ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ И ОТ ДРУГИХ ОСОБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЧЕЛОВЕКА

В.П.Алехин, В.А.Артемьев
Московский индустриальный университет

УДК 539.12.04

НОВЫЕ РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Существующая теория и практика используют классический закон экспоненциального ослабления рентгеновского излучения (РИ) при его прохождении в веществе (закон Бугера). Однако в результате проведения поисковых экспериментальных исследований было установлено, что в материалах, содержащих малые частицы металлических ультрадисперсных порошков (УДП) определенных концентраций, возникают значительные отклонения от закона Бугера (до 40-60 % от классической кривой поглощения РИ). На открытое явление аномального поглощения РИ материалами, содержащими УДП, в апреле 1994 г. получен диплом на открытие.

Traditional exponential law for X-Ray weakening in the substance (Booger law) is used in modern theoretical and applied physics. However, the experiments have shown that material containing nano-powders of certain concentrations manifest considerable deviation from the Booger law (up to 40-60 % in comparison with traditional absorption curve). The discovery certificate No 4 dated on 29.03.94 has been obtained for the revealed phenomenon named "Phenomenon of anomalous weakening of X-Ray irradiation by nano-media"

Практическая необходимость разработки новых, более эффективных рентгенозащитных материалов вызвана рядом обстоятельств: повышенным радиационным фоном от жилых и промышленных объектов, повышенной лучевой нагрузкой на медперсонал от источников рентгеновского излучения (РИ) при рентгенографической диагностике, необходимостью защиты транспортных средств и радиоэлектронной аппаратуры в зонах естественной и искусственной радиации. Задача получения новых материалов с повышенными свойствами защиты от РИ имеет большое народно-хозяйственное и социальное значение, поскольку она позволяет значительно снизить лучевые нагрузки на человека в промышленности, в экспериментальных условиях, при медицинских обследованиях и в быту, а также обеспечить защиту функциональных элементов систем управления. Новые материалы и изделия найдут широкое распространение, поскольку повышение рентгенозащитных свойств материалов в 2-3 раза достигается без применения дорогостоящих редкоземельных элементов и они в 3-4 раза легче, чем применяемые просвинцованные.

Существующая теория и практика используют классический закон экспоненциального ослабления рентгеновского излучения (РИ) при его прохождении в веществе (закон Бугера). Однако в результате проведения поисковых экспериментальных исследований было установлено, что в материалах, содержащих малые частицы металлических ультрадисперсных порошков (УДП) определенных концентраций, возникают значительные отклонения от закона Бугера (до 40-60 % от классической кривой поглощения РИ). Явление аномального по-

глощения РИ материалами, содержащими УДП, признано открытием.

Описание прохождения γ-излучения рентгеновского диапазона (далее рентгеновское излучение, РИ) через материалы основано на учете трех основных парциальных процессов взаимодействия фотонов с веществом: фотоэлектрического поглощения и когерентного и некогерентного рассеяния на атомах* Однако распространение РИ в ультрадисперсных материалах (УДМ) имеет свои особенности. Соизмеримость размеров УД-частиц ($\alpha \cong 2 \div 10$ нм) и длины волны излучения ($\lambda \cong 0{,}1$ нм) обусловливает эффективное малоугловое когерентное рассеяние фотонов УД-частицами. Результирующий угол отклонения излучения от первоначального направления после рассеяния на случайно расположенных центрах $\theta = \lambda N^{1/2}/\alpha$ и может стать значительным при большой концентрации N УД-частиц. Известно также, что УДМ имеют сильно развитую внутреннюю поверхность (примерно 10 м/г) и при скользящих углах падения рентгеновские лучи испытывают полное внешнее отражение от поверхности УД-частиц (предельный угол отражения $\varphi = \omega_p/\omega$, где ω_p – плазменная частота; ω – частота фотонов).

Когерентное рассеяние и отражение фотонов от УД-частиц увеличивает длину пути излучения в УДМ и приводит к его дополнительному поглощению по сравнению с обычным поликристаллическим образцом.

Представим УДМ в виде плоскопараллельной пластины толщиной L, содержащей одинаковые круглые УД-частицы радиусом R (см. рисунок), скрепленные непоглощающим и нерассеивающим связующим (полимером, аэрозолем в атмосфере и др.). Введем обозначения: $I(z, \mu)$ – плотность потока фотонов с направлением распространения $\vec{\Omega}$ на данной глубине z; $\mu = \cos\theta$ – коэффициент ослабления за счет фотопоглощения; θ^2 – средний квадрат угла рассеяния фотона на единице длины.

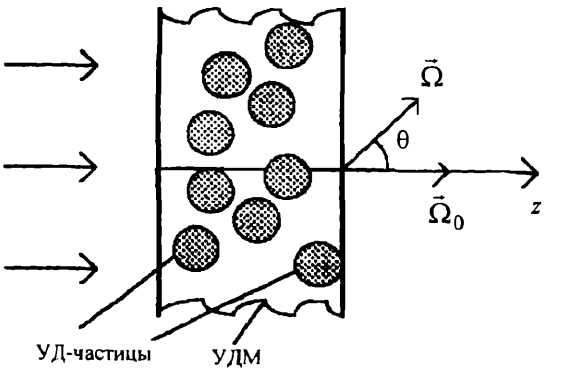


Схема к расчету фотопоглощения

Решая уравнение переноса излучения

$$\mu \frac{\partial I(z,\mu)}{\partial z} = -\sum_{\phi} I(z,\mu) + \frac{\langle\theta^2\rangle}{4}\left[\frac{\partial}{\partial\mu}\left(1-\mu^2\right)\frac{\partial I(z,\mu)}{\partial\mu}\right],$$

получим в диффузионном приближении для плотности потока фотонов на глубине z в УДМ безотносительно к направлению движения уравнение вида

$$I(z) \cong I_0 \exp\left(-\sum_{\phi} z\right)\left[1 + 0{,}5\langle\theta^2\rangle\sum_{\phi} z^2\right]^{-1}$$

Приведем сравнительные расчетные оценки защитных свойств четырех пластин из вольфрама одинаковой толщины, первая из которых представляет собой обычный поликристаллический материал со средним размером зерен $10\text{-}10^2$ мкм и толщиной $L = 0{,}5$ мм, а три другие – УДМ, скомпактированный из монодисперсного УД-порошка с размерами частиц 10, 6 и 3 нм ($L = 1$ мм). Для фотонов с длиной волны 0,1 нм наблюдалось увеличение поглощения излучения ультрадисперсными образцами по сравнению с поликристаллической пластиной в 1,4; 1,5 и 1,7 раз соответственно (с уменьшением размеров УД-частиц поглощение РИ увеличивается). Таким образом, использование материалов в ультрадисперсном виде позволяет увеличить защитные характеристики материалов (это относится и к защите от нейтронов низких энергий), что соотносится с экспериментальными данными.

* *Машкович В.П., Кудрявцева А.В.* Защита от ионизирующих излучений: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1995.