

А. Я. ВЯТКИН

**НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПОТЕНЦИАЛОВ  
МЕТАЛЛОВ**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 1 IV 1940)

При рассмотрении различных проблем, связанных с излучением электронов граничными поверхностями металлов или с контактами: металл-полупроводник, металл-диэлектрик и других, весьма серьезную роль играет внутренний потенциал металла. Под последним, имея в виду зоммерфельдовскую модель металла, мы подразумеваем глубину потенциальной прямоугольной ямы зоммерфельдовской модели ( $W$  — см. фиг. 1). Однако до сих пор не существует ни одного достаточно надежного метода, позволяющего определять значения внутренних потенциалов металлов.

Для очень небольшого количества металлов (Ag, Cu, Ni и некоторые другие) значения внутренних потенциалов определялись экстраполированием из данных опытов по диффракции электронов, проведенных Девиссоном и Джермером, Руппом, Фарнсвортом и другими. Однако внутренний потенциал, определяемый методом диффракции, представляет принципиально иную физическую величину. Тогда как внутренний потенциал зоммерфельдовской модели представляет собой величину той кинетической энергии, которую необходимо приобрести валентному электрону металла, чтобы иметь возможность покинуть металл, внутренний потенциал, определяемый методом диффракции, представляет значение среднего потенциала для электронов, проникающих из вакуума внутрь металла и диффрагируемых сетчатыми плоскостями решетки металла\*.

Тамм<sup>(1)</sup> показал, что асимптотические значения внутренних потенциалов, вычисленные из данных по диффракции, по крайней мере на несколько вольт отличаются от зоммерфельдовских внутренних потенциалов.

Результаты, полученные автором<sup>(2)</sup> в работе по вторичной электронной эмиссии, позволяют предложить простой метод определения внутренних (зоммерфельдовских) потенциалов металлов.

При рассмотрении вторичной электронной эмиссии как явления, обусловленного наличием потенциального барьера на поверхности металла, для случая нормального падения первичных электронов на поверхность металла получено было аналитическое выражение для коэффициента вторичной электронной эмиссии  $\sigma_{\max}^{**}$  в функции от работы выхода

\* Потенциал  $\Phi$ , определяемый методом диффракции, асимптотически приближается к значению среднего внутреннего потенциала  $W$  лишь при больших скоростях падающих электронов и высоких порядках отражения.

\*\*  $\sigma_{\max}$  соответствует области насыщения кривой зависимости коэффициента вторичной эмиссии от энергии первичных электронов.

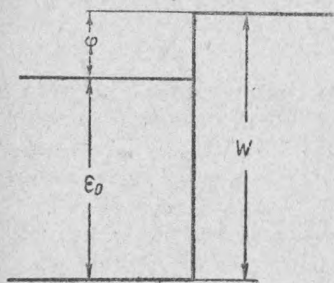
электронов (из металла  $\varphi$ , внутреннего потенциала  $W^*$  и предельной энергии электронов в распределении Ферми  $\varepsilon_0$ ):

$$\sigma_{\max} = 0,63 \cdot 10^{-13} \varepsilon_0^{1/2} \left[ \frac{3W}{\varphi^{5/2}} + \frac{1}{\varphi^{3/2}} - \frac{11}{\varphi^{1/2} W} + \frac{7\varphi^{1/2}}{W^2} \right] \frac{\text{вт. эл.}}{1 \text{ перв. эл.}} \quad (1)$$

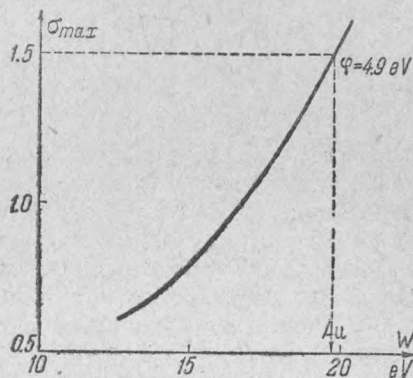
По своему физическому смыслу входящая в формулу (1) величина  $W$  представляет значение потенциального барьера зоммерфельдовской модели для валентных электронов. Эти валентные электроны после получения ими от первичных электронов добавочной энергии покидают поверхность металла как вторичные, если нормальная составляющая их энергии превышает  $W$ —величину потенциального барьера, удерживающего их внутри металла. Для получения  $\sigma_{\max}$  следует в (1) подставить значения  $\varphi$ ,  $\varepsilon_0$ ,  $W$  в эргах.

Формула (1) позволяет вычислить коэффициент вторичной электронной эмиссии металла, когда известны значения работы выхода, внутреннего потенциала и предельной энергии электронов в распределении Ферми. [Следует иметь в виду, что  $\varepsilon_0$  непосредственно не измеряется. Можно: либо подставить в (1) теоретическое значение  $\varepsilon_0$ , вычисленное из данных концентрации свободных электронов, или же заменить  $\varepsilon_0 = W - \varphi$  (см. фиг. 1), что нам кажется более правильным.]

Однако можно задаться и обратной целью: зная экспериментальные значения коэффициента вторичной эмиссии  $\sigma_{\max}$  и работы выхода электронов  $\varphi$ , определить значение внутреннего потенциала  $W$ .



Фиг. 1.



Фиг. 2.

К настоящему времени для многих металлов значения работы выхода, измеренные различными методами (из данных фотоэлектрической и термоэлектронной эмиссий), определены с достаточной точностью. Для некоторых металлов значения коэффициентов вторичной эмиссии с большей или меньшей точностью также измерены. Это позволяет вычислить для этих металлов по формуле (1) значения внутренних потенциалов.

Определение  $W$  для остальных металлов будет зависеть от наличия данных для работы выхода и коэффициентов вторичной электронной эмиссии, методика измерения которых не содержит каких-либо принципиальных затруднений.

На фиг. 2 представлена кривая  $\sigma_{\max} = \sigma_{\max}(W)$ , вычисленная при заданном значении работы выхода  $\varphi$ , соответствующем Au ( $\varphi = 4,9 \text{ eV}$ ). Взяв экспериментальное значение коэффициента вторичной эмиссии  $\sigma_{\max}$  для Au, равное  $1,5 \frac{\text{вт. эл.}^{**}}{1 \text{ перв. эл.}}$ , мы получаем из кривой фиг. 2 значение внутрен-

\* В цитированной работе (2) мы называли  $W$  внешней работой выхода.

\*\* Экспериментальное значение  $\sigma_{\max}$  для Au взято у Копленда (3).

него потенциала Au, равное 19,7 eV. Как видно, метод определения внутренних потенциалов по формуле (1) крайне прост. Этим методом были определены внутренние потенциалы ряда металлов (см. таблицу).

Металл	Экспериментальное значение работы выхода ( $\varphi$ ) в eV*	Экспериментальное значение максимального коэффициента вторичной эмиссии ( $\sigma_{\text{max}}$ эксп) вт. эл. 1 перв. эл.	Внутренний потенциал ( $W$ ), определенный по формуле (1) в eV	Определенный методом диффракции потенциал $\Phi$ в eV
Cs	1,8	0,72 Де-Бур <sup>(4)</sup>	3,6—3,9	—
Li	2,28	0,56 » <sup>(4)</sup>	4,6	—
Ba	2,52	0,83 » <sup>(4)</sup>	5,9	—
Mg	3,68	0,95 » <sup>(4)</sup>	10,5	—
Be	3,92	0,53 » <sup>(4)</sup>	9,1	—
Ag	4,74	1,47 » <sup>(4)</sup>	18,8	14—18
Au	4,9	1,5 Копленд <sup>(3)</sup>	19,7	14—18
Cu	4,3	1,27 Де-Бур, Варнеке <sup>(4)(5)</sup>	14,8	13—5
Ni	5,03	1,3 Де-Бур, Варнеке <sup>(4)(5)</sup>	19,1	16—18
Mo	4,3	1,25 Де-Бур <sup>(4)</sup>	14,7	13,5
Pt	6,27	1,52 Копленд <sup>(3)</sup>	29,3	—
W	4,54	1,35 Де-Бур <sup>(4)</sup>	16,0	12,0
Ta	4,12	-1,45		
Th	3,38	1,3 Варнеке <sup>(5)</sup>	13,8	—
Nb	3,96	1,14 Де-Бур <sup>(4)</sup>	10,8	—
		1,17 Варнеке <sup>(5)</sup>	11,4	—

Как видно из данных таблицы, значения внутренних потенциалов щелочных металлов\*\* получаются равными удвоенными значениями работы выхода; для Cs:  $W=3,6-3,9$  eV ( $\varphi=1,81-1,9$  eV); для Li:  $W=4,6$  eV ( $\varphi=2,28$  eV). До сих пор  $W$  для щелочных металлов экспериментально не был определен. Теоретически\*\*\* можно было ожидать, что  $W=2\varphi$ .

Значения внутренних потенциалов щелочноземельных металлов Ba, Be, Mg близки к удвоенным работам выхода, но не равны им. Так, например, для Ba  $W=5,9$  eV ( $\varphi=2,52$  eV).

Далее из таблицы видно, что данные для  $W$ , полученные настоящим методом, довольно удовлетворительным образом согласуются со значениями  $\Phi$ , полученными методом диффракции (для некоторых металлов).

Однако следует иметь в виду сделанные нами ранее замечания о различии между величинами  $W$  и  $\Phi$ . Для металлов Pt, Ta, Th, Nb (а также Ba, Be, Mg) настоящим методом впервые определены значения внутренних потенциалов. Весьма интересный результат получен для Pt, внутренний потенциал которой 29,3 eV очень велик. Этот результат не должен нас особо удивлять. Исходя из теоретических предположений\*\*\*\*, можно было ожидать у некоторых тяжелых металлов очень больших значений внутренних потенциалов. Повидимому, можно ожидать подобных результатов и для некоторых других тяжелых металлов. Но, к сожалению, для них нет данных о коэффициентах вторичной эмиссии.

\* Мы пользовались данными для  $\varphi$ , приведенными у Реймана, за исключением данных для Ba, Mg и Be, полученных Жемпсоном и Кашманом <sup>(7)</sup> и Манном и Дюбриджем <sup>(8)</sup>.

\*\* Определение внутренних потенциалов не проведено для всех металлов щелочной группы вследствие отсутствия экспериментальных данных для  $\sigma_{\text{max}}$ : Rb, K, Na.

\*\*\* См. например, Зоммерфельд и Бете, Электронная теория металлов (1938).

\*\*\*\* В связи с магнетизмом (см. Зоммерфельд и Бете, там же).

Определенные с помощью предлагаемого метода численные значения внутреннего потенциала зависят от измерений работы выхода ( $\varphi$ ) и коэффициента вторичной электронной эмиссии ( $\sigma_{\max}$ ). Между тем диапазон экспериментальных данных как для  $\varphi$ , так и для  $\sigma_{\max}$ , еще довольно широк.

Чем точнее будут известны значения работы выхода электронов из металла и коэффициентов вторичной эмиссии, тем точнее, пользуясь настоящим методом, можно будет определять значения внутренних потенциалов металлов.

Физико-технический институт  
Академии Наук СССР  
Ленинград

Поступило  
8 IV 1940

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. Tamm, Phys. Rev., **39**, 470 (1932). <sup>2</sup> А. Вяткин, ЖЭТФ, № 7 (1939). <sup>3</sup> Copeland, Phys. Rev., **46**, 167 (1934). <sup>4</sup> J. De Boer, Physica, V, № 1 (1938). <sup>5</sup> Warneske, Journ. Phys. et Rad., **7**, 270 (1936). <sup>6</sup> Reimann, Thermoionic emission, London (1934). <sup>7</sup> Jamison a. Cashman, Phys. Rev., **50**, 624 (1936). <sup>8</sup> Mann a. Du Bridge, Phys. Rev., **51**, 121 (1937).