

УДК 537.533.7+539.23

ФИЗИКА

Ф. Р. Арутюнян, А. Х. Мхитарян, Р. А. Оганесян, Б. О. Ростомян

## Свечение серебра под действием электронов

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 15/X 1972)

В работах (<sup>1-4</sup>) обсуждались результаты экспериментального исследования излучения в оптической части спектра, возникающего при облучении нерелятивистскими электронами поверхностей различных металлов в виде массивных образцов и тонких пленок. Особый интерес представляют данные для серебра; он обусловлен тем, что при скользящем угле падения электронов на поверхность серебра в области длин волн около  $\sim 3500 \text{ \AA}$  было обнаружено излучение большой интенсивности, необъясняемое теорией переходного излучения (<sup>4,5</sup>). Некоторые авторы (<sup>4</sup>) связывают это излучение с возбуждением поверхностных плазменных волн (из-за поверхностных неоднородностей эти волны могут излучаться в вакуум (<sup>6</sup>)). Другие авторы (<sup>5</sup>) предполагают, что оно имеет природу тормозного излучения. Все эти рассуждения носят лишь качественный характер (количественное сравнение экспериментальных данных с соответствующими теориями указанными авторами не приводится) и проблема серебра до настоящего времени остается открытой.

В настоящей статье приводятся экспериментальные результаты, полученные для массивных образцов серебра. Мишени представляют собой механически полированные серебряные пластинки толщиной  $\sim 0,2 \text{ мм}$ . Некоторые мишени дополнительно, методом вакуумного напыления, покрываются слоем серебра толщиной  $> 1 \text{ мк}$ . Используются также мишени на стеклянной основе, покрытые серебром при различных скоростях напыления. В отличие от тонких пленок, массивные образцы всегда содержат неровности на поверхности, которые не устраняются даже при хорошей полировке. Кроме того, неровности, имеющиеся на основе, повторяются также на напыленной поверхности. Основные определения и обозначения, а также подробности экспериментального характера приводились ранее (<sup>2</sup>) и здесь опускаются.

В эксперименте анализируется поляризация, спектральный состав (рис. 1) и угловое распределение излучения (рис. 2), а также зависимость интенсивности излучения от: энергии электрона, тока пучка,

времени облучения образца электронным пучком и угла влета электрона в мишень. Измеряется спектральная плотность энергии излучения, как волн, поляризованных в плоскости излучения ( $W_{\parallel}$ ), так и волн, поляризованных в перпендикулярной к ней плоскости ( $W_{\perp}$ ). На рисунках заполненные знаки и знак плюс представляют  $W_{\parallel}$ , а незаполненные и крест —  $W_{\perp}$ . Треугольники, крест и знак плюс относятся к экспериментальным данным, полученным для мишеней, изготовленных соответст-

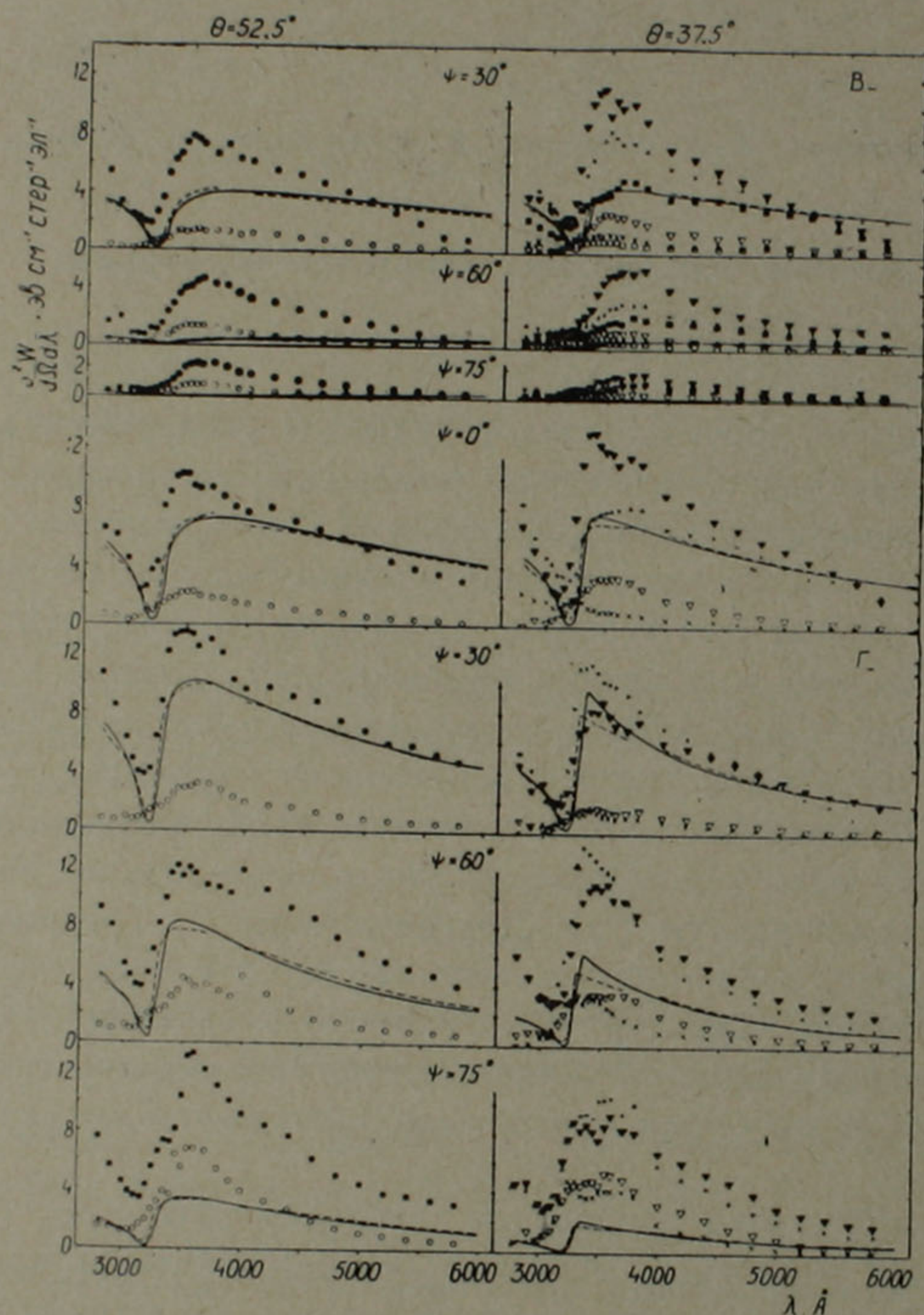


Рис. 1. Спектральный состав излучения.  $E=80$  кэв: „В“ —  $\theta=142,5^\circ$ ; „Г“ —  $\theta'=-37,5^\circ$ . Для круглых значков: „В“ —  $\theta=127,5^\circ$ ; „Г“ —  $\theta'=-52,5^\circ$

венно медленным и быстрым напылением серебра на основу из стекла. Квадратные и круглые значки — относятся к данным, полученным для мишеней, изготовленных соответственно медленным и быстрым напылением Ag на полированную основу из серебра. Экспериментальные данные сравниваются с выводами теории переходного излучения (<sup>6</sup>); кривые вычисляются по значениям оптических постоянных серебра, измеренных нами (пунктирные кривые) и другими авторами (<sup>7</sup>) (сплошные кривые).

Излучение оказалось поляризованным, причем знак поляризации таков, как предсказывает теория переходного излучения. Степень поляризации существенно зависит от угла влета электрона в мишень: при малых углах влета она достигает  $80 \div 90\%$ ; с ростом угла влета степень поляризации падает. Это обусловлено сравнительно большим значе-

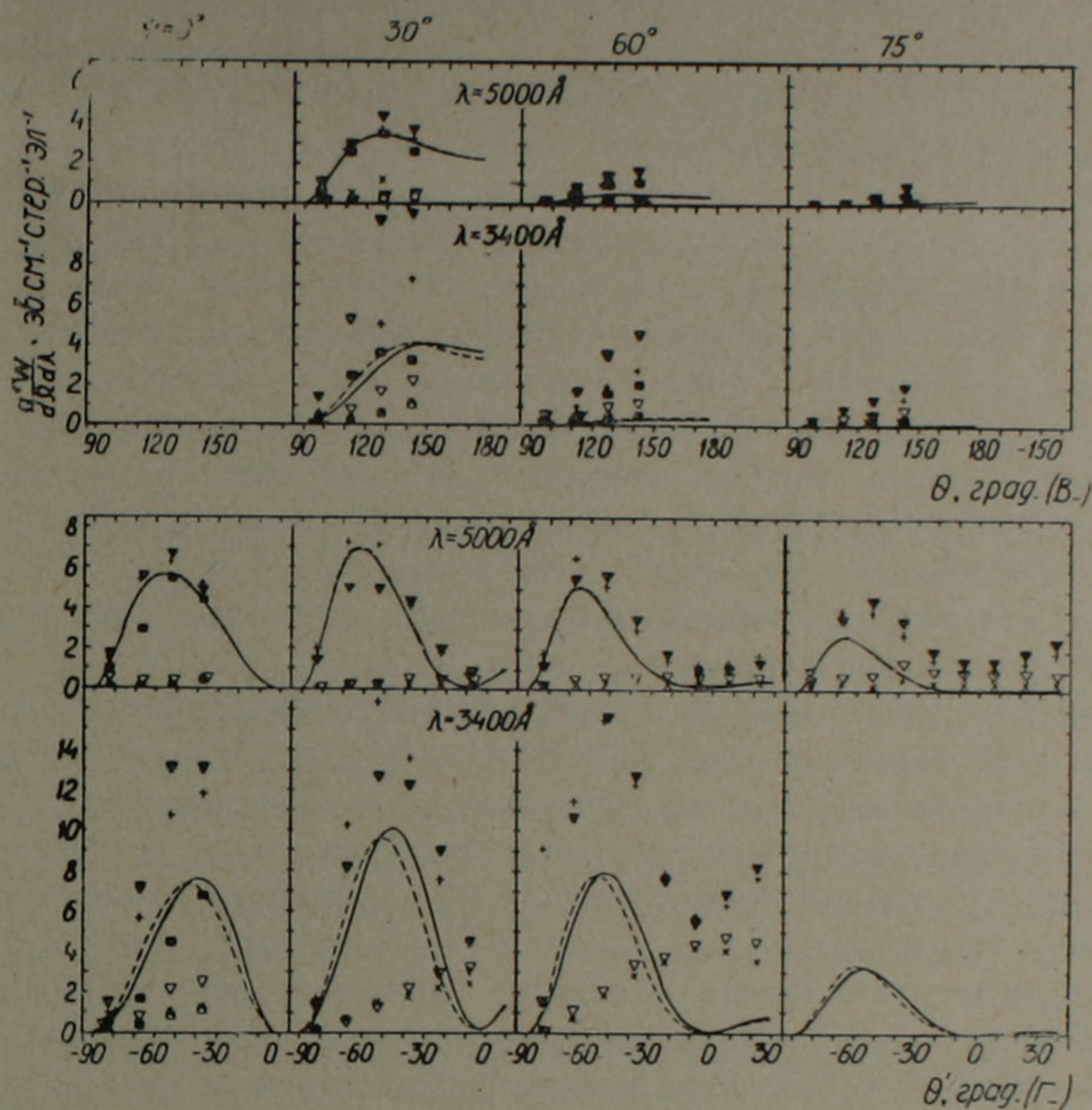


Рис. 2. Угловое распределение излучения.  $E=80$  кэв: „В—“— $\theta=142,5^\circ$ ; „Г—“— $\theta'=-37,5^\circ$ . Для круглых значков: „В—“— $\theta=127,5^\circ$ ; „Г—“— $\theta'=-52,5^\circ$

нием  $W_{\perp}$ , абсолютная величина которого превышает уровень шумов на один-два порядка и увеличивается с ростом энергии электрона, а также угла влета  $\psi$ . Угловые распределения  $W_{\perp}$  (рис. 2) качественно отличаются от аналогичных для переходного излучения. Отмеченная компонента излучения составляет избыточную (неполяризованную) часть излучения электронов при их влете в серебро и не имеет никакого отношения к переходному излучению. Параллельная составляющая излучения дополнительно содержит переходное излучение (поляризованная часть излучения). Из рис. 1 следует, что избыточное излучение интенсивнее при длинах волн, близких к  $\sim 3500 \div 3600 \text{ \AA}$ . С теорией переходного излучения согласуется лишь разность  $(W_{\parallel} - W_{\perp})$ .

Анализ данных показывает, что избыточное излучение не может быть обусловлено тормозным излучением и люминесценцией поверхностного слоя серебра. Действительно, ожидаемая интенсивность тормозного излучения электрона при его влете в поглощающую среду, вычисленная по формулам <sup>(6)</sup> для конкретных значений оптических

постоянных серебра оказалась на несколько порядков меньше, чем измеренная интенсивность избыточного излучения. Кроме того, наблюдаемая разница излучения электронов в тонких пленках <sup>(3)</sup> и массивных образцах серебра с одной стороны, а также существенный рост выхода излучения с ростом энергии электрона и совершенно случайная зависимость от атомного номера <sup>(2)</sup> с другой, приводят к выводу, что тормозное излучение и люминесценция не дают ощутимого вклада в излучение, наблюдаемое в эксперименте.

Избыточное излучение имеет максимум интенсивности, положение которого не совпадает с полосой прозрачности в серебре ( $\approx 3250 \text{ \AA}$ ), а несколько сдвинуто в область больших длин волн ( $\approx 3500 \div 3600 \text{ \AA}$ ) и соответствует положению максимума интенсивности поверхностных волн для непоглощающей среды  $\epsilon \approx -1$ . Кроме того, величина интенсивности поверхностных волн в максимуме для непоглощающей среды <sup>(6)</sup> достигает больших значений, увеличивается с ростом угла влета и падает с ростом энергии электрона. Именно эти особенности и позволили авторам <sup>(4)</sup> сделать вывод, что избыточное излучение наблюдаемое в экспериментах, обусловлено генерацией поверхностных плазмонов с дальнейшим выходом их в вакуум вследствие рассеяния на неровностях поверхности.

Однако, количественный анализ условий возбуждения поверхностных волн, проведенных нами по формулам <sup>(6)</sup> показывает, что в отличие от непоглощающей среды, генерация поверхностных волн в поглощающей среде имеет совершенно иные особенности, не согласующиеся со свойствами избыточного излучения, наблюдаемого в эксперименте. Например, оказывается, что в случае существенного поглощения (в этом смысле наименьшее значение величины  $Im\epsilon \approx 0,24$  при  $\lambda \approx 3500 \text{ \AA}$  для серебра является уже большой) максимальная интенсивность поверхностных волн должна наблюдаться не при наклонном влете, а при  $\psi = 0^\circ$ . Сравнение экспериментальных данных с теоретическими <sup>(6)</sup>, вычисленными по значениям оптических постоянных серебра, показывают, что ни по абсолютной величине интенсивности, ни по различным функциональным зависимостям, наблюдаемое в эксперименте избыточное излучение не может быть обусловлено поверхностными волнами. Измеренная интенсивность избыточного излучения оказалась на два-три порядка больше, чем ожидаемая полная интенсивность возбуждения поверхностных волн.

В то же время, имеется довольно эффективный механизм генерации излучения, отмеченный нами <sup>(1)</sup>, который не обсуждался до сих пор, но который может объяснить результаты экспериментов. Он связан с движением электрона над поверхностью: электрон, движущийся наклонно, некоторую часть своего пути, вблизи точки входа в серебро, пролетает близко от поверхности и может излучать на неровностях поверхности. Аналогичное излучение для периодических неоднородностей известно под названием излучения Смита-Перселла <sup>(8)</sup>. Сравнение экспериментальных данных, полученных нами для серебра, с «аморфной» частью излучения Смита-Перселла, измеренного в экспериментах <sup>(9)</sup>, а также теоретическими вычислениями <sup>(10)</sup> показывают, что избы-

точное излучение обусловлено именно неровностями поверхности. Разумеется, что только эксперименты с мишенями, имеющими заведомо шероховатую поверхность, могут выявить возможности этого механизма генерации излучения. А то обстоятельство, что для тонких пленок избыточное излучение отсутствует (оно проявляется только при  $\psi = 75^\circ$ ), говорит о том, что поверхности этих пленок, полученных в чистом виде, довольно гладкие; если на них и имеются неровности, то их число существенно меньше, чем на поверхности массивных образцов.

Институт физических исследований  
Академии наук Армянской ССР

Ֆ. Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա. Խ. ՄԵԼԻՔԱՆՅԱՆ, Ռ. Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Բ. Հ. ՌՈՍՏՈՄՅԱՆ

### Արժաթի լուսադալույթ էլեկտրոնների ազդեցության տակ

Ներկայացվում են արժաթյա հղկած մասսիվ թիրախներում ոչ ուղիղ լիստիկ էլեկտրոնների ազդեցության տակ առաջացած ճառագայթման էքսպերիմենտալ հետազոտման արդյունքները: Էլեկտրոնների թիրախի վրա անկման անկյունը փոփոխվում է  $0^\circ$  մինչև  $75^\circ$ : Հետազոտված են ճառագայթման բևեռացումը, սպեկտրալ կազմությունը, անկյունային բաշխումը, նրա ինտենսիվության կախումն էլեկտրոնի էներգիայից, անկման անկյունից և էլեկտրոնային փնջի հոսանքի մեծությունից: Ճառագայթումը բևեռացված է, ընդ որում, բևեռացման նշանը համընկնում է անցումային ճառագայթման տեսությունից բխածի հետ:

Ճառագայթման բևեռացված բաղադրիչը լիովին պայմանավորված է անցումային ճառագայթումով: Անցումային ճառագայթման հետ միասին փորձում դիտվում է նաև հավելյալ ճառագայթում, որի առկայությունը և հատկությունները չեն բացատրվում արգելակման ճառագայթումով և լյումինեսցենցիայով: Ենթադրվում է, որ դիտված հավելյալ ճառագայթումը պայմանավորված է թիրախի մակերեսի անհարթություններով և նման է հայտնի Սմիթ-Պերսելի ճառագայթմանը:

### ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> F. R. Harutyunian, R. A. Hovhannisian, B. O. Rostomian, Phys. Lett., 37A, 163 (1971).
- <sup>2</sup> Փ. Ր. Արությունյան, Ա. Խ. Մխитарյան, Բ. Օ. Օգանեսյան, Բ. Օ. Րոստոմյան, և ծր. ЖЭТФ, 62, 1263, (1972); ЖЭТФ, 63, 1159(1972).
- <sup>3</sup> Փ. Ր. Արությունյան, Ա. Խ. Մխитарյան, Բ. Օ. Օգանեսյան, Բ. Օ. Րոստոմյան, ДАН Арм. ССР, т. 55, №5, (1972).
- <sup>4</sup> H. Boersch, P. Dobberstein, D. Fritzsche, G. Sauerbrey, Z. Phys., 187, 97 (1965); P. Dobberstein, G. Sauerbrey, Phys. Lett., 31A, 328, 1970.
- <sup>5</sup> J. C. Ashley, L. C. Cram, E. T. Arakawa, Phys. Rev., 160, 313 (1967); 153, 455 (1967).
- <sup>6</sup> В. Е. Пафомов, Труды ФИАН, 44, 26—167 (1969).
- <sup>7</sup> E. A. Taft, H. R. Phillipp, Phys. Rev., 121, 1100 (1961).
- <sup>8</sup> S. J. Smith, E. M. Purcell, Phys. Rev., 92, 1069 (1953).
- <sup>9</sup> J. L. Bret, J. P. Bachheimer C. R. Acad. Sci., 266, B902 (1969); 269, B285 (1969).
- <sup>10</sup> J. P. Bachheimer, C. R. Acad Sci., 268, B599 (1969); Le Journal de Physique, 31, 665 (1970).