

## ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ИОНОВ В ПРОСТЫХ ВЕЩЕСТВАХ. I. БЫСТРЫЕ ИОНЫ

**Д. К. Ковшов**  
РФЯЦ-ВНИИЭФ

Предложена функция для аппроксимации электронных потерь энергии иона.  
Найдены средние энергии ионизации простых веществ от  $H_2$  до U.

### Введение

Ион, проходящий сквозь вещество, испытывает столкновения с его частицами и в этих столкновениях теряет энергию. Величина энергии, потерянной на единице пути, является одной из главных характеристик прохождения частицы через вещество. Знать ее необходимо во многих прикладных задачах, среди которых: расчет радиационных повреждений, в том числе в реакторах; различные методы обработки материалов при помощи ионных пучков (ионное плавление, ионное травление и др.); ионное легирование полупроводников; пучковый нагрев плазмы; различные методы исследования материалов при помощи ионных пучков (спектроскопия обратного рассеяния, спектроскопия вторичных ионов и др.); корпускулярная диагностика плазмы; разработка детекторов частиц.

К нынешнему времени накоплен большой объем экспериментальных данных о потерях энергии ионов. Они обобщены в книгах [123, 139, 140, 156]; теория изложена в [153, 200]. Однако с момента выхода этих монографий прошло 20–30 лет, появились новые экспериментальные данные, которые зачастую расходятся с данными упомянутых книг. По-видимому, пришло время для нового обобщающего исследования. Работы в этом направлении ведутся, но пока ограничиваются отдельными частицами в отдельных веществах [235, 267] либо отдельными энергетическими областями [202, 216].

Нам удалось получить общую полуэмпирическую формулу, описывающую потери энергии ионов в простых веществах в зависимости от вещества, от иона и от его энергии в широком диапазоне изменения этих аргументов. Настоящая статья открывает серию публикаций, посвященных полученным результатам. В ней дана библиография, описана функция потерь  $S(E)$  и приведены результаты, относящиеся к быстрым ионам.

### Экспериментальные данные

В табл. 1 перечислены (в хронологическом порядке для каждого элемента) источники данных, использованные в данной работе.

Таблица 1

#### Библиография экспериментальных работ

Вещество	Литература
$H_2$	[11, 19, 21, 26, 43, 44, 46, 51, 66, 82, 105, 106, 128, 133, 144, 148, 180, 206, 211, 234, 238, 256, 272]
He	[11, 19, 21, 26, 46, 49, 82, 90, 105, 108, 125, 128, 144, 148, 169, 180, 233, 234, 238, 245, 246, 256, 272]
Li	[1, 7, 20, 29, 253]
Be	[3, 7, 15, 18, 29, 32, 50, 69, 71, 76, 83, 95, 163, 165, 170, 176, 179, 212, 232, 251]
B	[45]
C (аморфный)	[7, 39, 42, 47, 54–57, 70, 80, 83, 92, 95, 97, 119, 126, 127, 147, 149, 157, 163, 165, 168, 169, 171, 175, 181, 190, 195, 197, 198, 205, 212, 228, 232, 236, 239, 250, 251, 257, 258, 261, 263, 269, 271]
$N_2$	[11, 21, 22, 26, 46, 48, 72, 82, 100, 106, 127, 133, 144, 148, 180, 210, 234, 256, 272]
$O_2$	[11, 21, 26, 100, 106, 133, 148, 169, 180, 210]
Ne	[11, 21, 22, 26, 100, 105, 108, 144, 148, 180, 234, 245, 246, 256, 272]
Na	[170]
Mg	[95, 170]
Al	[2, 7, 9, 15, 18, 23, 29, 37, 39, 41, 48, 54–56, 63, 65, 68, 69, 71, 73, 75, 76, 87, 92, 95, 97, 103, 111, 114, 117, 119, 131, 134, 137, 142, 147, 149, 157, 163, 165, 170, 171, 175, 176, 179, 186, 190, 195, 198, 212, 214, 217, 220, 221, 226, 228, 232, 236, 239, 241, 242, 251, 252, 254, 259, 261, 265, 269, 270, 271]

Вещество	Литература
Si	[33, 78, 102, 111, 112, 115, 116, 119, 152, 161, 165, 168, 171, 175, 190, 191, 198, 212, 215, 216, 231, 232, 237, 240, 243, 270]
Cl <sub>2</sub>	[193]
Ar	[11, 19, 21, 22, 26, 41, 46, 48, 72, 82, 90, 100, 105, 108, 127, 144, 169, 180, 233, 234, 245, 256]
Ca	[29, 32, 70, 84]
Sc	[84]
Ti	[32, 50, 84, 95, 97, 104, 130, 134, 138, 163, 166, 168, 171, 176, 186, 189, 190, 212, 217, 230, 254, 268, 269]
V	[29, 32, 50, 79, 84, 95, 111, 130, 168, 175, 176, 186, 189, 230, 254]
Cr	[29, 55, 84, 95, 96, 130, 168, 175]
Mn	[25, 29, 84, 95, 96, 130, 168]
Fe	[2, 7, 29, 32, 84, 95, 96, 111, 130, 138, 154, 168, 175, 176, 186, 230, 254]
Co	[29, 50, 84, 95, 96, 111, 130, 168, 175, 176, 230, 254, 266]
Ni	[2, 14, 22, 28, 29, 32, 37, 39, 48, 50, 56, 60, 65, 73, 84, 87, 95–97, 109–111, 130, 131, 138, 149, 163, 166–168, 171, 175, 176, 186, 190, 198, 212, 217, 222, 230, 232, 254, 266, 271]
Cu	[2, 4, 14, 15, 18, 22, 24, 25, 28, 29, 32, 50, 69, 71, 75, 76, 84, 95–97, 110, 111, 117, 124, 130, 134, 138, 142, 147, 154, 157, 163, 168, 175, 176, 183, 188, 194, 212, 214, 221, 230, 236, 241, 248, 249, 251, 252, 254, 260, 261, 269]
Zn	[2, 29, 32, 84, 130, 168, 175, 176, 186, 254, 259, 260]
Ge	[25, 89, 95, 109, 111, 130, 147, 168, 175, 230]
Se	[25, 87, 118]
Br <sub>2</sub> (газ)	[193]
Kr	[11, 21, 22, 26, 48, 82, 90, 100, 105, 108, 144, 148, 180, 234, 245, 256, 272]
Y	[109, 118]
Zr	[33, 94, 118, 163, 168, 186, 196, 254, 270]
Nb	[28, 32, 118, 154, 168, 217, 230, 254, 269]
Mo	[2, 32, 111, 118, 168, 176, 230, 254]
Rh	[32, 119, 168, 176]
Pd	[28, 32, 95, 186, 196, 230, 266]
Ag	[4, 7, 15, 25, 28, 32, 34, 37, 39, 41, 50, 56, 60, 65, 69, 71, 73, 75–77, 87, 92, 95, 109, 110, 117, 122, 124, 137, 138, 142, 147, 149, 154, 155, 157, 163, 166, 168, 171, 175, 176, 179, 190, 194, 198, 212, 214, 217, 225, 230, 232, 236, 241, 242, 248, 252, 254, 269]
Cd	[28, 32, 168, 196]
In	[28, 32, 95, 111, 168, 196, 266]
Sn	[7, 25, 32, 95, 110, 147, 168, 176, 204, 217]
Sb	[25, 111, 118, 121, 242]
Te	[111, 118, 168]
Xe	[11, 21, 22, 26, 48, 90, 108, 144, 148, 180, 234, 245, 256]
La	[118, 158, 182]
Ce	[158]
Pr	[158]
Nd	[136, 182]
Gd	[94, 111, 158, 217, 255, 266]
Tb	[75, 182]
Dy	[118, 136, 158, 182]
Ho	[158]
Er	[135, 136, 158]
Tm	[75]
Yb	[158]
Lu	[182, 266]
Hf	[111, 119, 230, 254]
Ta	[2, 4, 28, 29, 32, 50, 94, 111, 118, 134, 163, 168, 176, 182, 212, 217, 219, 230, 236, 254, 266]
W	[7, 32, 50, 111, 118, 119, 230, 254]
Re	[182, 230, 254]
Ir	[32, 50, 111, 163, 182]
Pt	[2, 28, 32, 71, 111, 154, 176, 182, 217, 226, 230, 254]
Au	[5, 15, 18, 25, 28, 29, 32–34, 36, 37, 39, 41, 50, 56, 60, 65, 69–71, 73, 75–77, 87, 92, 101, 109–111, 117, 118, 122, 124, 131, 137, 138, 142, 145, 146, 149, 154, 155, 157, 159, 160, 162, 163, 166–168, 171–173, 175, 176, 182, 190, 192, 194, 198, 203, 212, 213, 217, 219, 226, 227, 230, 232, 236, 241, 242, 248, 252, 254, 259]
Pb	[7, 25, 29, 32, 111, 117, 168, 196, 204, 217, 228, 251, 264]
Bi	[4, 15, 25, 147, 163, 182, 217, 242]
Th	[4, 28, 32]
U	[7, 33, 117, 163]

## Функция потерь энергии

Для каждой комбинации «вещество + падающая частица» зависимость электронных потерь энергии от энергии иона была аппроксимирована функцией единого вида

$$S_3(E) = \begin{cases} S_{\max} f_{\uparrow}(\sqrt{E/E_{\max}}, h_{\uparrow}), & 0 \leq E < E_{\max}; \\ S_{\text{Гр}} + (S_{\max} - S_{\text{Гр}}) f_{\downarrow}\left(\frac{\ln(E/E_{\text{Гр}})}{\ln(E_{\max}/E_{\text{Гр}})}, h_{\downarrow}\right), & E_{\max} \leq E < E_{\text{Гр}}; \\ \frac{\alpha^2 \Sigma_E Z^2 Z_0}{2E} \frac{(c^2 + E)^2}{c^2 + E/2} \ln \frac{4m_e E}{I_0}, & E_{\text{Гр}} \leq E \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $S_3$  – электронные потери энергии в единицах эВ·см<sup>2</sup>/атом;  $Z_0$  и  $Z$  – атомные номера вещества и иона;  $E$  – энергия иона (на 1 нуклон);  $E_{\max}$  и  $S_{\max}$  – положение и величина максимума потерь;  $E_{\text{Гр}}$  – граница применимости формулы Бете;  $I_0$  – средняя энергия ионизации вещества;  $c$  – скорость света,  $c^2 = 931$  МэВ/а.е.м.;  $\alpha = 1/137$ ;  $\Sigma_E = 4\pi\hbar^2/m_e = 1,534 \cdot 10^{-37}$  Дж·м<sup>2</sup> =  $9,577 \cdot 10^{-15}$  эВ·см<sup>2</sup> – константа.

Функции  $f_{\uparrow}(x, h)$  и  $f_{\downarrow}(x, h)$  не имеют физического смысла, они лишь осуществляют интерполяцию на отрезках  $[0; E_{\max}]$ , соответственно  $[E_{\max}; E_{\text{Гр}}]$ ; они должны удовлетворять условиям: а) при  $h = \text{const}$  и  $x$ , возрастающем от 0 до 1,  $f$  монотонно возрастает от 0 до 1; б)  $(\partial f / \partial x)_{x=0} = h$ ; в)  $(\partial f / \partial x)_{x=1} = 0$ . Исходя из этих условий, методом проб были подобраны выражения

$$f_{\uparrow}(x, h) = \frac{hx}{1 + (h-2)x + x^2}; \quad f_{\downarrow}(x, h) = \frac{hx(1-x/2)}{1 + (h-2)x(1-x/2)}. \quad (2)$$

Величина  $h_{\uparrow}$  пропорциональна коэффициенту торможения медленного иона  $k_3 = \left(dS_3/d\sqrt{E}\right)_{E=0}$ :

$$h_{\uparrow} = \frac{\sqrt{E_{\max}}}{S_{\max}} k_3. \quad (3)$$

Наконец,  $S_{\text{Гр}}$  и  $h_{\downarrow}$  заданы условиями непрерывности и гладкости при  $E = E_{\text{Гр}}$ :

$$S_{\text{Гр}} = \frac{\alpha^2 \Sigma_E Z^2 Z_0}{2E_{\text{Гр}}} \frac{(c^2 + E_{\text{Гр}})^2}{c^2 + E_{\text{Гр}}/2} \ln \frac{4m_e E_{\text{Гр}}}{I_0}, \quad (4)$$

$$h_{\downarrow} = \frac{\alpha^2 \Sigma_E Z^2 Z_0}{2E_{\text{Гр}}} \frac{c^2 + E_{\text{Гр}}}{c^2 + E_{\text{Гр}}/2} \left( c^2 + E_{\text{Гр}} - \frac{c^4}{c^2 + E_{\text{Гр}}/2} \ln \frac{4m_e E_{\text{Гр}}}{I_0} \right) \frac{\ln(E_{\max}/E_{\text{Гр}})}{S_{\max} - S_{\text{Гр}}}. \quad (5)$$

Величины  $k_3$ ,  $E_{\max}$ ,  $S_{\max}$ ,  $E_{\text{Гр}}$  и  $I_0$  служат параметрами аппроксимации. Они зависят от вещества и частицы ( $I_0$  – только от вещества).

Согласно разбиению энергетической шкалы на характерные области по Линдхарду [98],  $I_0$  относится к области быстрых ионов;  $E_{\text{Гр}}$ ,  $E_{\max}$  и  $S_{\max}$  – к промежуточной области;  $k_3$  – к области медленных ионов. В этой статье рассматривается только область быстрых ионов; двум остальным областям посвящены последующие статьи II и III.

## Средняя энергия ионизации

Когда скорость иона велика по сравнению с характерными скоростями электронов в атоме, его потери энергии описываются известной формулой Бете (см., например, [139, 140, 153]), единственным параметром которой является средняя энергия ионизации  $I_0$ . Ее значения, полученные в результате аппроксимации данных, приведены в табл. 2. Для веществ, относительно которых данные о торможении быстрых ионов отсутствуют, значения  $I_0$  были найдены интерполяцией (приведены в скобках).

## Средняя энергия ионизации

Вещество	$I_0$ , эВ
H <sub>2</sub>	17, 7±1, 9
He	38±4
Li	51±7
Be	70±6
B	68±11
C (аморф.)	84±6
N <sub>2</sub>	97±6
O <sub>2</sub>	116±9
F <sub>2</sub>	(131)
Ne	154±13
Na	(161)
Mg	(174)
Al	184±8
Si	193±11
P	(205)
S	(211)
Cl <sub>2</sub>	(217)
Ar	226±13
K	(222)
Ca	203±15
Sc	240±40
Ti	265±15
V	257±27
Cr	280±40
Mn	300±30
Fe	330±40
Co	340±50
Ni	358±17
Cu	384±16
Zn	390±50
Ga	(374)

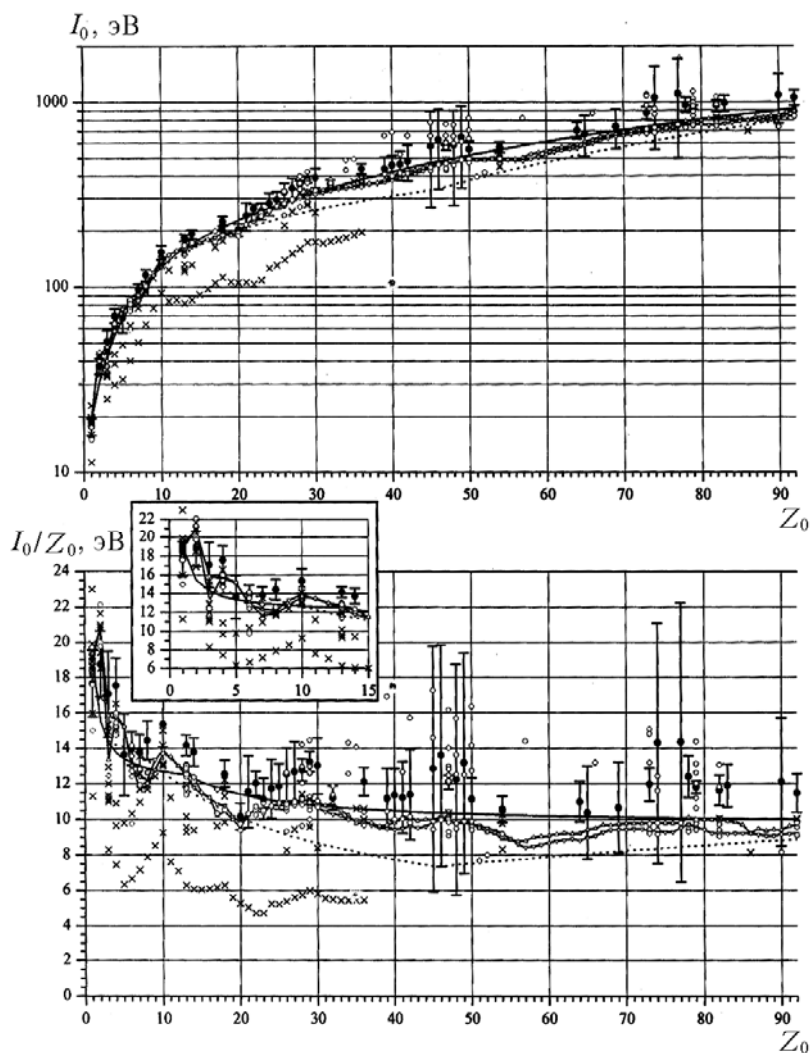
Вещество	$I_0$ , эВ
Ge	359±21
As	(378)
Se	380±40
Br <sub>2</sub> (газ)	(396)
Kr	436±28
Rb	(430)
Sr	(454)
Y	440±70
Zr	460±60
Nb	460±80
Mo	480±110
Tc	(525)
Ru	(536)
Rh	580±310
Pd	630±290
Ag	568±19
Cd	590±310
In	650±300
Sn	560±60
Sb	(575)
Te	(579)
I <sub>2</sub>	(583)
Xe	570±40
Cs	(593)
Ba	(599)
La	(605)
Ce	(613)
Pr	(621)
Nd	(631)
Pm	(641)
Sm	(652)

Вещество	$I_0$ , эВ
Eu	(664)
Gd	700±70
Tb	680±170
Dy	(707)
Ho	(724)
Er	690±110
Tm	740±180
Yb	(782)
Lu	(804)
Hf	(828)
Ta	870±70
W	1060±500
Re	(872)
Os	(883)
Ir	1110±610
Pt	970±90
Au	934±26
Hg	(930)
Tl	(941)
Pb	950±70
Bi	990±100
Po	(976)
At	(988)
Rn	(999)
Fr	(1011)
Ra	(1023)
Ac	(1034)
Th	1090±320
Pa	(1058)
U	1060±100

Зависимость  $I_0(Z_0)$  близка к монотонной, но отношение  $I_0/Z_0$  осциллирует (см. рисунок). У него наблюдаются максимумы при  $Z_0 \approx 10; 28 \div 30; 36 \div 47$  и минимумы при  $Z_0 \approx 5 \div 7; 20; 32 \div 34; 54$ . Амплитуда осцилляций убывает с ростом  $Z_0$ , и начиная с  $Z_0 \approx 50$  можно считать это отношение постоянным:  $I_0/Z_0 = K = 11, 6 \pm 0, 3$  эВ. Это значение константы Блоха  $K$  согласуется с теоретическими и экспериментальными оценками [2, 16, 30, 118, 139].

Для проверки полученные результаты были сопоставлены с результатами многочисленных работ, посвященных нахождению  $I_0$ . Рисунок свидетельствует о согласии наших значений с экспериментальными результатами, тогда как результаты теоретических расчетов заметно занижены.

Большой разброс экспериментальных значений отчасти обусловлен тем, что разные авторы, определяя  $I_0$ , принимали во внимание разные поправки к формуле Бете, а это сильно влияет на результат (см. [40, 120, 203, 262]). Средние энергии ионизации, полученные в данной работе, предназначены для использования в формуле Бете без поправок.



Средняя энергия ионизации: ● — данная работа; — — по Баркашу и Бергеру [52]; ..... — по Мухерджи [132]; ▽ — по Андерсену и Циглеру [139]; ▲ — значения, рекомендованные МКРЕ [187]; ○ — экспериментальные значения [2, 6–10, 12, 13, 17, 23, 27, 31, 32, 35, 40, 46, 53, 62, 81, 85, 91, 99, 105, 117, 118, 143, 150, 164, 176, 180, 185, 196, 204, 207, 208, 218, 221, 247, 268]; × — расчетные значения [16, 38, 58, 59, 61, 64, 67, 74, 88, 86, 93, 107, 113, 129, 141, 151, 174, 177, 178, 184, 199, 201, 209, 223, 224, 229, 244]

### Список литературы

1. Haworth L. J., King L. D. P. // Phys. Rev. 1938. Vol. 54, No. 1. P. 48–50.
2. Wilson R. R. // Phys. Rev. 1941. Vol. 60, No. 11. P. 749–753.
3. Madsen C. B., Venkateswarlu P. // Phys. Rev. 1948. Vol. 74, No. 12. P. 1782–1784.
4. Kelly E. L. // Phys. Rev. 1949. Vol. 75, No. 7. P. 1006–1007.
5. Huus T., Madsen C. B. // Phys. Rev. 1949. Vol. 76, No. 2. P. 323.
6. Warsaw S. D. // Phys. Rev. 1949. Vol. 76, No. 12. P. 1759–1765.
7. Bakker C. J., Segre E. // Phys. Rev. 1951. Vol. 81, No. 4. P. 489–492.
8. Bloembergen N., van Heerden P. J. // Phys. Rev. 1951. Vol. 83, No. 3. P. 561–566.
9. Sachs D. C., Richardson J. R. // Phys. Rev. 1951. Vol. 83, No. 4. P. 834–837.
10. Mather R., Segre E. // Phys. Rev. 1951. Vol. 84, No. 2. P. 191–193.
11. Dunbar D.N.F., Reynolds H. K., Wenzel W. A., Whaling W. // Bull. Am. Phys. Soc. 1952. Vol. 27, No. 6. P. 6.
12. Hubbard E. L., MacKenzie K. R. // Phys. Rev. 1952. Vol. 85, No. 1. P. 107–111.
13. Preiss J. W., Pollard E. // Phys. Rev. 1952. Vol. 86, No. 4. P. 612.
14. Chilton A. B., Cooper J. N., Harris J. C. // Bull. Am. Phys. Soc. 1953. Vol. 28. P. 71.
15. Madsen C. B. // Dan. Mat. Fys. Medd. 1953. Bd. 27, nr. 13.
16. Lindhard J., Scharff M. // Dan. Mat. Fys. Medd. 1953. Bd. 27, nr. 15.
17. Sachs D. C., Richardson J. R. // Phys. Rev. 1953. Vol. 89, No. 6. P. 1163–1164.
18. Kahn D. // Phys. Rev. 1953. Vol. 90, No. 4. P. 503–509.

19. Weyl P. K. // Phys. Rev. 1953. Vol. 91, No. 2. P. 289–296.
20. Warters W. D., Fowler W.A., Lauritsen C. C. // Phys. Rev. 1953. Vol. 91, No. 4. P. 917–921.
21. Reynolds H. K., Dunbar D. N. F., Wenzel W. A., Whaling W. // Phys. Rev. 1953. Vol. 92, No. 3. P. 742–748.
22. Chilton A. B., Cooper J. N., Harris J. C. // Phys. Rev. 1954. Vol. 93, No. 3. P. 413–418.
23. Caldwell D. O., Richardson J. R. // Phys. Rev. 1954. Vol. 94, No. 1. P. 79.
24. Heinz O. // Phys. Rev. 1954. Vol. 94, No. 6. P. 1728–1731.
25. Green D. W., Cooper J. N., Harris J. C. // Phys. Rev. 1955. Vol. 98, No. 2. P. 466–470.
26. Brolley J. E., Jr., Ribe F. L. // Phys. Rev. 1955. Vol. 98, No. 4. P. 1112–1117.
27. Caldwell D. O. // Phys. Rev. 1955. Vol. 100, No. 1. P. 291–294.
28. Sonett C. P., MacKenzie K. R. // Phys. Rev. 1955. Vol. 100, No. 2. P. 734–737.
29. Bader M., Pixley R. E., Mozer F. S., Whaling W. // Phys. Rev. 1956. Vol. 103, No. 1. P. 32–38.
30. Brandt W. // Phys. Rev. 1956. Vol. 104, No. 3. P. 691–693.
31. Bichsel H., Mozley R. F., Aron W. A. // Phys. Rev. 1957. Vol. 105, No. 6. P. 1788–1795.
32. Burkig V. C., MacKenzie K. R. // Phys. Rev. 1957. Vol. 106, No. 5. P. 848–851.
33. Garin A., Faraggi H. // J.Physique Rad. 1958. T.19, <sup>1</sup>1. P. 76–78.
34. Stelson P. H., McGowan F. K. // Phys. Rev. 1958. Vol. 110, No. 2. P. 489–506.
35. Зрелов В. П., Столетов Г. Д. // ЖЭТФ. 1959. Т. 36. Вып. 3. С. 658–668.
36. Lorents D. C., Zimmerman E. J. // Phys. Rev. 1959. Vol. 113, No. 5. P. 1199–1203.
37. Porat D. I., Ramavataram K. // Proc.Roy.Soc. A. 1959. Vol. 252, No. 1270. P. 394–410.
38. Dalgarno A. // Proc. Phys. Soc. 1960. Vol. 76, No. 489. P. 422–424.
39. Porat D. I., Ramavataram K. // Proc. Phys. Soc. 1961. Vol. 77, No. 493. P. 97–102.
40. Barkas W. H., von Friesen S. // Suppl. Nuovo Cimento. 1961. Vol. 19, n.1. P. 41–62.
41. Теплова Я. А., Николаев В. С., Дмитриев И. С., Фатеева Л. Н.// ЖЭТФ. 1962. Т. 42. Вып. 1. С. 44–60.
42. Van Wijngaarden A., Duckworth H.E. // Can. J. Phys. 1962. Vol. 40, No. 12. P. 1749–1764.
43. Allison S. K., Cuevas J., Garcia-Munoz M. // Phys. Rev. 1962. Vol. 127, No. 3. P. 792–798.
44. Huberman M. N. // Phys. Rev. 1962. Vol. 127, No. 3. P. 799–804.
45. Overley J. C., Whaling W. // Phys. Rev. 1962. Vol. 128, No. 1. P. 315–324.
46. Martin F. W., Northcliffe L. C. // Phys. Rev. 1962. Vol. 128, No. 3. P. 1166–1174.
47. Ormrod J. H., Duckworth H. E. // Can. J. Phys. 1963. Vol. 41, No. 9. P. 1424–1442.
48. Wolke R. L., Bishop W. N., Eichler E. et al. // Phys. Rev. 1963. Vol. 129, No. 6. P. 2591–2596.
49. Park J. T., Zimmerman E. J. // Phys. Rev. 1963. Vol. 131, No. 4. P. 1611–1618.
50. Nakano G. H., MacKenzie K. R., Bichsel H. // Phys. Rev. 1963. Vol. 132, No. 1. P. 291–293.
51. Cuevas J., Garcia-Munoz M., Torres P., Allison S. K. // Phys. Rev. 1964. Vol. 135, No. 2A. P. 335–345.
52. Barkas W. H., Berger M. J. // NAS–NRC Publ. No. 1133. 1964. P. 103.
53. Bichsel H., Tschalar C. // Bull.Am.Phys.Soc. 1965. Vol. 10, No. 6. P. 723.
54. Ormrod J. H., Macdonald J. R., Duckworth H. E. // Can.J.Phys. 1965. Vol. 43, No. 2. P. 275–284.
55. Moorhead R. D. // J. Appl. Phys. 1965. Vol. 36, No. 2. P. 391–395.
56. Booth W., Grant I. S. // Nucl. Phys. 1965. Vol. 63, No. 3. P. 481–495.
57. Sautter C. A., Zimmerman E. J. // Phys. Rev. 1965. Vol. 140, No. 2A. P. 490–498.
58. Dalgarno A., Williams D. A. // Proc. Phys. Soc. 1965. Vol. 85, No. 546. P. 685–689.
59. Bell R. J., Dalgarno A. // Proc. Phys. Soc. 1965. Vol. 86, No. 550. P. 375–377.
60. Barker P. H., Phillips W. R. // Proc. Phys. Soc. 1965. Vol. 86, No. 550. P. 379–385.
61. Chan Y. M., Dalgarno A. // Proc. Phys. Soc. 1965. Vol. 86, No. 552. P. 777–782.
62. Василевский И. М., Прокошкин Ю. Д. // ЯФ. 1966. Т. 4. С. 549–555.
63. Andersen H. H., Garfinkel A. F., Hanke C., Sorensen H. // Dan. Mat. Fys. Medd. 1966. Bd.35, nr. 4.
64. Garcia J. D. // Phys. Rev. 1966. Vol. 147, No. 1. P. 66–68.
65. Comfort J. R., Decker J. F., Lynk E. T. et al. // Phys. Rev. 1966. Vol. 150, No. 1. P. 249–256.
66. Palmer R. B. J. // Proc. Phys. Soc. 1966. Vol. 87, No. 557. P. 681–688.
67. Bell R. J., Dalgarno A. // Proc. Phys. Soc. 1966. Vol. 89, No. 563. P. 55–57.
68. White W., Mueller R. M. // J. Appl. Phys. 1967. Vol. 38, No. 9. P. 3660–3662.
69. Morita K., Akimune H., Suita T. // J. Phys. Soc. Japan. 1967. Vol. 22, No. 6. P. 1503.
70. Gorodetzky S., Chevallier A., Pape A. et al. // Nucl.Phys. A. 1967. Vol. 91, No. 1. P. 133–144.
71. Andersen H. H., Hanke C. C., Sorensen H., Vajda P. // Phys. Rev. 1967. Vol. 153, No. 2. P. 338–342.
72. Ormrod J.H. // Can. J. Phys. 1968. Vol. 46, No. 6. P. 497–502.
73. Nakata H. // Can. J. Phys. 1968. Vol. 46, No. 24. P. 2765–2769.
74. Stacey G. M., Dalgarno A. // J.Chem.Phys. 1968. Vol. 48, No. 6. P. 2515–2518.
75. Tran Minh Duc, Demeyer A., Tousset J., Chery R. // J. Phys. (Paris). 1968. Vol. 29, No. 2–3. P. 129–135.
76. Morita K., Akimune H., Suita T. // J. Phys. Soc. Japan. 1968. Vol. 25, No. 6. P. 1525–1532.
77. Armitage B. H., Hooton B. W. // Nucl. Instr. Meth. 1968. Vol. 58, No. 1. P. 29–38.

78. Mannami M., Fujimoto F., Ozawa K. // *Phys. Lett. A.* 1968. Vol. 26, No. 5. P. 201–202.
79. Powers D., Chu W. K., Bourland P. D. // *Phys. Rev.* 1968. Vol. 165, No. 2. P. 376–387.
80. Hvelplund P., Fastrup B. // *Phys. Rev.* 1968. Vol. 165, No. 2. P. 408–414.
81. Johnson C. H., Kernell R. L. // *Phys. Rev.* 1968. Vol. 169, No. 4. P. 974–977.
82. Pierce T. E., Blann M. // *Phys. Rev.* 1968. Vol. 173, No. 2. P. 390–405.
83. Chu W. K., Bourland P. D., Wang K. H., Powers D. // *Phys. Rev.* 1968. Vol. 175, No. 2. P. 342–353.
84. Andersen H. H., Hanke C. C., Simonsen H. et al. // *Phys. Rev.* 1968. Vol. 175, No. 2. P. 389–395.
85. Tschalar C., Bichsel H. // *Phys. Rev.* 1968. Vol. 175, No. 2. P. 476–478.
86. Ермилова В. К., Котенко Л. П., Мерзон Г. И., Чечин В. А. // *ЖЭТФ.* 1969. Т. 56. Вып. 5. С. 1608–1618.
87. Nakata H. // *Can. J. Phys.* 1969. Vol. 47, No. 22. P. 2545–2552.
88. Victor G. A., Dalgarno A. // *J. Chem. Phys.* 1969. Vol. 50, No. 6. P. 2535–2539.
89. Gorodetzky S., Pape A., Cooperman E. L. et al. // *Nucl. Instr. Meth.* 1969. Vol. 70, No. 1. P. 11–12.
90. Ramirez J. J., Prior R. M., Swint J. B. et al. // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 179, No. 2. P. 310–314.
91. Andersen H. H., Sorensen H., Vajda P. // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 180, No. 2. P. 373–380.
92. Kalish R., Grodzins L., Chmara F., Rose P. H. // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 183, No. 2. P. 431–435.
93. Kamikawai R., Watanabe T., Amemiya A. // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 184, No. 2. P. 303–311.
94. Andersen H. H., Simonsen H., Sorensen H., Vajda P. // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 186, No. 2. P. 372–375.
95. Chu W. K., Powers D. // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 187, No. 2. P. 478–490.
96. White W., Mueller R. M. // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 187, No. 2. P. 499–503.
97. Bernhard F., Muller-Jahreis U., Rockstroh G., Schwabe S. // *Phys. Stat. Sol.* 1969. Vol. 35, No. 1. P. 285–289.
98. Lindhard J. // *Proc. Roy. Soc. A.* 1969. Vol. 311, No. 1504. P. 11–19.
99. Turner J. E., Roeklein P. D., Vora R. B. // *Health Phys.* 1970. Vol. 18, No. 2. P. 159–160.
100. Swint J. B., Prior R. M., Ramirez J. J. // *Nucl. Instr. Meth.* 1970. Vol. 80, No. 1. P. 134–140.
101. Van Wijngaarden A., Miremadi B., Baylis W. E. // *Can. J. Phys.* 1971. Vol. 49, No. 19. P. 2440–2448.
102. Thompson D. A., Mackintosh W. D. // *J. Appl. Phys.* 1971. Vol. 42, No. 10. P. 3969–3976.
103. Sykes D. A., Harris S. J. // *Nucl. Instr. Meth.* 1971. Vol. 94, No. 1. P. 39–43.
104. Ormrod J. H. // *Nucl. Instr. Meth.* 1971. Vol. 95, No. 1. P. 49–51.
105. Bonderup E., Hvelplund P. // *Phys. Rev. A.* 1971. Vol. 4, No. 2. P. 562–569.
106. Bourland P. D., Chu W. K., Powers D. // *Phys. Rev. B.* 1971. Vol. 3, No. 11. P. 3625–3635.
107. Sternheimer R. M., Peierls R.F. // *Phys. Rev. B.* 1971. Vol. 3, No. 11. P. 3681–3692.
108. Chu W. K., Powers D. // *Phys. Rev. B.* 1971. Vol. 4, No. 1. P. 10–15.
109. Ward D., Graham R. L., Geiger J. S. // *Can. J. Phys.* 1972. Vol. 50, No. 19. P. 2302–2312.
110. Valenzuela A., Meckbach W., Kestelman A. J., Eckardt J. C. // *Phys. Rev. B.* 1972. Vol. 6, No. 1. P. 95–102.
111. Chu W. K., Ziegler J. F., Mitchell I. V., Mackintosh W.D. // *Appl. Phys. Lett.* 1973. Vol. 22, No. 9. P. 437–439.
112. Ziegler J. F., Brodsky M. H. // *J. Appl. Phys.* 1973. Vol. 44, No. 1. P. 188–196.
113. Ford A. L., Browne J. C. // *Phys. Rev. A.* 1973. Vol. 7, No. 2. P. 418–426.
114. Shane K. C., Seaman G. G. // *Phys. Rev. B.* 1973. Vol. 8, No. 1. P. 86–89.
115. Sellers B., Hanser F. A., Kelley J. G. // *Phys. Rev. B.* 1973. Vol. 8, No. 1. P. 98–102.
116. Kelley J. G., Sellers B., Hanser F. A. // *Phys. Rev. B.* 1973. Vol. 8, No. 1. P. 103–106.
117. Sorensen H., Andersen H.H. // *Phys. Rev. B.* 1973. Vol. 8, No. 5. P. 1854–1863.
118. Lin W.K., Olson H.G., Powers D. // *Phys. Rev. B.* 1973. Vol. 8, No. 5. P. 1881–1888.
119. Baglin J. E. E., Ziegler J. F. // *J. Appl. Phys.* 1974. Vol. 45, No. 3. P. 1413–1415.
120. Porter L.E., Shepard C.L. // *Nucl. Instr. Meth.* 1974. Vol. 117, No. 1. P. 1–4.
121. Nakata H. // *Phys. Rev. B.* 1974. Vol. 9, No. 11. P. 4654–4659.
122. Lin W. K., Matteson S., Powers D. // *Phys. Rev. B.* 1974. Vol. 10, No. 9. P. 3746–3755.
123. Пучеров Н. Н., Романовский С. В., Чеснокова Т. Д. Таблицы массовой тормозной способности и пробегов заряженных частиц с энергией 1–100 МэВ. Киев: Наукова думка, 1975.
124. Nomura A., Kiyono S. // *J. Phys. D.* 1975. Vol. 8, No. 13. P. 1551–1559.
125. Martini V. // *Nucl. Instr. Meth.* 1975. Vol. 124, No. 1. P. 119–124.
126. Ophel T. R., Kerr G. W. // *Nucl. Instr. Meth.* 1975. Vol. 128, No. 1. P. 149–155.
127. Efken B., Hahn D., Hilscher D., Wustefeld G. // *Nucl. Instr. Meth.* 1975. Vol. 129, No. 1. P. 219–225.
128. Brendle M., Gugel F., Steidle G. // *Nucl. Instr. Meth.* 1975. Vol. 130, No. 1. P. 253–256.
129. Dehmer J. L., Inokuti M., Saxon R. P. // *Phys. Rev. A.* 1975. Vol. 12, No. 1. P. 102–121.
130. Simons D. G., Land D. J., Brennan J. G., Brown M. D. // *Phys. Rev. A.* 1975. Vol. 12, No. 6. P. 2383–2392.
131. Harris J. M., Nicolet M.-A. // *Phys. Rev. B.* 1975. Vol. 11, No. 3. P. 1013–1019.
132. Mukherji S. // *Phys. Rev. B.* 1975. Vol. 12, No. 9. P. 3530–3532.
133. Langley R. A. // *Phys. Rev. B.* 1975. Vol. 12, No. 9. P. 3575–3583.
134. Pietsch W., Hauser U., Neuwirth W. // *Nucl. Instr. Meth.* 1976. Vol. 132. P. 79–87.
135. Langley R. A., Blewer R. S. // *Nucl. Instr. Meth.* 1976. Vol. 132. P. 109–117.

136. Varley G., Willmott J. C., Kearns F. // Nucl. Instr. Meth. 1976. Vol. 135, No. 1. P. 167–172.
137. Strittmatter R. B., Wehring B. W. // Nucl. Instr. Meth. 1976. Vol. 135, No. 1. P. 173–177.
138. Forster J. S., Ward D., Andrews H. R. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1976. Vol. 136, No. 2. P. 349–359.
139. Andersen H. H., Ziegler J. F. Hydrogen Stopping Powers and Ranges in All Elements. (The Stopping and Ranges of Ions in Matter. Vol. 3.) N.Y.: Pergamon Press, 1977.
140. Ziegler J. F. Helium: Stopping Powers and Ranges in All Elemental Matter. (The Stopping and Ranges of Ions in Matter. Vol. 4.) N. Y.: Pergamon Press, 1977.
141. Zeiss G. D., Meath W. J., MacDonald J. C. F., Dawson D. J. // Can. J. Phys. 1977. Vol. 55, No. 23. P. 2080–2100.
142. Andersen H. H., Bak J. F., Knudsen H., Nielsen B. R. // Phys. Rev. A. 1977. Vol. 16, No. 5. P. 1929–1940.
143. Porter L. E. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 148, No. 1. P. 119–123.
144. Andersen H. H., Besenbacher F., Knudsen H. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 149, No. 1–3. P. 121–127.
145. Semrad D., Bauer P. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 149, No. 1–3. P. 159–161.
146. Matteson S., Harris J. M., Pretorius R., Nicolet M.-A. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 149, No. 1–3. P. 163–167.
147. Rud N., Bottiger J., Jensen P. S. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 151, No. 1–2. P. 247–252.
148. Hanke C., Laursen J. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 151, No. 1–2. P. 253–260.
149. Bimbot R., Della Negra S., Gardes D. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 153, No. 1. P. 161–169.
150. Porter L. E. // Nucl. Instr. Meth. 1978. Vol. 157, No. 2. P. 333–338.
151. Inokuti M., Baer T., Dehmer J. L. // Phys. Rev. A. 1978. Vol. 17, No. 3. P. 1229–1231.
152. Camera A., Della Mea G., Drigo A. V. et al. // Phys. Rev. B. 1978. Vol. 17, No. 9. P. 3492–3500.
153. Кумахов М. А., Комаров Ф. Ф. Энергетические потери и пробеги ионов в твердых телах. Минск: Наука и техника, 1979.
154. Biersack J. P., Fink D., Henkelmann R. A., Muller K. // J. Nucl. Mater. 1979. Vol. 85/86. P. 1165–1171.
155. Fontell A., Luomajarvi M. // Phys. Rev. B. 1979. Vol. 19, No. 1. P. 159–162.
156. Ziegler J. F. Handbook of Stopping Cross-Sections for Energetic Ions in All Elements. (The Stopping and Ranges of Ions in Matter. Vol. 5.) N. Y.: Pergamon Press, 1980.
157. Mertens P., Krist Th. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 168, No. 1–3. P. 33–39.
158. Knudsen H., Andersen H. H., Martini V. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 168, No. 1–3. P. 41–50.
159. Blume R., Eckstein W., Verbeek H. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 168, No. 1–3. P. 57–62.
160. Thompson D.A., Poehlman W.F.S. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 168, No. 1–3. P. 63–68.
161. Demond F. J., Kalbitzer S., Mannsperger H., Muller G. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 168, No. 1–3. P. 69–74.
162. Keaton P. W., Jr., Peercy P. S., Doyle B. L., Maggiore C. J. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 168, No. 1–3. P. 187–190.
163. Bimbot R., Gardes D., Geissel H. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 174, No. 1–2. P. 231–236.
164. Porter L. E., Bryan S. R. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 178, No. 1. P. 227–231.
165. Santry D. C., Werner R. D. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 178, No. 2–3. P. 523–530.
166. Santry D. C., Werner R. D. // Nucl. Instr. Meth. 1980. Vol. 178, No. 2–3. P. 531–537.
167. Ribas R. V., Seale W. A., Roney W. M., Szanto E. M. // Phys. Rev. A. 1980. Vol. 21, No. 4. P. 1173–1176.
168. Land D. J., Simons D. G., Brennan J. G., Brown M. D. // Phys. Rev. A. 1980. Vol. 22, No. 1. P. 68–75.
169. Чеснокова Т. Д., Пучеров Н. Н., Борзаковский А. Е. // Укр. физ. ж. 1981. Т. 26, № 4. С. 602–605.
170. Муминов А. И., Акилов Ф. С. // ЯФ. 1981. Т. 34. Вып. 1(7). С.13–20.
171. Santry D. C., Werner R. D. // Nucl. Instr. Meth. 1981. Vol. 188, No. 1. P. 211–216.
172. Stoquert J. P., Oberlin J. C., Heitz C. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1981. Vol. 188, No. 1. P. 249–251.
173. Andersen H.H., Nielsen B.R. // Nucl.Instr.Meth. 1981. Vol. 191, No. 1–3. P. 475–478.
174. Wilson J. W., Kamaratos E. // Phys. Lett. A. 1981. Vol. 85, No. 1. P. 27–29.
175. Mertens P., Krist Th. // Nucl. Instr. Meth. 1982. Vol. 194, No. 1–3. P. 57–60.
176. Ishiwari R., Shiomi N., Sakamoto N. // Nucl. Instr. Meth. 1982. Vol. 194, No. 1–3. P. 61–65.
177. Wilson J. W., Xu Y. J. // Phys. Lett. A. 1982. Vol. 90, No. 5. P. 253–255.
178. Kamaratos E., Chang C. K., Wilson J. W., Xu Y. J. // Phys. Lett. A. 1982. Vol. 92, No. 7. P. 363–365.
179. Ishiwari R., Shiomi N., Sakamoto N. // Phys. Rev. A. 1982. Vol. 25, No. 5. P. 2524–2528.
180. Baumgart H., Arnold W., Berg H. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1983. Vol. 204, No. 2–3. P. 597–604.
181. Lennard W. N., Andrews H. R., Dube B. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1983. Vol. 205, No. 1–2. P. 351–357.
182. Krist Th., Mertens P. // Nucl. Instr. Meth. 1983. Vol. 218, No. 1–3. P. 790–794.
183. Sakamoto N., Shiomi N., Ishiwari R. // Phys. Rev. A. 1983. Vol. 27, No. 2. P. 810–815.
184. McGuire E. J. // Phys. Rev. A. 1983. Vol. 28, No. 1. P. 49–52.
185. McGuire E. J. // Phys. Rev. A. 1983. Vol. 28, No. 1. P. 53–56.
186. Ribas R. V., Seale W. A., Rao M. N. // Phys. Rev. A. 1983. Vol. 28, No. 6. P. 3234–3237.
187. Stopping Powers For Electrons and Positrons: ICRU Report 37. Bethesda: ICRU Publ., 1984.



*Рус. перевод:* Тормозная способность электронов и позитронов: Доклад 37 МКРЕ: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1987.

188. Bauer P., Aumayr F., Semrad D., Scherzer B. M. U. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 1, No. 1. P. 1–8.
189. Haight R. C., Vonach H. K. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 1, No. 1. P. 9–12.
190. Santry D. C., Werner R. D. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 1, No. 1. P. 13–15.
191. Hancock S., James F., Movchet J. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 1, No. 1. P. 16–22.
192. Ishiwari R., Shiomi N., Sakamoto N. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 2, No. 1–3. P. 141–144.
193. Baumgart H., Berg H., Huttel E. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 2, No. 1–3. P. 145–148.
194. Bauer P., Semrad D., Golser R. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 2, No. 1–3. P. 149–152.
195. Eckardt J. C., Lantschner G. H., Jakas M. M., Ponce V. H. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 2, No. 1–3. P. 168–172.
196. Ishiwari R., Shiomi N., Sakamoto N. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 2, No. 1–3. P. 195–198.
197. Shima K., Ishihara T., Mikumo T. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 2, No. 1–3. P. 222–226.
198. Santry D. C., Werner R. D. // Nucl. Instr. Meth. B. 1984. Vol. 5, No. 3. P. 449–454.
199. Kamaratos E. // Phys. Lett. A. 1984. Vol. 104, No. 8. P. 419–422.
200. Ziegler J. F., Biersack J. P., Littmark U. *The Stopping and Range of Ions in Solids. (The Stopping and Ranges of Ions in Matter. Vol. 1.)* N.Y.: Pergamon Press, 1985.
201. Kamaratos E. // J. Appl. Phys. 1985. Vol. 57, No. 7. P. 2366–2369.
202. Xia Yue-yuan, Tan Chun-yu // Nucl. Instr. Meth. B. 1986. Vol. 13, No. 1–3. P. 100–106.
203. Shiomi N., Sakamoto N., Shima K. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1986. Vol. 13, No. 1–3. P. 107–110.
204. Sakamoto N., Shiomi N., Ogawa H., Ishiwari R. // Nucl. Instr. Meth. B. 1986. Vol. 13, No. 1–3. P. 115–118.
205. Krist Th., Scanlon P. J., Mertens P. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1986. Vol. 14, No. 2. P. 179–185.
206. Geyer E., Reschke D., Freitag K. // Nucl. Instr. Meth. B. 1986. Vol. 15, No. 1–6. P. 81–85.
207. Bichsel H., Inokuti M., Smith D. Y. // Phys. Rev. A. 1986. Vol. 33, No. 5. P. 3567–3571.
208. McGuire E. J. // Phys. Rev. A. 1986. Vol. 33, No. 5. P. 3572–3574.
209. Geertsen J., Oddershede J., Sabin J. R. // Phys. Rev. A. 1986. Vol. 34, No. 2. P. 1104–1111.
210. Reiter G., Baumgart H., Kniest N. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1987. Vol. 27, No. 2. P. 287–292.
211. Freitag K., Reschke D., Geyer E. // Nucl. Instr. Meth. B. 1987. Vol. 27, No. 2. P. 344–352.
212. Gauvin H., Bimbot R., Herault J. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1987. Vol. 28, No. 2. P. 191–194.
213. Heckman H. H., Bowman H. R., Karant Y. I. et al. // Phys. Rev. A. 1987. Vol. 36, No. 8. P. 3654–3668.
214. Lantschner G. H., Eckardt J. C., Jakas M. M. et al. // Phys. Rev. A. 1987. Vol. 36, No. 10. P. 4667–4671.
215. Mertens P., Bauer P. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 33, No. 1–4. P. 133–137.
216. Tan Chunyu, Xia Yueyuan, Yong Hong et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 33, No. 1–4. P. 142–146.
217. Ogino K., Kiyosawa T., Kiuchi T. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 33, No. 1–4. P. 155–157.
218. Sakamoto N., Shiomi-Tsuda N., Ogawa H., Ishiwari R. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 33, No. 1–4. P. 158–162.
219. Kuronen A., Raisanen J., Keinonen J. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 35, No. 1. P. 1–6.
220. Eppacher Ch., Semrad D. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 35, No. 2. P. 109–117.
221. Ishiwari R., Shiomi-Tsuda N., Sakamoto N. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 35, No. 2. P. 118–129.
222. Rauhala E., Raisanen J. // Nucl. Instr. Meth. B. 1988. Vol. 35, No. 2. P. 130–134.
223. Sabin J. R., Oddershede J. // Phys. Rev. A. 1989. Vol. 39, No. 3. P. 1033–1040.
224. Oddershede J., Sabin J. R. // Phys. Rev. A. 1989. Vol. 39, No. 11. P. 5565–5571.
225. Shiomi-Tsuda N., Sakamoto N., Ogawa H., Ishiwari R. // Nucl. Instr. Meth. B. 1990. Vol. 48, No. 1–4. P. 61–64.
226. Schwab Th., Geissel H., Armbruster P. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1990. Vol. 48, No. 1–4. P. 69–74.
227. Sakamoto N., Ogawa H., Shiomi-Tsuda N., Ishiwari R. // Nucl. Instr. Meth. B. 1990. Vol. 48, No. 1–4. P. 75–78.
228. Blank B., Gaimard J.-J., Geissel H. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1990. Vol. 51, No. 1. P. 85–88.
229. Meltzer D. E., Sabin J. R., Trickey S. B. // Phys. Rev. A. 1990. Vol. 41, No. 1. P. 220–232.
230. Arstila K., Keinonen J., Tikkanen P. // Phys. Rev. B. 1990. Vol. 41, No. 10–A. P. 6117–6123.
231. Bentini G. G., Bianconi M., Nipoti R. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1991. Vol. 53, No. 1. P. 1–6.
232. Santry D. C., Werner R. D. // Nucl. Instr. Meth. B. 1991. Vol. 53, No. 1. P. 7–14.
233. Price J. L., Stern S. H., Simons D. G. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1991. Vol. 56/57, Pt.I. P. 348–351.
234. Herault J., Bimbot R., Gauvin H. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1991. Vol. 61, No. 2. P. 156–166.
235. Paul H., Semrad D., Seilinger A. // Nucl. Instr. Meth. B. 1991. Vol. 61, No. 3. P. 261–281.
236. Abdesselam M., Stoquert J. P., Guillaume G. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1991. Vol. 61, No. 4. P. 385–393.
237. Arstila K., Keinonen J., Tikkanen P., Kuronen A. // Phys. Rev. B. 1991. Vol. 43, No. 17. P. 13967–13970.
238. Golser R., Semrad D. // Phys. Rev. Lett. 1991. Vol. 66, No. 14. P. 1831–1833.
239. Abdesselam M., Stoquert J. P., Guillaume G. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1992. Vol. 72, No. 3–4. P. 293–301.
240. Svensson B. G., Ridgway M. C., Petravic M. // J. Appl. Phys. 1993. Vol. 73, No. 10. P. 4836–4840.
241. Abdesselam M., Stoquert J.P., Hage-Ali M. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1993. Vol. 73, No. 2. P. 115–122.

242. Valdes J. E., Martinez Tamayo G., Lantschner G. H. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1993. Vol. 73, No. 3. P. 313–318.
243. Niemann D., Oberschachtsiek P., Kalbitzer S., Zeindl H.P. // Nucl. Instr. Meth. B. 1993. Vol. 80/81, Pt.I. P. 37–40.
244. Sauer S. P. A., Sabin J. R., Oddershede J. // Phys. Rev. A. 1993. Vol. 47, No. 2. P. 1123–1129.
245. Price J. L., Simons D. G., Stern S. H. et al. // Phys. Rev. A. 1993. Vol. 47, No. 4–B. P. 2913–2918.
246. Schiefermuller A., Golser R., Stohl R., Semrad D. // Phys. Rev. A. 1993. Vol. 48, No. 6. P. 4467–4475.
247. Porter L. E. // Nucl. Instr. Meth. B. 1994. Vol. 88, No. 3. P. 211–212.
248. Bak H. J., Bae Y. D., Kim C. S., Kim M. S. // Nucl. Instr. Meth. B. 1994. Vol. 93, No. 3. P. 234–240.
249. Valdes J. E., Eckardt J. C., Lantschner G. H., Arista N. R. // Phys. Rev. A. 1994. Vol. 49, No. 2. P. 1083–1088.
250. Susuki Y., Fritz M., Kimura K. et al. // Phys. Rev. A. 1994. Vol. 50, No. 4. P. 3533–3536.
251. Scheidenberger C., Geissel H., Mikkelsen H. H. et al. // Phys. Rev.Lett. 1994. Vol. 73, No. 1. P. 50–53.
252. Ouichaoui S., Rosier L., Hourany E. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1995. Vol. 95, No. 4. P. 463–469.
253. Eppacher Ch., Diez Muino R., Semrad D., Arnau A. // Nucl. Instr. Meth. B. 1995. Vol. 96, No. 3–4. P. 639–642.
254. Arstila K., Keinonen J., Tikkanen P. // Nucl. Instr. Meth. B. 1995. Vol. 101, No. 4. P. 321–326.
255. Ribas R. V., Medina N. H., Rao M. N. et al. // Phys. Rev. A. 1995. Vol. 51, No. 3. P. 2634–2636.
256. Bimbot R., Barbey S., Benfoughal T. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1996. Vol. 107, No. 1–4. P. 9–14.
257. Frey C.M., Dollinger G., Bergmaier A. et al. // Nucl. Instr.Meth. B. 1996. Vol. 107, No. 1–4. P. 31–35.
258. Harikumar V., Pathak A. P., Sharma S.K. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1996. Vol. 108. P. 223.
259. Martinez-Tamayo G., Eckardt J. C., Lantschner G. H., Arista N. R. // Phys. Rev. A. 1996. Vol. 54, No. 4. P. 3131–3138.
260. Vakevainen K. // Nucl. Instr. Meth. B. 1997. Vol. 122, No. 2. P. 187–193.
261. Jokinen J. // Nucl. Instr. Meth. B. 1997. Vol. 124, No. 4. P. 447–452.
262. Shiomi-Tsuda N., Sakamoto N., Ogawa H. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1997. Vol. 129, No. 1. P. 1–4.
263. Harikumar V., Pathak A. P., Nath N. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1997. Vol. 129, No. 2. P. 143–146.
264. Brandolini F., Medina N. H., De Poli M. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 1997. Vol. 132, No. 1. P. 11–17.
265. Shen Yixiong, Lu Xiting, Xia Zonghuang et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 160, No. 1. P. 11–15.
266. Hu Bitao, Wu Ying, Zhang Xiaodong et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 160, No. 2. P. 195–202.
267. Paul H., Schinner A., Sigmund P. // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 164/165. P. 212–219.
268. Sakamoto N., Ogawa H., Tsuchida H. // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 164/165. P. 250–258.
269. Lu Xiting, Xia Zonghuang, Zheng Tao, Shen Yixiong // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 168, No. 3. P. 287–293.
270. Arstila K. // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 168, No. 4. P. 473–483.
271. Angulo C., Delbar Th., Graulich J.-S., Leleux P. // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 170, No. 1–2. P. 21–27.
272. Bimbot R., Khoumri A., Fahli A. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 2000. Vol. 170, No. 3–4. P. 329–335.

Статья поступила в редакцию 25.12.2004