $l_1 = 2,83 \cdot 10^{-3}$  см (бумага),  $\alpha = 18,8$ ,  $n = 1050$ ,  $L = 58$  см;  
 $\square, \blacksquare$  —  $l_1 = 2,43 \cdot 10^{-2}$  см (бумага),  $\alpha = 11,1$ ;  $n = 300$ ,  $L = 90$  см  
 $\triangle, \blacktriangle$  —  $l_1 = 1,4 \cdot 10^{-3}$  см (орг. пленка),  $\alpha = 200$ ,  $n = 960$ ,  $L = 270$  см;  
 $\circ, \square, \triangle$  —  $h\nu > 15$  кэв,  $\bullet, \blacksquare, \blacktriangle$  —  $h\nu > 35$  кэв

Во втором методе (метод характеристического излучения <sup>(1-4)</sup>) кванты, образованные электроном в слоистой среде, проходят через тонкостенный цилиндрический контейнер (диаметр—6 см, длина—10 см), наполненный ксеноном при атмосферном давлении. Контейнер с ксеноном располагается внутри сквозного бокового отверстия, имеющегося в кристаллическом сцинтилляторе NaI(Tl), цилиндрической формы, диаметр и высота которого равны 10 см. Свет сцинтиллятора собирается с обоих его торцов. Фотоны резонансного излучения с энергией равной и большей энергии связи электронов К-оболочки атомов ксенона вызывают фотоэффект; ксенон при этом испускает изотропное по углам характеристическое излучение с энергией фотонов  $I_2 = 35$  кэв, которое регистрируется сцинтиллятором.

На рис. 2 показаны спектры характеристического излучения ксенона,

индуцированные резонансным излучением. Там же приводится спектр линии  $33 \text{ кэВ Cs}^{137}$ . Из рисунка следует, что среднее число характеристических квантов, приходящихся на электрон, в условиях настоящего эксперимента составляет  $(1,41 \pm 0,08) \cdot 10^{-1}$  и  $(1,34 \pm 0,07) \cdot 10^{-1}$  для электронов с энергией 3,7 и 2,8 ГэВ соответственно. Аналогичные измерения были проведены для пластинки, толщина которой равна количеству вещества слонистой среды. В этом случае полное число характеристических квантов на электрон оказалось равным  $(3 \pm 1) \cdot 10^{-3}$ .

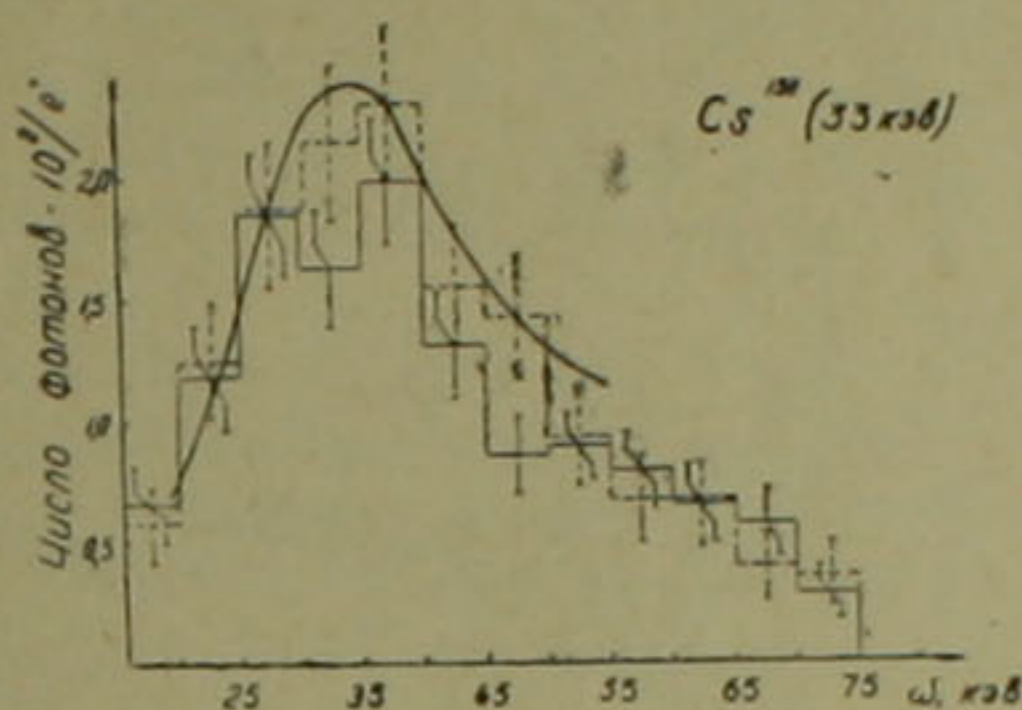


Рис. 2. Спектры характеристического излучения ксенона, индуцированные резонансным излучением электронов с энергиями 2,8 (сплошные линии) и 3,7 ГэВ (пунктирные линии) в слонистой среде бумага—воздух;  $l_1 = 2,83 \cdot 10^{-3} \text{ см}$ ,  $\alpha = 18,8$ ,  $n = 2100$ ,  $L = 116 \text{ см}$

Полученное в эксперименте среднее число квантов на электрон соответствует эффективности детектора  $\sim 13\%$ . Однако в условиях имеющейся геометрии детектируется не все излучение, образуемое электроном в слонистой среде. Измеренные угловые распределения излучения показывают, что используется только  $36\%$  полного излучения. С учетом этого обстоятельства, эффективность детектора равна  $31\%$ .

Работа обоих детекторов была проверена на конкретном эксперименте по выделению электронов из пучка  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 2,8 ГэВ/с. При этом с телескопом (С тел.), выделяющим заряженную частицу, и черенковским счетчиком полного поглощения, вместо газового черенковского счетчика, включался «РИД». Измерялся спектр импульсов черенковского счетчика полного поглощения. Данные приведены на рис. 3 (3 (2)—3 (5) относятся к первому методу, 3 (7)—3 (10)—ко второму). Импульс управления анализатором для каждого случая указан вверху соответствующей гистограммы. Данные рисунков 3 (2)—3 (4) и 3 (7)—3 (9) получены с подключенным газовым черенковским счетчиком при различных давлениях газа в нем.

Результаты этих измерений показывают, что с помощью «РИД»-а электроны так же хорошо выделяются из пучка  $\pi^-$ -мезонов, как и с помощью газового черенковского счетчика (выбросы в левой части спектров 3 (5) и 3 (10) обусловлены применением в случае «РИД»-а сравни-

тельно медленной электроники, что диктуется большим временем высвечивания кристаллов). Разница заключается лишь в эффективности, которая для первого метода составляет  $\sim 50\%$ , для второго —  $12\%$ . Малая по сравнению с данными рис. 2 эффективность первого метода обусловлена наличием между слоистой средой и  $\gamma$ -спектрометром поглощающих элементов (сцинтилляторы и т. п.).

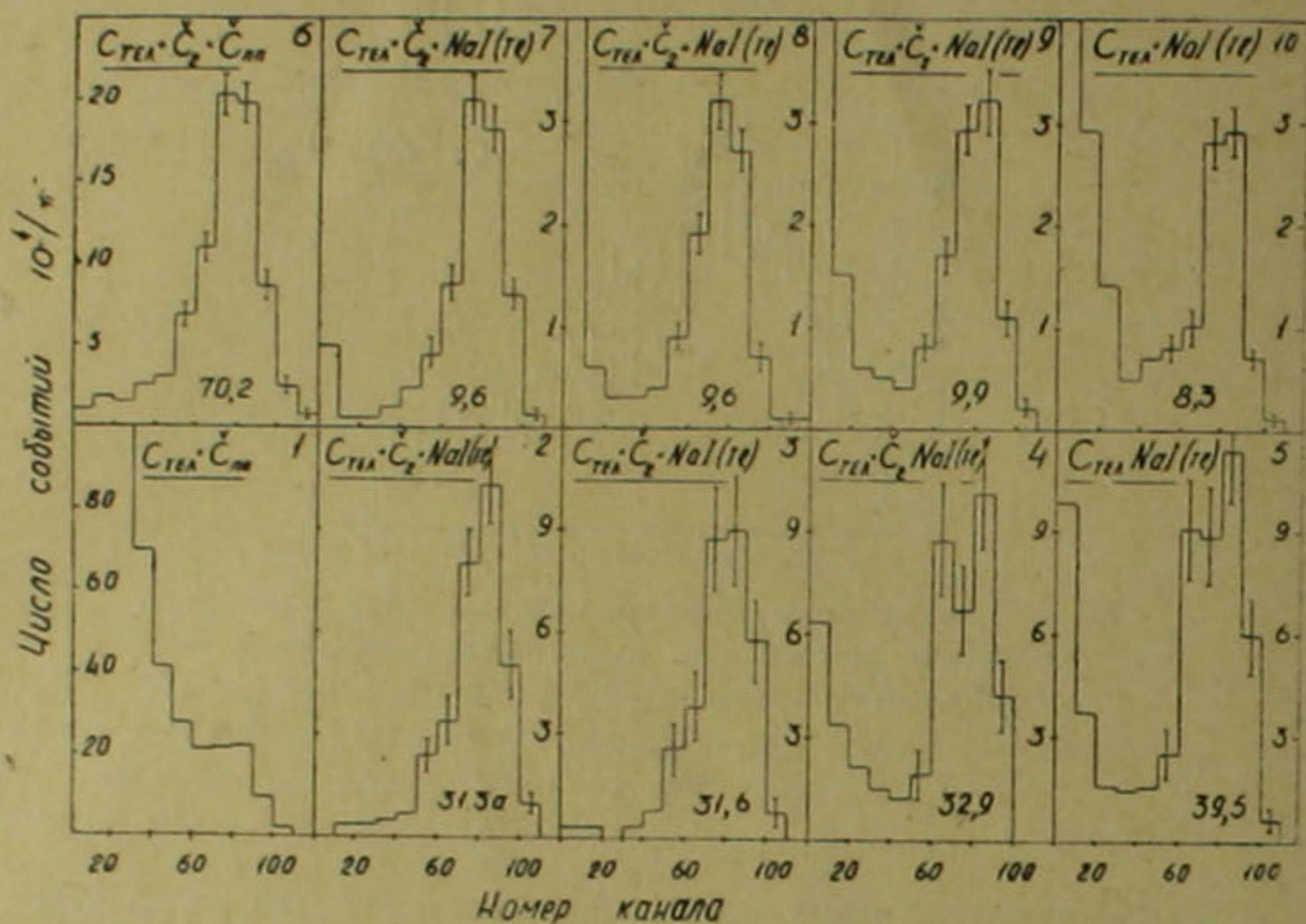


Рис. 3. Спектры импульсов черенковского счетчика полного поглощения

В заключение отметим возможности совершенствования вышеописанных детекторов, которые могут привести практически к  $100\%$  эффективности регистрации одиночных частиц. К ним помимо отмеченного выше увеличения поперечных размеров сцинтиллятора и объема газа-поглотителя, можно отнести увеличение числа слоев, размещение детектирующей части непосредственно за слоистой средой, установление нескольких таких комбинаций друг за другом, уменьшение энергии квантов, выше которой они регистрируются, помещение слоистой среды непосредственно в газ-поглотитель и детектирование фотонов с боковых сторон. Отметим также, что более перспективным является метод характеристического излучения, который может применяться для детектирования частиц сверхвысоких энергий, где использование отклоняющих частицу магнитов исключено.

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность руководству ЛВЭ ОИЯИ за предоставление возможности проведения экспериментов, а также Г. М. Айрапетяну и В. П. Кишиневскому за непосредственную помощь в работе.

Институт физических исследований  
Академии наук Армянской ССР

Փերարժեղ էներգիաներով մասնիկների դետեկտոր, հիմնված շերտավոր միջավայրում առաջված նառագայթման օգտագործման վրա

Ռեզոնանսային ճառագայթման օգնությամբ դետեկտվել են 2,8 և 3,7 Պէվ էներգիաներով էլեկտրոններ:

Դետեկտորը նման է շերենկովյան հաշվիչին, ինչպես մասնիկի ուղղությունը որոշող հատկությամբ, այնպես էլ իր շեմայնությամբ, բայց ի տարբերություն նրանից կարող է աշխատել  $E/MC^2$ -ի մեծ արժեքների տիրույթում, որտեղ սովորական շերենկովյան հաշվիչները չեն կարող տարբերել մեկ էներգիան մյուսից:

էլեկտրոնների ճառագայթումը դետեկտվել է երկու եղանակով՝ լրիվ կլանման սպեկտրոմետրով և բնութագրիչ ճառագայթման եղանակով: Առաջին եղանակով մեկ էլեկտրոնից ստացված քվանտների թիվը հասնում է տասնյակի, որը համապատասխանում է դետեկտորի 100% էֆեկտիվությանը: Երկրորդ եղանակով էֆեկտիվությունը  $\sim 30\%$  է, եթե օգտագործվի ամբողջ ճառագայթումը:

Երկու դետեկտորների աշխատանքն էլ ստուգված է 2,8 Պէվ /  $c$  իմպուլսով  $\pi$ -մեզոնների փնջից էլեկտրոնների անջատման փորձի ժամանակ: Չափումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ էլեկտրոնները  $\pi$ -մեզոնների փնջից դետեկտորով անջատվում են նույնքան լավ, որքան և գազային շերենկովյան հաշվիչի օգնությամբ: Սակայն, եթե շերենկովյան հաշվիչի էֆեկտիվությունը հասնում է 100%-ի, ապա դետեկտորի էֆեկտիվությունը առաջին եղանակով  $\sim 50\%$ , իսկ երկրորդով 12% է:

Պետք է նշել, որ ավելի բարձր էներգիաների տիրույթում շերենկովյան հաշվիչը անկիրառելի է, իսկ տվյալ դետեկտորի էֆեկտիվությունը կարող է միայն աճել: Ըստ երևույթին գերբարձր էներգիաներով մասնիկների գրանցման համար կօգտագործվեն նման դետեկտորներ:

#### ЛИТЕРАТУРА — ՔՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, «Известия АН СССР», т. 28, 1864 (1964).
- 2 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, Труды XII Международной конференции по физике. Дубна, 1964.
- 3 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, «Известия АН СССР», т. 29, 1769 (1965).
- 4 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, Ядерная физика, т. 1, 842 (1965).
- 5 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, А. А. Франгян, Письма ЖЭТФ, т. 4, 277 (1966).
- 6 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, А. А. Франгян, ЖЭТФ, т. 52, 1121 (1967).
- 7 Փ. Ր. Արությունյան, ДАН Арм. ССР, т. 48, № 1 (1969).