

05;10;12

## Определение потерь энергии заряженных частиц с использованием трансмутационных изотопов

© В.А. Дидик, Р.Ш. Малкович, Е.А. Скорятина, В.В. Козловский

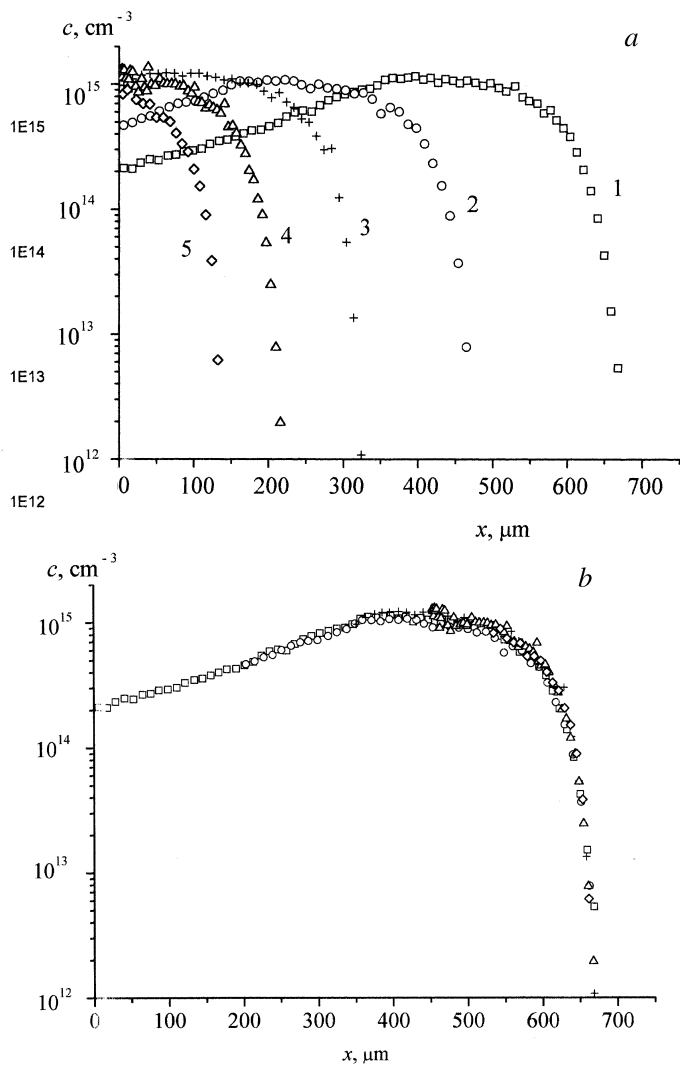
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург  
С.-Петербургский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 20 декабря 2001 г.

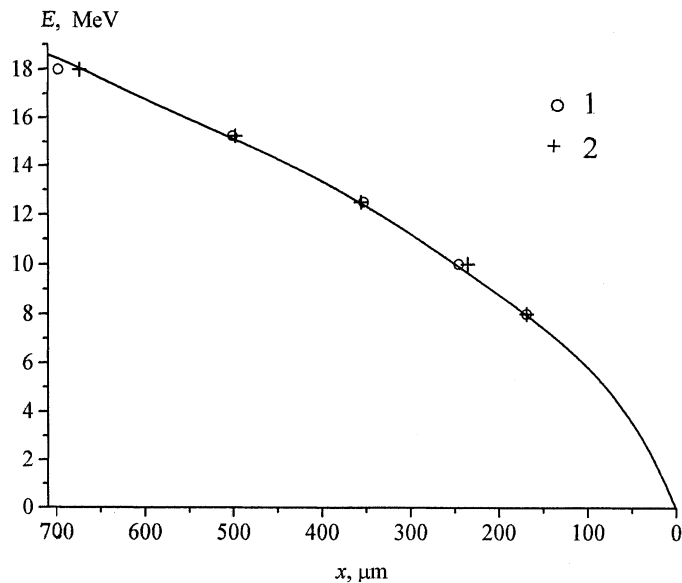
Предложен способ определения потерь энергии заряженных частиц в твердом теле, основанный на сопоставлении профилей трансмутационных изотопов, сформированных при облучении частицами различных энергий.

В традиционных методах определения потерь энергии заряженных частиц для регистрации энергии частиц использовались сцинтилляторы [1], электростатические анализаторы [2], масс-анализаторы [3], полупроводниковые детекторы [4], калориметрические устройства [5] и т. д. В предлагаемом нами способе определения потерь энергии использован эффект образования трансмутационных изотопов в результате ядерных реакций между заряженными частицами и ядрами матрицы. Ранее такой способ, насколько нам известно, не использовался.

Предлагаемый нами способ основан на анализе профилей трансмутационных изотопов, образованных в твердом теле при облучении заряженными частицами [6]. В этом способе одинаковые образцы одного материала облучаются при прочих равных условиях частицами разных фиксированных энергий. В результате облучения в образцах формируются профили радиоактивных трансмутационных изотопов. Для определения этих профилей с образцов снимаются тонкие слои и измеряется активность изотопов в этих слоях (рис. 1, *a*). Затем профили, полученные при разных энергиях облучения, сопоставляются между собой (рис. 1, *b*). Накладывая профиль, полученный при меньшей энергии облучения  $E_1$ , на профиль, полученный при большей энергии  $E_2$ , мы фиксируем на оси абсцисс координату, соответствующую энергии  $E_1$ . Сравнивая между собой указанным способом профили, полученные при разных энергиях облучения, мы определяем зависимость  $E(x)$ ,



**Рис. 1.** Профили трансмутационного изотопа  $^{65}\text{Zn}$ , полученные при разных энергиях облучения (а), и сопоставление этих профилей (б).  $E$ , MeV: 1 — 18, 2 — 15.25, 3 — 12.5, 4 — 10, 5 — 8. Значения концентрации соответствуют моменту окончания облучения.



**Рис. 2.** Зависимость  $E(x)$  для протонов в меди: 1 — данные, полученные сопоставлением профилей; 2 — данные, полученные в интегральном варианте предложенного метода. Сплошная кривая — литературные данные.

характеризующую изменение энергии частиц от поверхности в глубь образца.

Описанным способом нами были определены потери энергии протонов в меди. Облучение проводилось на циклотроне МГЦ-20 при энергиях 8, 10, 12.5, 15.25 и 18 MeV. Поток частиц составлял  $1.2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , время облучения 1 h. Измерялась гамма-активность трансмутационного изотопа  $^{65}\text{Zn}$ , образованного по реакции  $^{65}\text{Cu}(p, n)^{65}\text{Zn}$  [7]. Активность измерялась с использованием калиброванного гамма-спектрометра с Ge(Li)-детектором. Отметим, что наряду с образцами меди нами использовались также стопки медных фольг (толщина фольги  $10 \mu\text{m}$ ).

Как видно из рис. 2, полученные нами результаты удовлетворительно согласуются с литературными данными [8].

Для определения потерь энергии заряженных частиц мы использовали также интегральный вариант предложенного способа. В этом

варианте измеряется интегральная гамма-активность  $Q_1$  исследуемого трансмутационного изотопа во всем образце, облученном энергией  $E_1$ . Затем с образца, облученного большей энергией  $E_2$ , снимаются слои — до тех пор, пока активность образца не окажется равной величине  $Q_1$ . Общая толщина снятых слоев будет при этом соответствовать глубине, на которой начальная энергия частиц  $E_2$  уменьшается до величины  $E_1$ . Полученные таким способом результаты также находятся в удовлетворительном согласии с литературными данными (рис. 2).

## Список литературы

- [1] *Gobeli G.W.* // Phys. Rev. 1956. V. 103. N 2. P. 275.
- [2] *Готт Ю.В., Тельковский В.Г.* // ФТТ. 1967. Т. 9. В. 8. С. 2221.
- [3] *Заруцкий Е.М.* // ФТТ. 1967. Т. 9. В. 5. С. 1501.
- [4] *Feng J.S.-Y., Chu W.K., Nicolet M.A.* // Phys. Rev. B. 1974. V. 10. N 9. P. 3781.
- [5] *Andersen H.H., Hanke C.C., Sorensen H., Vajda P.* // Phys. Rev. 1967. V. 153. N 2. P. 338.
- [6] *Didik V.A., Malkovich R.Sh., Skoryatina E.A., Kozlovski V.V.* // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 2000. V. 160. P. 387.
- [7] *Maples C., Goth G., Cerny J.* // Nucl. Data. A2. 1967. P. 429.
- [8] *Немец О.Ф., Гофман Ю.В.* // Справочник по ядерной физике. Киев, 1975. С. 109.