

4442

Экз. чит. зала

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 4442



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

И.К.Взоров

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ
ПРОБЕГ - ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ПРОТОНОВ
С ЭНЕРГИЯМИ 100 - 100000 МЭВ

1969

P1 - 4442

И.К.Взоров

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ
ПРОБЕГ - ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ПРОТОНОВ
С ЭНЕРГИЯМИ 100 - 100000 МЭВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Средний свободный пробег R частицы с кинетической энергией T определяется, как известно, выражением

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

где ρ - плотность среды, выраженная в г/см³, а $-\frac{dE}{dx}$ - средние ионизационные потери энергии, вычисляемые по формуле Бете-Блоха. Для частиц тяжелее электрона формула Бете-Блоха имеет вид:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi n z^2 e^4}{m \beta^2 c^2} \left[\ln \frac{2m \beta^2 c^2 W_{\max}}{I^2 (1-\beta^2)} - 2\beta^2 \delta - U \right], \quad (2)$$

Здесь n - число электронов в 1 см³ вещества; m - масса электрона;

$\beta = \frac{v}{c}$ (v - скорость частицы); z - заряд частицы; I - средний потенциал ионизации атомов среды; W_{\max} - максимальная энергия, передаваемая частицей атомным электронам; δ - поправка на эффект плотности, связанный с поляризацией среды; U - поправка, учитывающая уменьшение тормозной способности электронов за счёт их связи на K - и L -оболочках атомов при малых скоростях налетающей частицы.

Имеется значительное количество расчётных данных относительно ионизационных потерь и пробегов заряженных частиц разных энергий в различных веществах, сведенных в соответствующие таблицы (см., например, сборники/1-3/).

Однако пользоваться такими таблицами не всегда удобно (например, при обработке результатов измерений на ЭВМ), да и не всякий раз они есть под рукой. Поэтому представляется полезным найти аналитическую зависимость между пробегом и энергией частицы, с достаточной степенью точности аппроксимирующую имеющиеся табличные данные.

Для протонов с энергией от 2 до 200 Мэв такая зависимость имеет вид/4/:

$$T = a R^b, \quad (3)$$

причём от состава тормозящего вещества зависит только параметр a , а параметр $b \approx 0,574$ является универсальным.

В области энергий от 200 до 1000 Мэв соотношение (3) справедливо при значении $b = 0,656/4/$.

На основании этого заключения, в работе/5/ удалось аппроксимировать данные таблиц/3/ зависимостями

$$T = V R^{w+tR} \quad (4)$$

и

$$R = AT^{b+cT} \quad (4')$$

справедливыми (в пределах 10-15%) в области энергий протонов от 10 до 400 Мэв. $b = 1,748$; $c = -4,84 \cdot 10^{-5}$; $w = 0,572$ и $t = 1,2 \cdot 10^{-4}$ - универсальные для всех веществ постоянные, A и V зависят от Z - атомного номера вещества. Сведений о существовании подобного рода эмпирических зависимостей между пробегом частицы и ее энергией в

области еще больших энергий, где соотношения типа (3) и (4)-(4') теряют справедливость, в литературе нет.

В связи с этим ниже приводятся найденные автором зависимости между пробегом и энергией частиц, справедливые в широкой области энергий. Они имеют вид:

$$R = a (Z_n T)^b \quad (5)$$

$$T = (c) R^{4/b} \quad (5')$$

(R - в г/см^2 , T - в Мэв), где a, b и c - параметры, зависящие от атомного номера тормозящего вещества.

Для протонов выражениями вида (5) и (5') удается аппроксимировать данные приводимой в /1/ таблицы пробег - энергия, вычисленные Штернхеймером для наиболее часто встречающихся веществ (a для CH и CH_2 - Ричем и Мадеем), начиная примерно с энергии 100 Мэв вплоть до максимального, приводимого в таблице /1/ значения энергии - 100000 Мэв. При этом отклонения вычисляемых по формулам (5) и (5') значений R и T от соответствующих табличных величин составляют ~3-4%, лишь вблизи концов указанного интервала энергий протонов увеличиваясь до 5-7% (рис. 1). Соответствующие значения параметров a, b и c , определенные по методу наименьших квадратов, приведены в таблице.

Вещество	$a(10^{-6})$	b	c	$\bar{a}(10^{-6})$	\bar{c}
Be	4,18	9,50	39,78	6,20	37,32
C	4,22	9,44	40,70	5,64	38,84
Al	5,64	9,36	38,06	6,30	37,39
Cu	7,40	9,28	35,49	7,16	35,67
Pb	14,24	9,09	30,38	9,26	32,53
Воздух	5,88	9,27	39,06	5,56	39,41
CH	4,07	9,40	42,25	4,97	41,07
CH ₂	3,68	9,42	43,66	4,62	42,28

Поскольку параметр b меняется слабо (в пределах 9,1-9,5), то для оценок R и T с точностью, примерно в два раза худшей, чем указанная

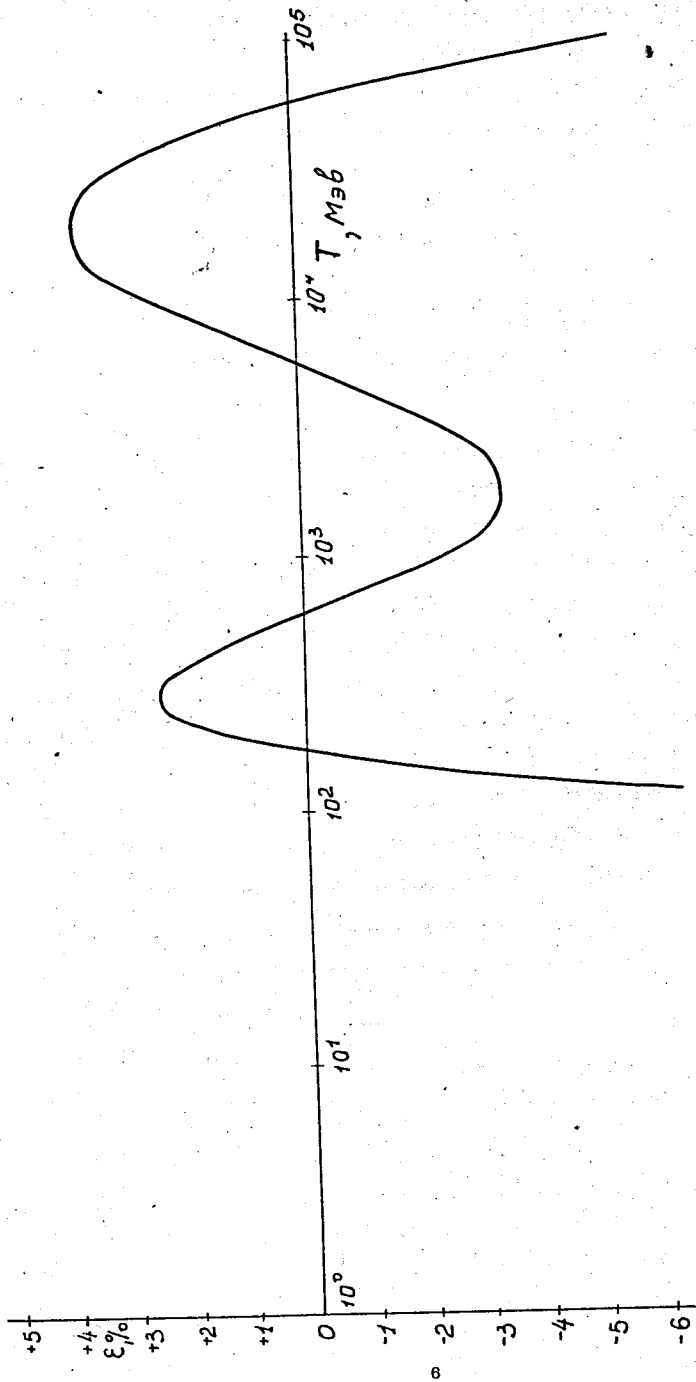


Рис. 1. Отклонения ϵ вычисленных по формуле (5) значений $R(T)$ для Рb от соответствующих табличных значений R . (Отклонения для остальных веществ меньше).

выше, его можно считать постоянным, приняв для всех веществ $\bar{b} = 9,30$. Получающиеся при этом значения параметров a и c , обозначенные \bar{a} и \bar{c} , приведены в пятом и шестом столбцах таблицы.

Значения пробегов быстрых протонов, вычисляемых по формуле (5), могут быть использованы для определения пробегов других частиц с помощью соотношения

$$R_1(T_1) = \frac{1}{z_1^2} \frac{m_1}{m_p} R_p\left(\frac{m_p}{m_1} T_1\right), \quad (6)$$

где R_1 и T_1 - соответственно пробег и энергия частицы с массой m_1 и зарядом z_1 , m_p - масса протона, $R_p\left(\frac{m_p}{m_1} T_1\right)$ - пробег протона, обладающего энергией $\frac{m_p}{m_1} T_1$. Таким образом, для μ -мезонов область применимости соотношений (5) и (5') составляет примерно 10-10000 Мэв, для π -мезонов - 15-15000 Мэв, для K -мезонов - примерно 50-50000 Мэв. Таблицы же пока что содержат данные по пробегам этих частиц до 5000 Мэв/2/.

Л и т е р а т у р а

1. *High Energy and Nuclear Physics Data Handbook, Rutherford High Energy Laboratory, Chilton (1963).*
2. *Penetration of Charged Particles in Matter, Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Council, Publ. 1133 (1964).*
3. *C.F. Williamson, J.P. Boujot, J. Picard, Raport CEA-R3042 (1966).*
4. *До Ин Себ. ЖЭТФ, 43, 121 (1962).*
5. *E. Barouch, Nucl. Instr. and Meth., 61, 113 (1968).*

Рукопись поступила в издательский отдел

22 апреля 1969 года.