

4529

Экз. чит. зала

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 4529



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗИЦИИ

И.К.Взоров

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОБЕГ-ЭНЕРГИЯ  
ДЛЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

1969

P1 - 4529

И.К.Взоров

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОБЕГ-ЭНЕРГИЯ  
ДЛЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

В предыдущей работе автора /1/ приводились эмпирические формулы, связывающие пробег быстрой тяжелой (тяжелее электрона) частицы в веществе с ее энергией:

$$R = a (\ln T)^b, \quad (1)$$

$$T = (c)^{R^{1/b}}, \quad (1')$$

$R$  - пробег, выраженный в г/см<sup>2</sup>;  $T$  - энергия в Мэв;  $a$ ,  $b$  и  $c$  - параметры, зависящие от атомного номера вещества.

Для протонов зависимостями (1) и (1') удается аппроксимировать имеющиеся табличные данные /2/ в широкой области энергий - от ~ 100 до ~ 10<sup>5</sup> Мэв с точностью несколько процентов.

Электроны, проходящие через вещество, теряют энергию на ионизацию и возбуждение атомных электронов так же, как это происходит с тяжелыми частицами. Однако в отличие от тяжелых частиц соударение падающего электрона с электроном или ядром тормозящей среды приводит к относительно большой потере энергии и значительному изменению направления движения. Путь электрона в веществе представляет собой ломаную линию, а пробеги электронов одинаковых энергий имеют значительный разброс. Отличие от тяжелых частиц заключается также в том, что потери энергии электронов обусловлены еще и другим механизмом - испусканием электромагнитного излучения в электрическом поле ядер тормозящего вещества. Радиационные потери тяжелых заряженных частиц пренебрежимо малы по сравнению с ионизационными. Для электронов же, особенно больших энергий ( $T > 2$  Мэв), движущихся

в тяжелых веществах, радиационные потери составляют значительную часть общих потерь энергии, а при очень больших энергиях — основную их долю.

Тем не менее, как и в случае протонов, торможение которых происходит лишь за счет ионизационных потерь, формулы (1) и (1') оказываются применимыми и к электронам, если их пробег вычислялся по формуле:

$$R = \int_0^T \left[ -\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right]^{-1} dE,$$

$$\frac{dE}{dx} = \left( \frac{dE}{dx} \right)_{\text{иониз.}} + \left( \frac{dE}{dx} \right)_{\text{радиц.}}$$

как это делалось, например, при составлении таблиц "пробег-энергия" электронов, приводимых в сборнике /3/. Эти табличные данные могут быть аппроксимированы зависимостями вида (1) и (1'), начиная, примерно от 20 Мэв и выше, вплоть до максимального значения энергии электронов, приводимого в таблицах /3/ — 1000 Мэв. При этом отклонения вычисляемых по формуле (1) значений  $R$  от соответствующих табличных значений не превышают 3-5%. При вычислениях  $T$  отклонения несколько больше —  $\leq 5-8\%$ . (В обоих случаях большие из указанных цифр относятся к границам области аппроксимации). Соответствующие значения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$ , определенные по методу наименьших квадратов, приведены в таблице I и, в свою очередь, могут быть аппроксимированы функциями от  $Z$  — атомного номера тормозящего вещества. Для единообразия вычислений параметры  $b$  и  $c$ , а также  $(a)^{-1}$  аппроксимировались зависимостями одинакового вида:

$$a \cdot e^{-\beta Z} + \gamma Z^{-\delta} \quad (2)$$

Значения постоянных  $a$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  для представления (2) каждого из параметров  $(a)^{-1}$ ,  $b$  и  $c$  для твердых веществ (от Li до U) и газообразных веществ (нейтральные газы, N, O) при нормальном давлении приведены в таблице II. Данные этой таблицы

ТАБЛИЦА I

Элемент	а	б	с	Элемент	а	б	с
1 H	0,0524	3,866	8,511	26 Fe	1,160	2,028	2,532
2 He	0,160	3,573	5,308	29 Cu	1,246	1,966	2,445
3 Li	0,268	3,382	4,377	36 Kr	1,296	1,887	2,390
4 Be	0,342	3,195	4,050	47 Ag	1,530	1,726	2,185
6 C	0,403	2,957	3,896	50 Sn	1,591	1,702	2,141
7 N	0,368	2,921	4,087	54 Xe	1,556	1,689	2,159
8 O	0,403	2,842	3,961	74 W	1,787	1,544	1,987
9 Ne	0,506	2,672	3,633	79 Au	1,798	1,522	1,978
12 Mg	0,665	2,517	3,240	82 Pb	1,796	1,516	1,973
13 Al	0,734	2,458	3,107	92 U	1,871	1,475	1,923
18 A	0,848	2,292	2,928				

ТАБЛИЦА II

Параметры	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	
Твердые вещества	$(\alpha)^{-1}$	3,366	0,1736	2,466	0,3407
	$b$	0,688	0,0550	3,434	0,1870
	$c$	1,893	0,0662	3,070	0,1021
Газообразные вещества при нормальном давлении	$(\alpha)^{-1}$	4,905	0,2178	4,261	0,4755
	$b$	1,117	0,0603	2,839	0,1355
	$c$	2,267	0,0969	3,915	0,1478

могут быть использованы при вычислении пробегов и энергий электронов в веществах с любым  $Z$ . Однако при этом следует иметь в виду, что погрешности вычисленных таким образом значений  $R$  и особенно  $T$  будут несколько больше (иногда вдвое), чем указанные выше, так как эти погрешности будут обусловлены уже не только приближенностью самой аппроксимации  $R$  и  $T$  формулами (1) и (1'), но и неточностью аппроксимации входящих в эти формулы параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  зависимостями вида (2).

В таблице III приводятся значения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  для ряда химических соединений и сложных веществ, используемых в экспериментах с быстрыми электронами.

## Л и т е р а т у р а

1. И.К. Взорев. Сообщение ОИЯИ P1-4442, Дубна 1969.
2. High Energy and Nuclear Physics Data Handbook, Rutherford High Energy Laboratory, Chilton (1963).
3. Penetration of Charged Particles in Matter, Natl. Acad. Sci. - Natl. Res. Council. Publ. 1133 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел

10 июня 1969 года.

ТАБЛИЦА III.

Соединение или вещество	$\alpha$	$\beta$	$\epsilon$
Вода	0,368	2,924	4,086
Воздух	0,382	2,891	4,035
CO <sub>2</sub>	0,382	2,888	4,034
Метан	0,183	3,287	5,340
Орг. стекло (люцит)	0,356	2,986	4,107
Полиэтилен	0,288	3,115	4,443
Полистирол	0,330	3,049	4,210
NaI	1,485	1,762	2,223
LiI	1,575	1,710	2,152
AgCl	1,369	1,833	2,321
AgBr	1,454	1,788	2,250
Стандартная фотоэмульсия	1,272	1,903	2,413
Мышечная ткань	0,370	2,927	4,068
Костное вещество	0,478	2,742	3,700