

С 344.7с

А-281

"XII-72

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 6676

4228/2-72



И. Адамчевский, К. Козловский, Я. Пиатковска,
З. Поляцкий, З.С.Стругальский

РАДИАЦИОННЫЕ ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ
И КРИТИЧЕСКИЕ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ И НЕКОТОРЫХ СЛОЖНЫХ ВЕЩЕСТВ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1972

13 - 6676

И. Адамчевский, К. Козловский, Я. Пиатковска,
З. Поляцкий, З.С.Стругальский

РАДИАЦИОННЫЕ ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ
И КРИТИЧЕСКИЕ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ И НЕКОТОРЫХ СЛОЖНЫХ ВЕЩЕСТВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. ВВЕДЕНИЕ

Радиационная единица длины l_0 была введена из соображений удобства при рассмотрении процессов, связанных с прохождением электронов и фотонов высоких энергий через вещество ^{/1/}. Сечения для процессов радиационного торможения электронов и образования электронно-позитронных пар гамма-квантами при столь больших энергиях, что имеет место полное экранирование кулоновского поля ядра атомными электронами ^{/2,3/}, отнесенные к радиационной единице длины, не зависят от химического состава вещества. При таких высоких энергиях поглощение гамма-квантов обусловлено, в основном, процессом образования пар, а энергетические потери электронов - радиационным торможением. Ионизационные потери электронов также удобно выражать не в единицах энергии, теряемой на 1 см пути, а в единицах энергии, теряемой на l_0 . Средняя энергия, теряемая электроном на l_0 -единице, обычно называется критической энергией. Можно показать, что энергия, теряемая электроном на радиацию в l_0 -единице, в среднем близка критической энергии ^{/3/}.

2. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

В результатах расчетов значений l_0 -единиц, проводимых разными авторами, имеются различия, достигающие 10-20%. Это, в основном, связано с разными приближениями при учете влияния полного экранирования в поле атомных электронов и неточностей борновского приближения.

2.1. Формула, используемая при вычислении радиационной единицы для химических элементов

Основное выражение, использованное для расчетов t_0 - единицы, следующее /4/

$$\frac{1}{t_0} = 4 \frac{N}{A} \alpha r_0^2 Z (Z + \xi) [L^{rad} - f(Z)], \quad /1/$$

где N - число Авогадро; A - атомный вес; $r_0 = \frac{e^2}{m_e c^2}$ - классический радиус электрона; $\alpha = \frac{e}{\hbar c} = \frac{1}{137}$; Z - атомный номер; ξ - поправка, учитывающая процессы, происходящие в полях атомных электронов; L^{rad} - поправка, учитывающая эффекты экранирования кулоновского поля ядра полем атомных электронов; $f(Z)$ - поправка, учитывающая неточности борновского приближения.

2.2. Формула, использованная при расчете радиационной единицы для сложных веществ

Для сложных веществ расчеты проводились согласно формуле /3/

$$\frac{1}{t_0} = 4 \alpha r_0^2 \sum_i n_i Z_i (Z_i + \xi) [L_i^{rad} - f(Z)], \quad /2/$$

где \sum_i - суммирование по всем элементам, входящим в данное вещество; n_i - число атомов данного элемента в 1 см^3 ; остальные обозначения - как в формуле /1/.

2.3. Формулы, использованные при расчете критических энергий для химических элементов и сложных веществ

Использовалось упрощенное выражение, которое дано в работе О.И.Довженко и А.А.Поманского /4/. Критическая энергия выражается формулой:

$$\epsilon = B \left(\frac{Z t_0}{A} \right)^a, \quad /3/$$

где $B = 2,66$; $a = 1,1$. В формуле учтен эффект плотности вещества. В случае сложных веществ вместо $\frac{Z}{A}$ в формулу /3/ подставляется так называемое эффективное $\left(\frac{Z}{A} \right)_{\text{эфф}}$:

$$\left(\frac{Z}{A} \right)_{\text{эфф}} = \sum_i P_i \frac{Z_i}{A_i} \quad /4/$$

где P_i - массовая концентрация i -элемента с данными Z_i и A_i .

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На основе приведенных выше формул были определены радиационные единицы длины и критические энергии почти для всех химических элементов и для многих сложных веществ, чаще всего используемых в опытах по излучению высоких энергий.

3.1. Радиационные единицы длины и критические энергии для химических элементов

В этой работе расчеты выполнены на основании результатов анализа, проведенного О.И.Довженко и А.А.Поманским /4/. С целью определения ξ для разных Z зависимость $\xi(Z)$ была представлена графически по данным для водорода, лития, азота, алюминия, железа, серебра, свинца. Для водорода $\xi = 1,16$; для свинца $\xi = 1,27$. Значения L^{rad} были взяты из зависимости L^{rad} от Z , представленной графически по данным для 17 элементов от водорода до свинца. Значения $f(Z)$ вычислялись согласно формуле /4/

$$f(Z) = a^2 \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{1}{\nu(a^2 - \nu^2)}, \quad /5/$$

где

$$a = Z \frac{e^2}{\hbar c} = Z \frac{1}{137}$$

На рис. 1 представлена зависимость значений t_0 от Z . Крестиками обозначены значения t_0 для некоторых Z , полученные в одной из последних работ /5/0. Максимальное значение ошибок в этой работе не больше 1% /5/.

На основании формул /3/ и данных из расчетов t_0 были определены критические энергии для химических элементов. Результат показан на рис. 2.

3.2. Радиационные единицы длины и критические энергии для сложных веществ

На основе формул /2/ и значений радиационных единиц длины для химических элементов рассчитывались значения t_0 для разных сложных веществ. Результаты даны в таблице I. В этой таблице приведены также значения критических энергий.

Литература

1. J. F. Carlson, J. R. Oppenheimer. *Phys. Rev.* 15, 220 (1937).
2. B. Rossi, K. Greisen. *Rev. Mod. Phys.* 13, 240 (1941).
3. С.З. Беленький. Лавинные процессы в космических лучах, Гостехиздат, Москва, 1948 г.
4. О.И. Довженко, А.А. Поманский. Труды ФИАН СССР, 26, 166 /1964/.
5. T. M. Knasel, *Nucl. Instr. Meth.* 83, 217 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел
18 августа 1972 года.

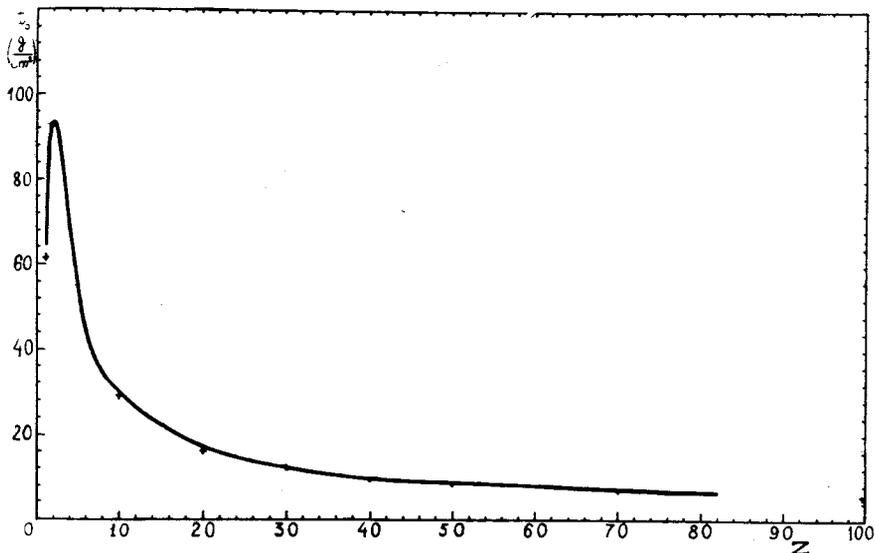


Рис. 1. Зависимость значений t_0 -единицы от атомного номера элемента Z . Крестиками обозначены значения t_0 -единиц, взятые из работы Т.М.Кнаслея^{/5/}.

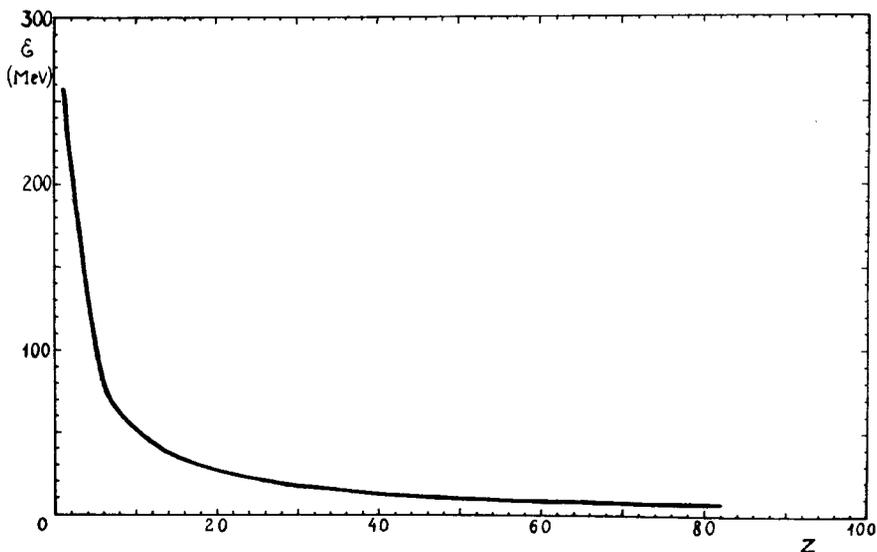


Рис. 2. Значения критической энергии ϵ для разных химических элементов.

Таблица I
Радиационные единицы дозы t_0 и критические энергии для
разных сложных веществ

Вещество	Плотность (г/см ³)	t_0		(Мэв)
		(см)	(г/см ²)	
NaJ	3,70	2,56	9,47	12,41
CsJ	4,50	1,90	8,55	10,80
KJ	3,13	3,06	9,58	12,77
CsBr	4,44	2,14	9,50	12,33
PbF ₂	8,20	0,81	6,64	8,71
Антрацен (C ₁₄ H ₁₀)	1,25	35,40	44,26	86,06
Стильбен (C ₁₄ H ₁₂)	1,16	38,31	44,44	86,34
Полистирол (C ₈ H ₈) _x	1,05-1,09	42,42-40,87	44,54-44,55	87,47
Нафталин (C ₁₀ H ₈)	1,14	38,92	44,36	85,92
Р-терфенил (C ₁₈ H ₁₄)	1,25	35,41	44,27	85,48
Свинцовое стекло ТФ-5: PbO -66%; SiO ₂ -31%; K ₂ O - 2,5% ; AgO ₃ -0,5%,	4,77	1,90	9,45	14,96
Циклогексан (C ₆ H ₁₂)	0,789	58,52	45,59	95,80
Толуол (C ₇ H ₈)	0,867	51,54	44,68	88,71
Бензол (C ₆ H ₆)	0,879	51,39	45,17	88,88
О-Ксилол (C ₈ H ₁₀)	0,880	50,97	44,86	89,79
Стирол (C ₈ H ₈)	0,907	49,11	44,56	87,56
Фенилциклогексан (C ₁₂ H ₁₆)	0,944	47,65	44,98	90,57
CCl ₄	1,59	12,40	19,73	29,06
Гексан (C ₆ H ₁₂)	0,659	69,21	45,608	97,64
Пропан (C ₃ H ₈)	0,44	104,96	46,18	100,72
CF ₃ Br	1,5	11,05	16,70	101,73
C ₂ F ₃ Cl ₃	1,59	15,25	24,19	43,22
CF ₂ Cl ₂	-	-	41,95	72,26
CF ₃ Cl	-	-	36,50	61,89