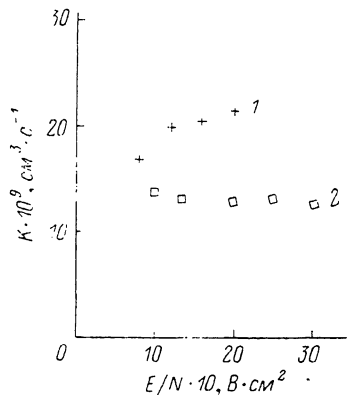


Следует отметить, что карбонилы железа и никеля являются сильными прилипателями. Добавление 0.01 Тор карбониллов снижает ток разряда в несколько раз, а при добавлении 1 Тор карбониллов ток разряда становится порядка тока пучка быстрых электронов.

Эксперименты показали, что величина частоты прилипания практически линейно увеличивается с ростом давления карбониллов, а при увеличении давления азота можно отметить некоторую тенденцию к росту частоты прилипания, которая, впрочем, находится в пределах ошибки наших измерений.



На рисунке приведены зависимости констант прилипания электронов к карбонилам железа (2) и никеля (1), определенным как $K = v_n/n$, где n — плотность паров карбонила (проведено усреднение по всем давлениям азота) от величины приведенной напряженности электрического поля E/N (N — плотность азота). Видно, что значения K для обоих карбониллов близки и в исследованном диапазоне слабо зависят от E/N , а их величина имеет порядок $10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, что существенно ближе к данным [1], чем к [2]. Следует отметить различное влияние этих двух карбониллов на устойчивость разряда: $\text{Fe}(\text{CO})_5$ приводит к увеличению предельно достижимых значений E/N (по сравнению с чистым азотом), а $\text{Ni}(\text{CO})_4$ приводит к их уменьшению.

Оценки роли прилипания электронов к карбонилам в условиях, типичных для непрерывных СО лазеров с накачкой несамостоятельным разрядом [6], показывают, что наличие примеси карбониллов на уровне 1 ppm является существенным, поэтому необходимо предъявлять очень высокие требования к очистке СО от примесей карбониллов, допустимая концентрация которых не должна превышать 0.1 ppm. Учитывая, что карбонилы эффективно образуются в металлических баллонах, содержащих СО под давлением [7], целесообразно применять дополнительную очистку СО непосредственно перед подачей в установку.

Отметим, что измерения концентраций карбониллов в баллонах с СО, проведенные с помощью абсорбционной ИК спектроскопии, показали, что концентрация $\text{Fe}(\text{CO})_5$ находится на уровне 0.5 ppm, а $\text{Ni}(\text{CO})_4$ — 25 ppm.

Список литературы

- [1] George P. M., Beauchamp Y. L. // J. Chem. Phys. 1982. Vol. 76. P. 2959—2964.
- [2] Lee M., Res Y. // Nat. Bur. Std. 1963. Vol. 67. P. 360—366.
- [3] Кочетов И. В., Шачкин Л. В., Шашков В. М. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 7. С. 1270—1273.
- [4] Хаксли Л., Кромптон Р. Диффузия и дрейф электронов в газах. М.: Мир, 1974. 672 с.
- [5] Смирнов Б. М. Ионы и возбужденные атомы в плазме. М.: Атомиздат, 1974. 456 с.
- [6] Аверин А. П., Басов Н. Г. и др. // Квантовая электрон. 1982. Т. 9. № 12. С. 2357—2358.
- [7] Сыркин В. Г. Карбонилы металлов. М.: Химия, 1983. 198 с.

Поступило в Редакцию
19 декабря 1988 г.

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОР: АППАРАТНАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ НЕОСЕВЫХ ИСТОЧНИКАХ

В. А. Горелик, А. А. Николаев

В настоящей работе проведен расчет аппаратных функций двухступенчатого цилиндрического зеркального энергоанализатора (ДСЦЗА) с системой предварительного торможения в виде сферических сеток [1]. Рассмотрены ДСЦЗА с точечными неосевыми источниками при

различных степенях торможения заряженных частиц. Цель работы состояла в том, чтобы оценить точность регистрации спектров в различных экспериментальных условиях. Расчет аппаратных функций проведен методом Монте—Карло [2].

Половина продольного сечения системы предварительного торможения и начальный участок траектории электрона, испущенного точечным источником S_1 ($OS_1=d_1$), показаны на рис. 1. Экранирующая сетка 1 имеет радиус r_1 и находится под потенциалом земли, тормозящая сетка 2 имеет радиус r_2 и находится под потенциалом V_2 внутреннего цилиндра.

Направление вылета электрона задается двумя углами θ_1 и φ_1 , которые отсчитываются от осей z и x системы координат xuz . Ось z совпадает с осью ДСЦЗА, ось x проходит через точку испускания электронов. Центр сферических сеток находится в начале координат. θ_1 — угол между осью z и вектором начальной скорости электрона, φ_1 — угол между осью x и проекцией вектора начальной скорости на плоскость xoy . Выбор таких углов удобен для машинного счета, поскольку для точечного изотропного источника величины φ_1 и $\cos \theta_1$ распределены равномерно в интервалах $(0; 2\pi)$ и $(-1; 1)$ соответственно. В силу симметрии задачи использовались интервалы $(0; \pi)$ и $(0; 1)$.

Движение электрона в сферическом тормозящем поле происходит в плоскости, положение которой определено вектором начальной скорости и центром сферических сеток. С момента вылета электрона из сферического поля до влета в пространство между цилиндрами электрон движется в бесполовом пространстве по прямой траектории. Пересечение этой прямой с осью x дает точку S . Таким образом, можно считать, что электрон вылетает из этой точки в направлении, определяемом углами θ и φ (имеющими тот же смысл, что θ_1 и φ_1), и движется без отклонения в сферическом поле. Это позволяет перейти к уже решенной задаче о движении неаксиального электрона в поле ЦЗА [3]. Значения d ($d=OS$), θ и φ определяются формулами

$$\begin{aligned} d &= \pm r_2 \sin \gamma_2 / \sin \theta, \\ \cos \varphi &= \cos \varphi_2 / \sin \theta, \\ \cos \theta &= \cos \theta_1 \sin \tilde{\varphi}_2 / \sin \varphi_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_2 &= \tilde{\varphi}_1 \pm (\gamma_2 - \gamma_1 + \omega), \\ \cos \tilde{\varphi}_1 &= \sin \theta_1 \cos \varphi_1, \\ \sin \gamma_2 &= r_1 \sin \gamma_1 M^{1/2} / r_2, \\ \sin \gamma_1 &= d_1 \sin \tilde{\varphi}_1 / r_1, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= \arccos \{ (r_1 \sin^2 \gamma_1 / r_2 - q) / [q^2 + (1 - 2q) \sin^2 \gamma_1]^{1/2} \} - \\ &\quad - \arccos \{ (\sin^2 \gamma_1 - q) / [q^2 + (1 - 2q) \sin^2 \gamma_1]^{1/2} \}, \\ q &= 2M(1 - r_1/r_2)/(M - 1), \end{aligned} \quad (2)$$

M — число, показывающее во сколько раз заторможены электроны.

В формулах (1) и (2) необходимо брать знак плюс, если $0 \leq \varphi_1 < \pi/2$, и знак минус, если $\pi/2 < \varphi_1 < \pi$. Дальнейший расчет проводится по формулам работы [3]. Аппаратная функция $T(k)$ анализатора определялась как доля электронов, достигших коллектора от большого числа (1000) электронов, испущенных источником по всевозможным направлениям в телесный угол 2π с одинаковой приведенной энергией $k=E \ln(b/a)(V_3 - V_2)$. Здесь E — энергия электронов, прошедших тормозящее поле; V_3 — потенциал внешнего цилиндра; a и b — радиусы внутреннего и внешнего цилиндров соответственно.

На рис. 2, 3 приведены результаты машинного счета для ДСЦЗА со следующей геометрией. Радиусы экранирующей и тормозящей сеток равны 0.96 и 1.097. Координаты четырех окон во внутреннем цилиндре 0.9 и 1.38; 4.98 и 5.1; 6.89 и 7.45; 10.76 и 11.1. На выходе первой ступени ($z=6.02$) помещена дырчатая диафрагма с радиусом 0.037; на выходе второй ступени ($z=11.85$) помещена кольцеобразная диафрагма с радиусом 0.16. Классический ДСЦЗА с диапазоном входных углов $\pm 6^\circ$ имеет ширину щели кольцеобразной диафрагмы 0.07 и обеспечивает базовое энергетическое разрешение $R=0.6\%$. В данной работе рассмотрен ДСЦЗА с переменным энергетическим разрешением, которое регулируется изменением ширины щели кольцеобразной диафрагмы. Результаты, приведенные на рис. 2, 3, соответ-

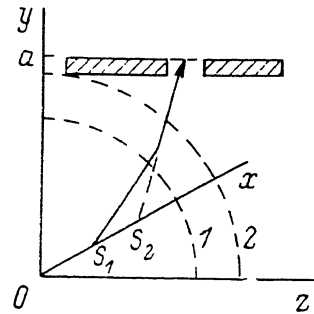


Рис. 1.

ствуют ширине щели 0.013 ($R=0.25\%$). Все геометрические параметры выражены в единицах внешнего радиуса внутреннего цилиндра ДСЦЗА, т. е. $a=1$.

При удалении точечного источника от оси анализатора и сохранении постоянным коэффициента торможения происходят уменьшение величины максимума аппаратной функции и ее сдвиг по шкале энергии (рис. 2). Подобный же эффект имеет место, если увеличивать степень торможения при фиксированном расстоянии от источника до оси анализатора (рис. 3).

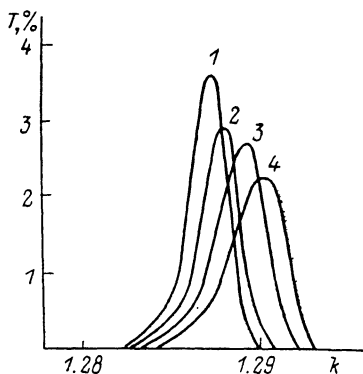
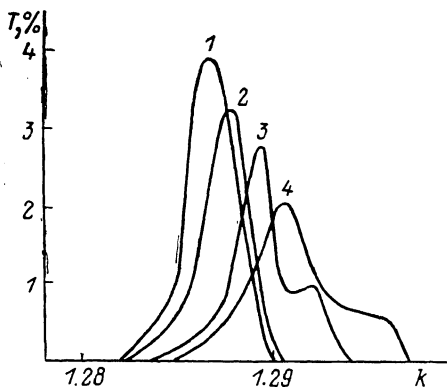


Рис. 2. Аппаратные функции ДСЦЗА с точечным источником при $M=10$ и различных d_1/a .
1 — 0, 2 — 0.003, 3 — 0.006, 4 — 0.009.

Рис. 3. Аппаратные функции ДСЦЗА с точечным источником при $d_1/a=0.003$ и различных M .
1 — 1, 2 — 10, 3 — 20, 4 — 30.

Аналогичные зависимости имеют место и для неточечного гауссова источника при росте его радиуса и увеличении степени торможения. Во всех выше перечисленных случаях наблюдаются уширение аппаратной функции и ее сдвиг в сторону больших энергий. При сильных степенях торможения или больших размерах источника это может полностью нивелировать выигрыш в разрешении от использования предварительного торможения.

Выводы

1. В отличие от обычного цилиндрического зеркального анализатора в ДСЦЗА при удалении источника от оси анализатора происходит не только искажение аппаратной функции, но и ее сдвиг в сторону больших энергий. Это может привести к существенным ошибкам при определении соответствующих энергий связи.

2. При использовании неточечных источников (например, в рентгеноэлектронной спектроскопии) также происходит искажение формы аппаратной функции и ее сдвиг в сторону больших энергий. Если принять за критерий допустимых искажений уширение аппаратной функции вдвое, то предельный диаметр источника D и степень торможения M определяются из условия $DM^{1/2} \leq D_0$, где D_0 — диаметр дырочной диафрагмы на выходе первой ступени.

Список литературы

- [1] Palmberg P. W. // Vac. Sci. and Technology. 1975. Vol. 12. № 1. P. 37—39.
- [2] Горелик В. А., Машинский Ю. П., Пиковская Т. М. и др. // ПТЭ. 1979. № 1. С. 38—41.
- [3] Василевский К. В., Горелик В. А., Протопопов О. Д. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 9. С. 1802—1804.

Поступило в Редакцию
9 января 1989 г.

—