

· 研究简报 ·

20eV~20 MeV 能量范围的电子射程-能量关系*

陈 燕 李冕丰 张纯祥

(物理学系)

摘 要

收集了20eV~20MeV能量范围内电子射程-能量关系的实验数据;考虑到测量方法、射程定义和靶材料的不同,对实验数据进行了数学处理;分别用幂函数和对数多项式拟合,给出20eV~20MeV能区内电子在铝中的射程-能量关系及其逆函数——能量-射程关系。

关键词 电子, 射程-能量关系, 能量-射程关系

在辐射防护、辐射剂量测量、辐射加工、辐射治疗以及放射生物学等工作中,都需要电子射程-能量关系。无论是 γ 射线或带电粒子,与物质相互作用时都会产生大量的二次电子。理论和实验都表明:入射带电粒子只有约五分之一的能量用于原激发和反冲损失,其余的大部份能量都给了二次电子,并由其携带传递到受辐照物质的一定空间范围。因此,带电粒子在物质中能量沉积的空间分布既与受辐照物质中二次电子的数目和能量分布有关,也与二次电子的射程有关。可见,电子的射程-能量关系在辐射研究中起着重要的作用。

已有许多研究者报道了关于电子射程-能量关系的实验数据及其拟合公式^[1~10]。但是,不同作者给出的电子射程-能量关系的实验数据相差很大,给出的拟合公式所适用的能量范围一般也比较窄。

为了获得宽能区内电子的射程-能量关系,我们首先对20eV~20MeV内的电子射程-能量数据进行数学处理,然后再用最小二乘法给出拟合函数。

1 实验数据的处理

以1keV~10keV这个能区的实验数据为基准,把由这个能区得到的各种关系外推到其它的能量,对它们进行归一化处理。

考虑到大多数作者给出的射程-能量数据是用透射法(T)在铝材料中测量得到的实用射程 R_p 值。故我们把所有数据都归一化为铝材料中的实用射程 R_p 。

1.1 不同吸收物质的归一化 归一化公式为

$$(Z_{Al}/A_{Al})R_{Al} = (Z/A)R \quad (1)$$

其中 Z_{Al} , A_{Al} , R_{Al} 和 Z , A , R 分别为铝材料和实际靶物质的电荷数、原子量以及相应的电子射程。

本文1989年3月1日收到

● 中山大学高等学术研究中心基金会资助项目,陈燕为1986级研究生

1.2 不同测量方法的归一化 在1keV~10keV的能区内,透射法和背散射法测得的射程-能量数据^[6,7]如图1所示。由图可见,在同一能量下,背散射法测得的射程值R(B)比透射法测得的射程值R(T)大。但两者得到的射程-能量关系lnR-lnE基本上平行。故我们采用归一化因子Q,将背散射法测量得到的射程值化为透射法相应的射程值

$$\ln R(T) = Q \cdot \ln R(B) \tag{2}$$

其中R(T)和R(B)分别为用透射法和背散射法测得的射程值, Q为由lnR(T)-lnE和lnR(B)-lnE曲线确定的归一化因子。

我们把由1keV~10keV能区得到的归一化换算法外推到20eV~20MeV整个能区。

1.3 不同射程定义的归一化 在不同作者给出的射程-能量数据中,采用不同定义的射程。各种定义的射程在透射曲线(或吸收曲线)上的表示如图2。图3给出了1keV~10keV能区内不同定义的射程值与能量的关系。作为粗略的近似,我们把所有非实用射程均化为实用射程R_p,即

$$\ln R = Q_i \cdot \ln R_i \tag{3}$$

其中Q_i为与射程R_i相应的换算因子。同样,把由1keV~10keV得到的换算法外推到20eV~20MeV整个能区。

通过对不同吸收材料、测量方法和不同射程定义的换算处理后,我们得到一组归一化的、能量区间为20eV~20MeV的电子射程-能量关系的数据。

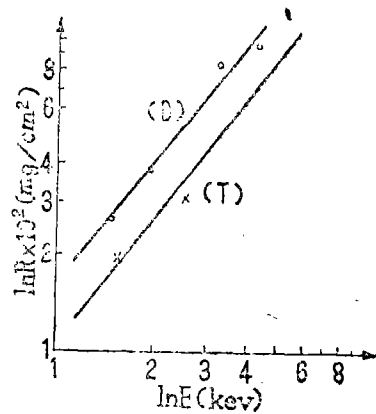


图1 透射法和背散射法射程-能量曲线的比较

Fig. 1 Comparison of range-energy relation determined by transmission method with that determined by backscattering method

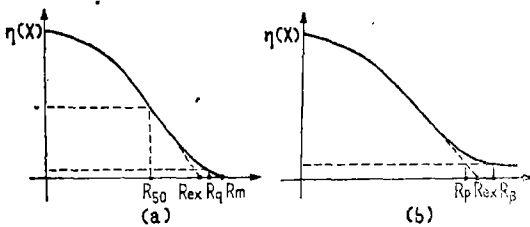


图2 (a)单能电子的透射曲线

(b)β射线的透射曲线

Fig.2 (a)The transmission curve for single-energy electron

(b)The transmission curve for beta-ray

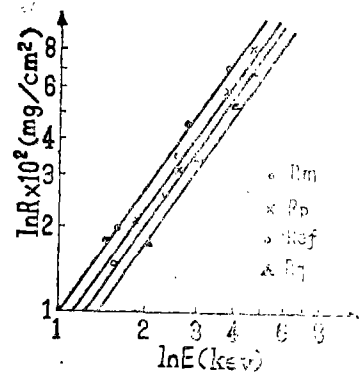


图3 不同定义的射程值与能量的关系

Fig.3 The range-energy relation for variety range

2 电子的射程-能量关系

关于电子在铝中的射程-能量关系, 对某个狭小的能区, 普遍采用幂函数形式:

$$R = k E^\alpha \tag{4}$$

其中 k 和 α 是拟合常数。

对于确定的靶, 一般取 α 和 k 为某一常数。例如, Katz 和 Fenfold^[4] 对 10 keV~250keV 能区内的数据拟合给出如下的关系

$$R = 412 E^\alpha, \quad \alpha = 1.265 - 0.0954 \ln E \tag{5}$$

其中 E 的单位是 MeV, R 的单位是 mg/cm^2 。

对于较宽的能区, 一般采用对数多项式的形式。例如, Gledhill^[10] 对 20eV~600keV 能区内的数据, 拟合得到的对数多项式为

$$\begin{aligned} \text{对 } 20\text{eV} < E < 100\text{keV} \\ \ln R = -5.100 + 1.358 \ln E + 0.215 (\ln E)^2 - 0.043 (\ln E)^3 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \text{对 } 100\text{keV} < E < 600\text{keV} \\ \ln R = -6.160 + 2.585 \ln E - 0.220 (\ln E)^2 \end{aligned} \tag{7}$$

其中 E 的单位是 keV, R 的单位是 g/cm^2 。

我们将 20eV~20MeV 能区内经归一化处理过的实验数据, 分别用幂函数和对数多项式进行最小二乘拟合, 得到如下的拟合函数

射程-能量关系

$$\begin{aligned} R &= 1.25 \times 10^{-2} \times E^{1.44} \\ \ln R &= -4.795 + 1.423 \ln E + 0.063 (\ln E)^2 \\ &\quad - 0.0065 (\ln E)^3 \end{aligned} \tag{8}$$

能量-射程关系

$$\begin{aligned} E &= 2.07 \times 10 \times R^{0.69} \\ \ln E &= 3.062 + 0.6018 \ln R - 0.0011 (\ln R)^2 \\ &\quad + 0.0015 (\ln R)^3 \end{aligned} \tag{9}$$

其中 E 的单位是 keV, R 的单位是 mg/cm^2 。

射程-能量关系曲线如图 4 所示。

与以往的工作相比, 本文给出的电子的射程-能量关系和能量-射程关系, 具有如下特点: ①公式简单, 适用的能量范围宽。在 20eV 至 20MeV 的整个能区内只用单一公式表示。②精度较高。在 20eV~20MeV 整个能区内, 除极个别点外, 射程-能量关系的计算值与实验值之差都小于 25%, 能量-射程关系的计算值与实验值之差都小于 10%。③拟合公式更适用于计算辐射在物质中的能量沉积。

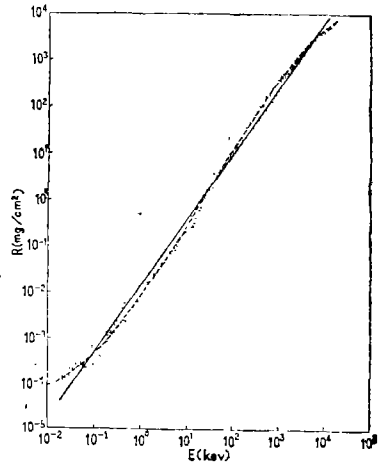


图 4 射程-能量关系曲线 (实线为幂函数, 虚线为对数多项式)

Fig.4 The range-energy relation (Full line: power function, Dotted line: logarithm polynomial)

参 考 文 献

- [1] Waligorski M P R et al., *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 11(1986), 309
- [2] Iskef H et al., *Phys. Med. Biol.*, 28(1983), 535
- [3] Kobetich E J et al., *Phys. Rew.*, 170(1968), 391
- [4] Katz R et al., *Rew. Mod. Phys.*, 24(1952), 28
- [5] Cosslott V E et al., *Brit. J. Appl. Phys.*, 15(1964), 1283
- [6] Young J R, *J. Appl. Phys.*, 27(1956), 1
- [7] Holliday J E et al., *J. Appl. Phys.*, 30(1959), 1428
- [8] Barrett J L et al., *J. Chem. Phys.*, 64(1976), 743
- [9] Adams A et al., *Phys. Rew. B.*, 22(1980), 4258
- [10] Gledhill J A, *J. Phys. A. Math. Nucl. Gen.*, 6(1973), 1420

The Range-Energy Relation for Electron from 20eV to 20MeV

Chen Yan* Li Mianfeng Zhang Chunxiang

Abstract

The experimental data of range-energy for electron from 20eV to 20MeV are collected. The data are also processed by considering different measuring methods, range definitions and target materials. The range-energy relation and energy-range relation are given by respectively fitting the data with power functions and with logarithm polynomials.

Keywords electron, range-energy relation, energy-range relation

* Department of Physics