

ФИЗИКА

Ф. Р. Арутюнян, К. А. Испирян, А. Г. Оганесян и А. А. Фраилян

Эффект плотности в тормозном излучении электронов
с энергиями до 600 Мэв

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 10/XI 1966)

При больших энергиях электронов влияние среды приводит к подавлению тормозного излучения и изменению вида его спектра в определенной области частот, зависящей от энергии частицы.

Как показали Ландау и Померанчук (^{1,2}), многократное рассеяние электронов в среде оказывает на тормозное излучение существенное влияние при энергиях $E_0 \geq 10^4 mc^2$. Но уже при более низких энергиях диэлектрические свойства среды приводят к изменению формул тормозного излучения для случая изолированного атома в области частот $\hbar\omega \leq E_0$. Этот эффект плотности в тормозном излучении впервые был вычислен М. Л. Тер-Микаеляном (^{3,4}), который для числа квантов приводит следующую формулу:

$$N(\omega) d\omega = B(\omega) d\omega \cdot \frac{1}{1 + \omega_{kr}^2/\omega^2}, \quad (1)$$

где $B(\omega) d\omega$ — число квантов тормозного излучения по Бете-Гайтлеру для случая изолированного атома и

$$\omega_{kr} = \omega_0 \cdot \frac{E_0}{mc^2}, \quad \omega_0 = \left(\frac{4\pi N_e e^2}{m} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где N_e — плотность электронов (см^{-3}) конденсированной среды.

Если $\omega \ll \omega_{kr}$, то спектр тормозного излучения

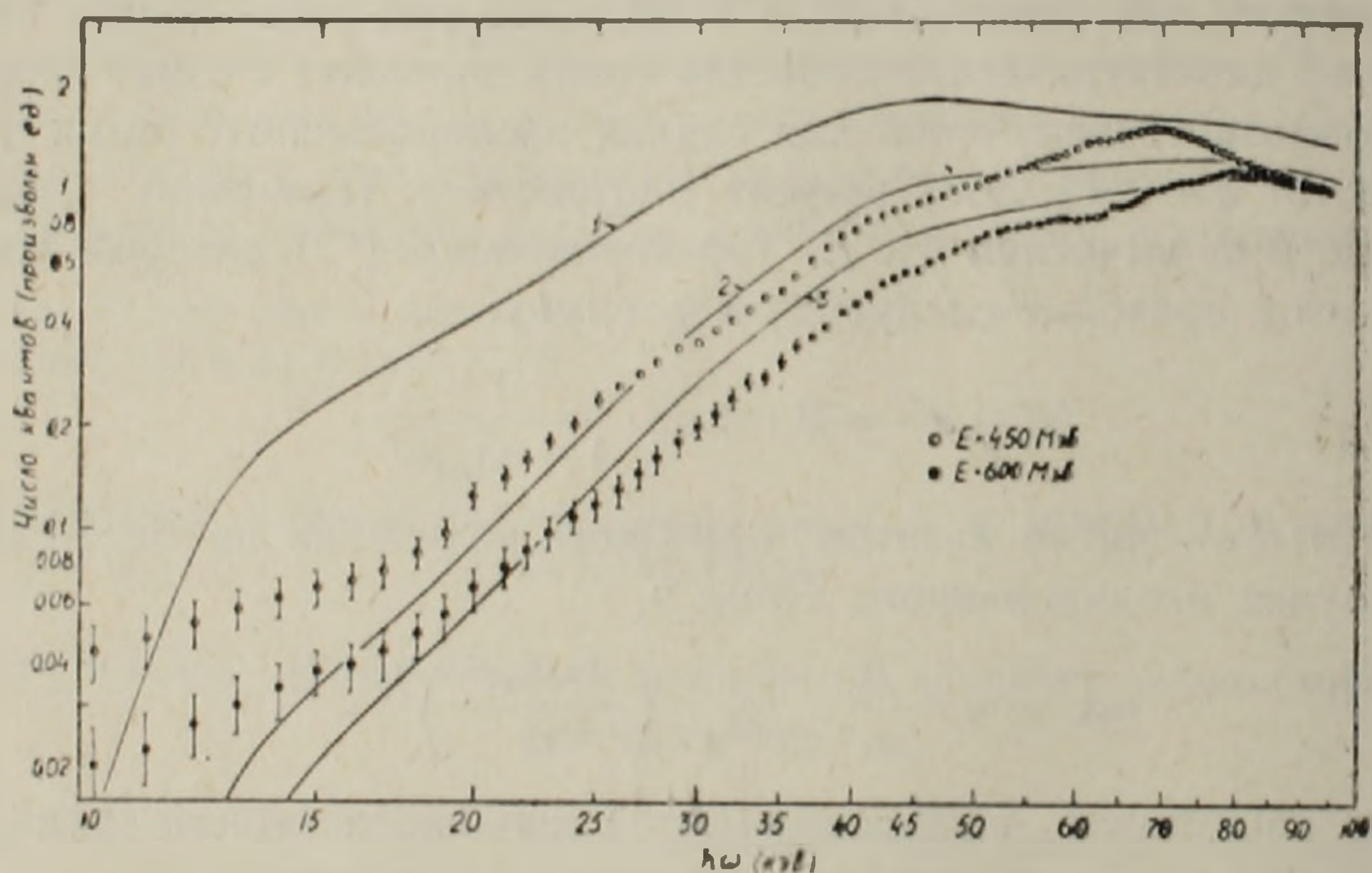
$$N(\omega) d\omega = B(\omega) \cdot \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \left(\frac{mc^2}{E_0} \right)^2 d\omega \quad (3)$$

в отличие от обычного вида $\frac{d\omega}{\omega}$ зависит от частоты как $\omega d\omega$, а интенсивность его уменьшается с энергией как E^{-2} , в то время как для изолированного атома в этом случае имеет место полное экранирование и интенсивность излучения не зависит от энергии электрона. Формулы тормозного излучения, учитывающие как рассеяние электронов, так и эффект плотности были обобщены Мигдалом (⁵). Анализ всех этих вопросов приводится Фейнбергом в обзоре (⁶).

До настоящего времени влияние среды на тормозное излучение экспериментально не исследовано. Косвенные данные были получены при исследовании электронно-фотонных ливней, генерируемых электронами с энергией $E_0 \gtrsim 10^{11}$ эв. в ядерной эмульсии (7, 8). Согласно данным этих работ спектры электронно-позитронных пар с энергиями $E \ll E_0$ подавлены и не противоречат теории каскадных ливней, учитывающей влияние среды в тормозном излучении.

С целью непосредственного обнаружения эффекта плотности нами были исследованы спектры тормозного излучения электронов с энергиями до 600 Мэв. в дуралюминии и оргстекле в области энергий γ -квантов до 100 кэв. Следует отметить, что тормозное излучение крайне релятивистских электронов в указанной части спектра представляет самостоятельный интерес, так как до настоящего времени экспериментально оно не исследовалось.

Эксперимент был выполнен на синхротроне ФИАН СССР с максимальной энергией 680 Мэв. Электроны регистрировались телескопом, состоящим из двух точечных пластических сцинтилляторов и далее отклонялись магнитным полем. γ -кванты детектировались однокристалльным (NaJ (Tl), $\varnothing 7$ см, $h = 7$ см) γ -спектрометром в направлении движения начального электрона.



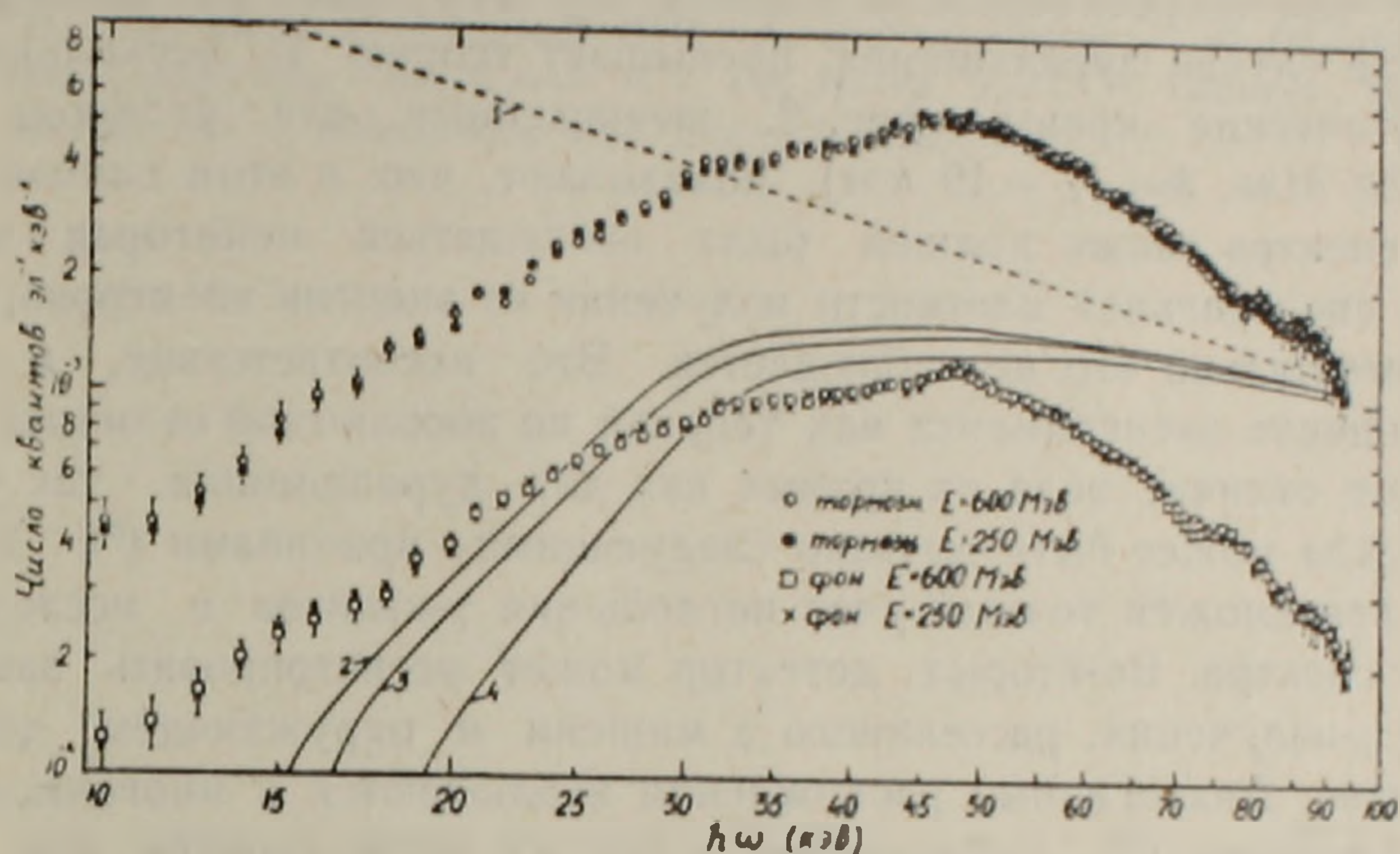
Фиг. 1. Дифференциальные спектры тормозного излучения в дуралюминии.

1 — теория для случая изолированного атома; 2, 3 — теория с учетом эффекта плотности при $E_0 = 450$ Мэв и 600 Мэв соответственно. Для получения числа квантов в абсолютных единицах ($\text{кэв}^{-1} \cdot \text{эл.}^{-1}$) ординату следует умножить на $16 \cdot 10^{-3}$ для экспериментальных данных и на $2,4 \cdot 10^{-3}$ для теории.

Экспериментально полученные результаты вместе с теоретическими кривыми тормозного излучения для случая изолированного атома и с учетом эффекта плотности приводятся на фиг. 1 и 2. Теоре-

тические кривые вычислялись с учетом поглощения излучения в самой среде, а также в веществе (сцинтилляторы и т. п.), имеющемся на пути γ -квантов к детектору.

На фиг. 2 отдельно приводятся спектры излучения электронов с энергиями 600 Мэв и 250 Мэв, регистрируемые в отсутствие исследуемого вещества. Это фоновое излучение вызвано торможением электронов в веществе сцинтилляторов и других элементов экспериментальной установки, толщина которого составляет $1,0 \text{ г/см}^2$, и оно вычитается из регистрируемого суммарного спектра для данного вещества.



Фиг. 2. Дифференциальные спектры тормозного излучения в оргстекле.

1, 2 — теория для случая изолированного атома без учета и с учетом поглощения соответственно; 3, 4 — теория с учетом эффекта плотности для углерода при $E_0 = 250 \text{ Мэв}$ и 600 Мэв соответственно.

Абсолютный выход тормозного излучения, измеренный в пластинке дуралюминия толщиной 0,19 радиационной единицы длины, оказался больше теории в среднем по всему спектру в $\sim 6,6$ раз, поэтому экспериментальные данные фиг. 1 приводятся нормированными на теорию (эксперимент по абсолютному значению совмещается с теорией в конце исследуемого спектра при $h\omega = 80 \div 95 \text{ кэв}$).

В начальной части спектра ($h\omega \leq 80 \text{ кэв}$) экспериментальные кривые тормозного излучения электронов с энергиями 600 и 450 Мэв значительно отличаются друг от друга. Спектральная плотность излучения пропорциональна E^{-2} , что и подтверждает влияние эффекта плотности. В высокоэнергичной части спектра ($h\omega \geq 80 \text{ кэв}$) кривые для обеих энергий сливаются в одну. Экспериментальные данные с некоторыми отклонениями согласуются с теоретическими кривыми, учитывающими влияние среды и существенно отличаются от теоретической кривой, вычисленной для случая изолированного атома. Следует отметить, что при вычислении теории учитывалось наличие в

дуралюминии примесей металлов с большими Z (при $E = 600$ Мэв $\hbar\omega_{кр. Al} = 32$ кэв, $\hbar\omega_{кр. Zn} = 55$ кэв).

Спектры тормозного излучения электронов с энергиями 600 Мэв и 250 Мэв, измеренные для оргстекла (толщина мишени составляет 0,16 радиационной единицы длины) по всему исследуемому интервалу энергий γ -квантов, хорошо совпадают друг с другом и никакого влияния плотности не наблюдается. По абсолютному выходу эксперимент совпадает с теорией в высокоэнергичной части спектра ($\hbar\omega \sim 95$ кэв), но с уменьшением $\hbar\omega$ экспериментальный спектр идет резче, чем теоретический и в целом, по всему спектру, эксперимент, как и в случае дуралюминия, превышает теорию в несколько раз. Теоретические кривые (фиг. 2, вычисленные для углерода (при $E = 600$ Мэв, $\hbar\omega_{кр. C} = 19$ кэв), показывают, что в этом случае в начале спектра также должна была наблюдаться некоторая зависимость спектральной плотности излучения от энергии электрона. Но экспериментально это не наблюдается. Это несоответствие, а также превышение эксперимента над теорией по абсолютной величине и некоторое отличие хода их кривых как для дуралюминия, так и для оргстекла может быть вызвано следующими причинами (⁹). Во-первых, невозможен точный учет поглощения γ -квантов в исследуемой части спектра. Во-вторых, детектор может регистрировать заметную долю γ -излучения, рассеянного в мишени и окружающем детектор веществе. Аналогичные расхождения наблюдаются в многочисленных экспериментах (¹⁰), выполненных в той же части спектра для менее релятивистских электронов.

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что для дуралюминия экспериментально наблюдалось влияние диэлектрических свойств среды на тормозное излучение электронов с энергиями до 600 Мэв. Необходимы эксперименты при более высоких энергиях электронов и для различных веществ. Они дадут полную картину роли среды в электромагнитных процессах при высоких энергиях.

Авторы выражают благодарность В. А. Петухову и коллективу лаборатории электронов высоких энергий ФИАН СССР за предоставление возможности выполнения настоящего эксперимента чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляну за дискуссии.

Объединенная радиационная лаборатория
Академии наук Армянской ССР и Ереванского университета

Յ. Բ. ՀԱՐՈՒԹՅԱՆ, Կ. Ա. ԻՍԿՐՅԱՆ, Ա. Հ. ՀՈԳԶԱՆԻՍՅԱՆ ԵՎ Ս. Ա. ՅՐԱԿՅԱՆ

600 մգէվ էներգիա ունեցող էլեկտրոնների արգելակման ճառագայթման
խտության էֆեկտը

Խտության էֆեկտը հայտնաբերելու նպատակով ուսումնասիրված է մինչև 600 մգէվ էներգիա ունեցող էլեկտրոնների արգելակման ճառագայթման ռադիոլուսները դուրալումինում և օրգանական ապակիում մինչև 100 կէվ էներգիա ունեցող γ -քվանտների տիրույթում: Դուրալումինում միջավայրի դիէլեկտրիկ հատկությունների ազդեցությունը էլեկտրոնների արգելակման ճառագայթման փորձի արդյունքները ցույց են տալիս, որ $\hbar\omega \lesssim 80$ կէվ տիրույթում նկատված

Հատազայիման վրա: Հատազայիման ինտենսիվությունը մասնակի էներգիայից կախված է $E-2$ օրենքով, այն դեպքում, երբ մեկուսացված ատոմի լրիվ էկրանացված կուլոնյան դաշտում արգելաժամար խտություն էֆեկտ չի նկատվում:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Ն Ո Ւ Մ Ն

¹ Л. Д. Ландау, И. Я. Померанчук, ДАН СССР, 92, 535 (1953). ² Л. Д. Ландау, И. Я. Померанчук, ДАН СССР, 92, 735, (1953). ³ М. Л. Тер-Микаелян, ДАН СССР, 94, 1033 (1954). ⁴ М. Л. Тер-Микаелян, „Изв. АН СССР“ (серия физ.), 19, 657 (1955). ⁵ А. Б. Мигдал, ЖЭТФ, 32, 633, 1057. ⁶ Е. Л. Фейнберг, УФН, 53, 193, 1956. ⁷ М. Миезович, О. Станиш, В. Вольтер, Nuovo Cim, 5, 513, 1957. ⁸ А. А. Варфоломеев, Р. Н. Герасимова, ЖЭТФ, 38, 33, 1960. ⁹ С. В. Стародубцев, А. М. Романов, Взаимодействие γ -излучения с веществом, ч. 1, изд. Наука, Уз. ССР, Ташкент, 1964, стр. 85. ¹⁰ Г. В. Кох, И. . . Мотз, Rev. Mod. Phys., 31, 920, 1959.