

УДК 539.121.7

ФИЗИКА

Ф. Р. Арутюнян, В. П. Кишиневский, А. А. Назарян, Г. Б. Тургомян, А. А. Франгян

Резонансное излучение релятивистских электронов в периодических неоднородных средах

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 10/XI 1970)

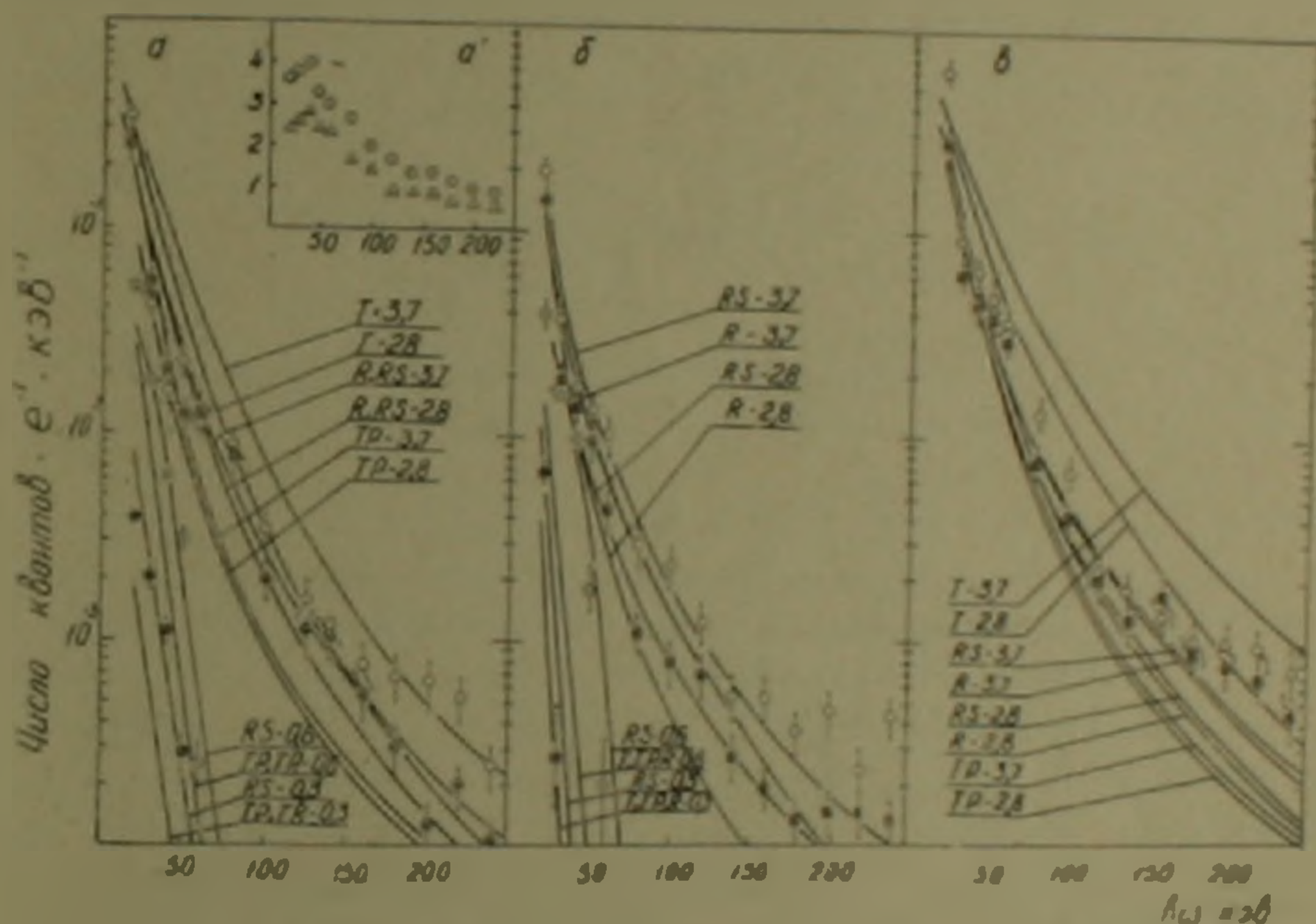
Переходное излучение, возникающее при пересечении заряженной частицей границы раздела двух сред, имеющих различные диэлектрические свойства, было предсказано в 1946 г. В. Л. Гинзбургом и И. М. Франком ⁽¹⁾. Ими же были получены основные формулы. В своей нобелевской лекции И. М. Франк ⁽²⁾ отметил возможность усиления переходного излучения за счет суммирования на многих границах. Формулы для излучения, возникающего при прохождении релятивистских частиц через периодическую слоистую среду, были получены в работах ⁽³⁻⁵⁾. Это излучение было названо резонансным ⁽⁴⁾.

Экспериментально излучение в периодической слоистой среде впервые было обнаружено в 1963 ⁽⁶⁻⁸⁾, точнее, с помощью этого излучения детектировались μ -мезоны горизонтального потока космических лучей с энергией $\geq 7 \cdot 10^2$ Гэв. В дальнейшем исследования проводились с электронами на ускорителе ФИАН СССР (0,25—0,6 Гэв) ⁽⁹⁻¹¹⁾. В настоящей работе приводятся результаты последних измерений для электронов с энергиями 2,8 и 3,7 Гэв, выполненных на синхрофазотроне ОИЯИ.

Исследовалось излучение электронов в различных слоистых средах, каждая из которых содержала n слоев плотного вещества толщиной l , расположенных в воздухе на одинаковом расстоянии $a-l$ друг от друга. В качестве веществ использовалась бумага и органическая пленка. Для каждой среды проводились фоновые измерения. В этом случае вместо слоистой среды устанавливалась одна пластинка, толщина которой была эквивалентна толщине вещества слоистой среды. Разность числа квантов, излученных частицей в слоистой среде и эквивалентной пластинке, отождествляется с резонансным излучением.

Были измерены угловые распределения излучения. Экспериментальные спектры излучения электронов с энергиями 2,8 и 3,7 Гэв, проинтегрированные по углам, для нескольких сред приводятся на рис. 1. Эти спектры соответствуют непосредственному выходу из слоистой среды. На том

же рисунке приводятся данные для электронов с энергиями 0,3 и 0,6 ГэВ, полученные ранее (⁹⁻¹¹). Экспериментальные спектры излучения сравниваются с теоретическими, вычисленными по формулам резонансного (R) (⁹), переходного для одной границы (T), (предельный случай формулы Гинзбурга-Франка для релятивистских частиц и частот, больше оптических), переходного в отдельной пластинке (TP) (¹²) и резонансного излучения с учетом влияния многократного рассеяния (RS) (¹³⁻¹⁴). Теоретические кривые приводятся с учетом поглощения излучения в слонистой среде.



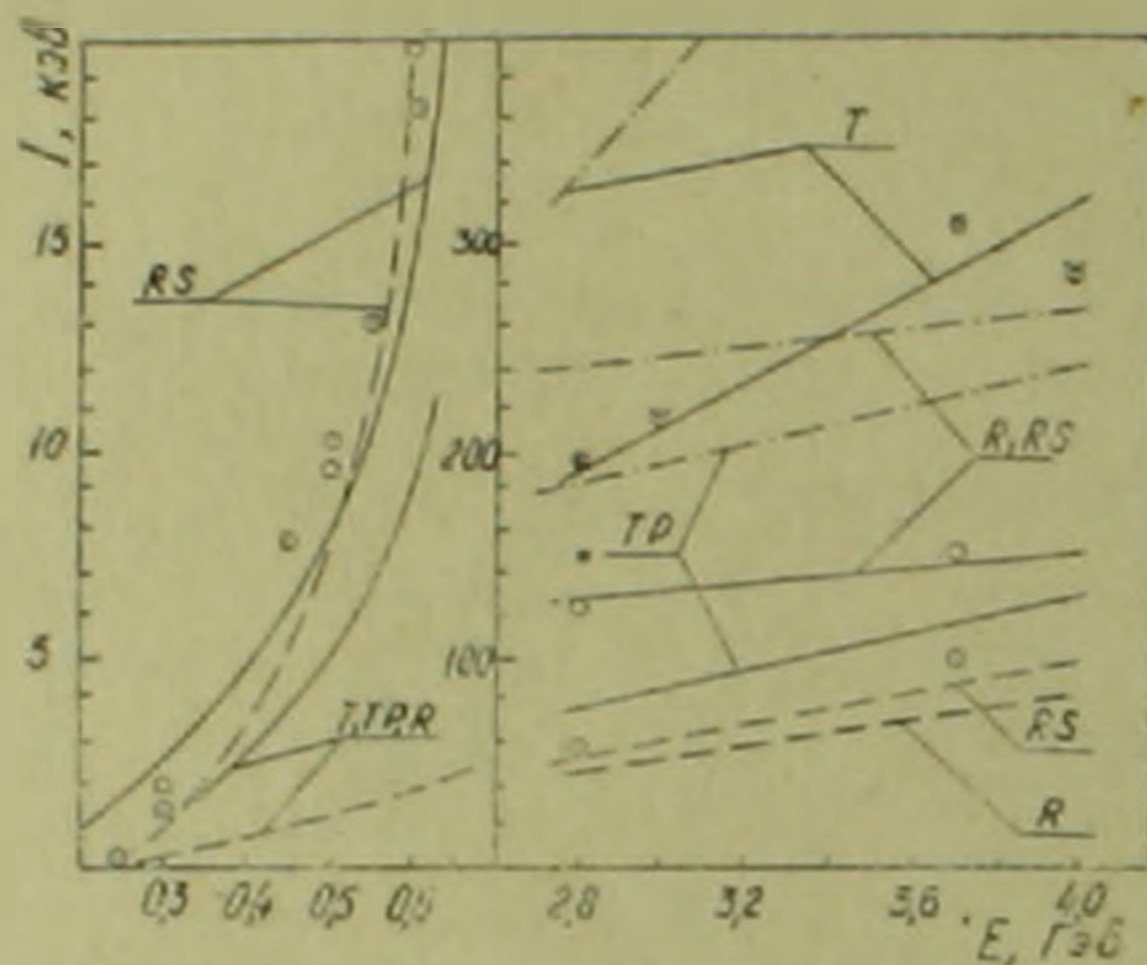
а - $L = 2,05 \cdot 10^3$ см (бумага), $\alpha = 18^\circ$, $n = 1090$, $L = 50$ см, $\bullet$ - 0,3 ГэВ, $\odot$ - 0,6 ГэВ, $\oplus$ - 2,8 ГэВ, $\circ$ - 3,7 ГэВ; а' - $L = 2,05 \cdot 10^3$ см (бумага), $\alpha = 18^\circ$, $n = 2100$, $L = 116$ см, Δ - пенопласт, $L = 202$ см, $E = 2,8$ ГэВ; б - $L = 2,43 \cdot 10^3$ см (бумага), $\alpha = 11,1^\circ$, $n = 500$, $L = 90$ см, $\bullet$ - 0,3 ГэВ, $\oplus$ - 0,6 ГэВ, $\oplus$ - 2,8 ГэВ, $\circ$ - 3,7 ГэВ; в - $L = 1,4 \cdot 10^3$ см (органическая пленка), $\alpha = 20^\circ$, $n = 960$, $L = 290$ см, $\bullet$ - 2,8 ГэВ, $\circ$ - 3,7 ГэВ.

Рис. 1

Все данные показывают, что по исследованной области энергий экспериментальные данные наилучшим образом согласуются с кривыми, вычисленными по теории резонансного излучения с учетом влияния многократного рассеяния. Некоторый избыток экспериментального выхода над теоретическим в области 160—240 кэВ, по-видимому, связан с приближениями, допущенными в теории (¹¹). Можно сделать вывод, что имеет место интерференция излучения от различных границ слонистой среды. Это подтверждается также данными рис. 1, а', где вместе со спектром излучения электронов в слонистой среде приводится спектр излучения в пенопласте (случайные неоднородности). Плотность пенопласта равна усредненной плотности слонистой среды ($0,012$ г/см³), а полная длина его

в 1,74 раза больше полной длины слоистой среды. Интенсивность полного излучения по спектральному интервалу 20—240 кэв в слоистой среде оказалась в 1,5 раза больше, чем соответствующая интенсивность излучения в пенопласте.

В области малых энергий 0,3—0,6 Гэв влияние многократного рассеяния на резонансное излучение является существенным и преимущественную часть излучения составляют кванты дополнительного тормоз-



$\circ - \ell_1 = 2,65 \cdot 10^{-3}$ см (бумсго), $\alpha = 11,1$, $n = 300$, теория - пунктирные кривые; $\circ - \ell_1 = 2,65 \cdot 10^{-3}$ см (бумсго), $\alpha = 16,6$, $n = 1050$, теория - сплошные кривые; $\otimes - \ell_1 = 1,4 \cdot 10^{-3}$ см (органическая пленка), $\alpha = 200$, $n = 960$, теория - штрих-пунктирные кривые; $\otimes$ - данные работы (15)

Рис. 2.

ного излучения электронов в слоистой среде (¹¹). По данным настоящих измерений для электронов с энергиями 2,8 и 3,7 Гэв влияние многократного рассеяния ощущается только для слоистой среды, содержащей сравнительно толстые слои (рис. 1, б).

Для различных слоистых сред на рис. 2 приводятся зависимости полной энергии излучения в спектральном интервале 20—240 кэв от энергии электрона. Вблизи порога образования излучения (0,3—0,6 Гэв) полная интенсивность излучения резко растет с энергией электрона ($\propto E^3$). В области Гэв-ых энергий эта зависимость становится заметно слабее. Такую зависимость предсказывает именно теория резонансного излучения, тогда как теория переходного излучения по всей области энергий предсказывает линейную зависимость (¹²). Разумеется, в отдельных случаях (это зависит от параметров слоистой среды и энергии электронов) может наблюдаться линейная зависимость. Такую зависимость, например, получили недавно авторы (¹⁵). Две точки из данных (¹⁵) приводятся на рис. 2.

На основании всех данных можно сделать общий вывод, что теория резонансного излучения, учитывающая интерференцию излучения от раз-

личных границ и влияние многократного рассеяния, лучше описывает экспериментальные результаты. Она является более общей, и то время как теория переходного излучения может применяться в отдельных случаях.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность руководству ЛВЭ ОИЯИ за предоставление возможности постановки экспериментов, сотрудникам ИЭЭО и отдела электроники ЛВЭ ОИЯИ, которые оказывали помощь на различных этапах работы, сотрудникам отдела ЭМВ ИФН АН Армянской ССР Г. А. Экимяну, Г. М. Айрапетяну за непосредственную помощь в работе.

Институт физических исследований Академии наук Армянской ССР

Յ. Ի. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Վ. Գ. ՔԵՇԻՍԵՎՈՒԹ, Ա. Հ. ՆԱԶԱՐՅԱՆ,
Գ. Բ. ԹՈՐՕՈՄՅԱՆ, Լ. Ա. ՅՐԱՆՅԱՆ

Ռելյատիվիստիկ էլեկտրոնների ռեզոնանսային ճառագայթումը
պարբերական անհամասեռ միջավայրերում

Ներկայացված են տարրեր շերտավոր միջավայրերով անցնող 2,8 և 3,7 Քէվ լներգիաներով էլեկտրոնների առաքած ճառագայթման փորձարարական չափումների հետադոտման արդյունքները: Հետադոտված են մինչև 250 կէվ լներգիաներով ճառագայթված ֆոտոնների էներգետիկ բաշխումը:

Փորձարարական տվյալները լավ համաձայնվում են ռեզոնանսային ճառագայթման տեսությունից (որտեղ հաշվի է առնված շերտավոր միջավայրում էլեկտրոնների բազմապատիկ ցրման ազդեցությունը) բխող արդյունքների հետ: էլեկտրոնների ցածր էներգիայի տիրույթում (ճառագայթման առաջացման շեմի մոտ) բազմապատիկ ցրման ազդեցությունը հանգեցնում է ճառագայթման էներգիայի էական ավելացմանը: Իսկ բարձր էներգիայի տիրույթում ցրման ազդեցությունը աննշան է:

Պատահական և պարբերական անհամասեռությունների միջավայրերում ստացված արդյունքների համեմատությունից երևում է, որ պարբերական անհամասեռ միջավայրերում առկա է ճառագայթման ինտերֆերենցիա տոանձին սահմաններից և այդ պատճառով անցումային ճառագայթման բունաձևերը կիրառելի չեն:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 В. Л. Гинзбург, И. М. Франк, ЖЭТФ, 16, 15 (1946). 2 И. М. Франк, УФН, 68, 307 (1959). 3 М. Л. Тер-Микаелян, А. Д. Газарян, ЖЭТФ, 39, 1693 (1960). 4 М. Л. Тер-Микаелян, «Известия АН Арм. ССР», т. 14, 103 (1961). 5 Ф. Р. Арутюнян, К. А. Испирян, А. Г. Оганесян, «Известия АН СССР», 28, 1864 (1964). 6 Ф. Р. Арутюнян, К. А. Испирян, А. Г. Оганесян, Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий, стр. 933, Дубна, 1964. 7 Ф. Р. Арутюнян, К. А. Испирян, А. Г. Оганесян, «Известия АН СССР», 29, 1769 (1965). 8 Ф. Р. Арутюнян, К. А. Испирян, А. Г. Оганесян, А. А. Франгян, Письма в ЖЭТФ, 4, 277 (1966). 9 Ф. Р. Арутюнян, К. А. Испирян, А. Г. Оганесян, А. А. Франгян,

лям, ЖЭТФ, 52, 1121 (1967). ¹¹ Ф. Р. Арутюнян, ДАН Арм. ССР, т. 48, № 1, (1969).
¹² Г. М. Гарибян, ЖЭТФ, 33, 1403 (1957); ЖЭТФ, 37, 527 (1959). ¹³ М. Л. Тер-Мика-
елян, Письма в ЖЭТФ, 8, 103 (1968). ¹⁴ М. Л. Тер-Микаелян, Влияние среды на электро-
магнитные процессы при высоких энергиях, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1969.
¹⁵ С. Л. Уилл, Phys. Lett. 31 B, 603 (1970).