

# Исследование тепловых процессов в материалах при облучении их тяжелыми ионами высоких энергий в рамках общей модели термического пика<sup>1</sup>

И.В. Амирханов, Д.З. Музафаров, И.В. Пузынин, Т.П. Пузынина,  
Н.Р. Саркар, И. Сархадов, З.А. Шарипов,  
*Лаборатория информационных технологий, ОИЯИ*  
А.Ю. Дидык  
*Лаборатория ядерных реакций, ОИЯИ*

Исследования воздействия высокоионизирующих заряженных частиц на материалы [1, 2] становятся актуальными в связи с созданием ускорителей и накопительных колец тяжелых ионов высоких энергий, а также с проблемой определения радиационной стойкости конструкционных материалов, которые предполагается использовать, в том числе, и в термоядерных реакторах. К таким исследованиям относится изучение особенностей радиационного распыления и изменения механических свойств материалов при облучении их тяжелыми ионами высоких энергий.

В работе [5] на основе модели термического пика [3] были проанализированы временные и координатные зависимости температур электронного газа  $T_e$  и решетки  $T_i$ . Рассматривается в случае аксиальной симметрии в цилиндрической системе координат облучение образца никеля ионами урана с энергией 700 МэВ с учетом значений теплоемкости и теплопроводности, зависящих от температуры. На рис. 1 для сравнительного анализа из предыдущей работы [4] представлены зависимости от времени температуры электронного газа (рис. 1а) и решетки (рис. 1б) на поверхности никеля, облучаемого ионами урана, на различных расстояниях от траектории иона  $r$  в случае постоянных теплофизических параметров модели, взятых при комнатной температуре. На рис. 2 представлены зависимости от времени температуры электронного газа (рис. 2а) и решетки (рис. 2б) при тех же значениях  $z$  и  $r$  в рамках нелинейной двухтемпературной модели термического пика. Из сравнения этих графиков видно, что при учете зависимости теплофизических параметров от температуры, температура электронного газа и кристаллической решетки значительно меньше, чем в линейной модели. В нелинейной модели тепловые процессы в кристаллической решетке происходят значительно медленнее, чем в линейном случае. Перечислим некоторые особенности:

1. В линейном случае в точке  $r = 0; z = 0$  температура кристаллической решетки через  $t = 4,5 \cdot 10^{-15}$  с превышает температуру плавления, а в нелинейном случае этот процесс наступает через  $t = 1,8 \cdot 10^{-13}$  с.
2. Выравнивание температур электронного газа и кристаллической решетки в линейной модели наступает через  $t = 0,25 \cdot 10^{-13}$  с, а в нелинейной модели через  $t = 3,06 \cdot 10^{-13}$  с.
3. Интервал времени, при котором в точке  $r = 0; z = 0$  температура кристаллической решетки остается больше температуры плавления, в линейной модели равен  $\Delta t = 13,45 \cdot 10^{-13}$  с, а в нелинейной модели равен  $\Delta t = 15,4 \cdot 10^{-13}$  с.

---

<sup>1</sup>Работа поддержана РФФИ, гранты № 03-01-00657, № 05-01-00645-а.

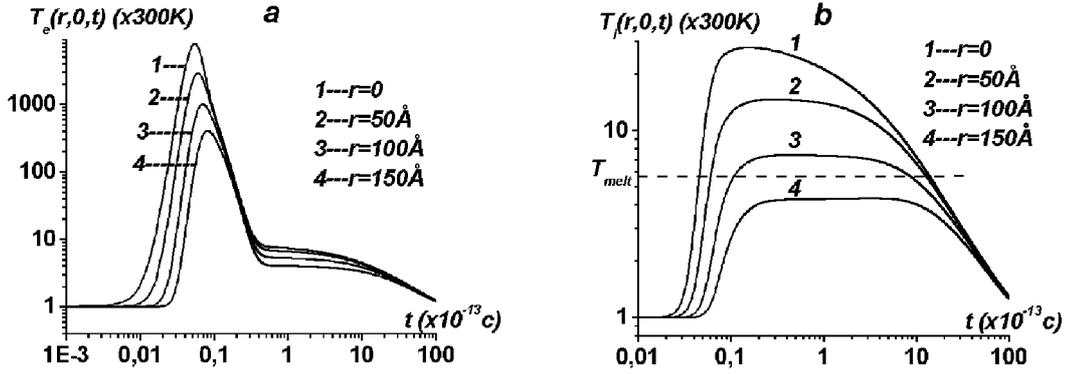


Рис. 1: Зависимость от времени температуры электронного газа (а) и решетки (б) на поверхности образца  $z = 0$ , облучаемого ионами урана никеля для различных расстояний  $r$  от оси трека в рамках линейной модели термопика (штрихованной прямой выделена температура плавления  $T_{melt}$ )

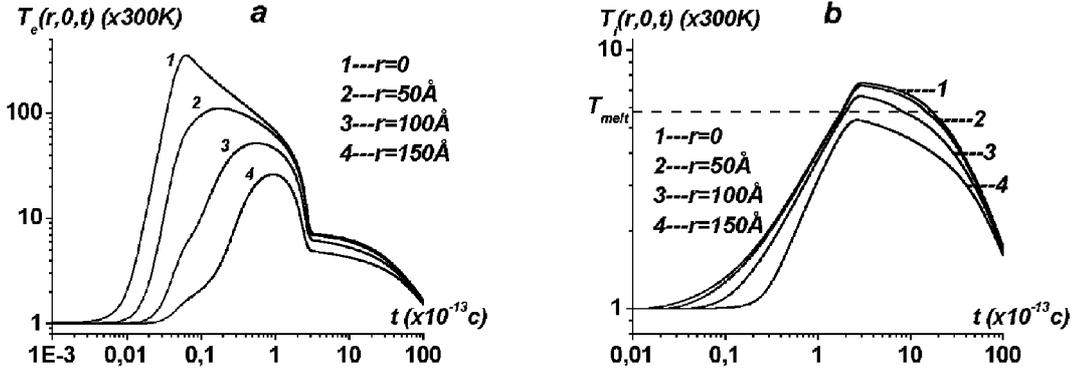


Рис. 2: Зависимость от времени температуры электронного газа (а) и решетки (б) на поверхности образца  $z = 0$ , облучаемого ионами урана никеля для различных расстояний  $r$  от оси трека в рамках нелинейной модели термопика (штрихованной прямой выделена температура плавления  $T_{melt}$ )

Следует обратить внимание на то, что хотя максимальная температура кристаллической решетки в линейной модели больше, чем в нелинейной модели, максимальные размеры области, где температура превышает температуру плавления, остаются почти одинаковыми в обеих моделях.

По результатам вычислительных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что в случае облучения никеля ионами урана с энергией 700 МэВ могут происходить фазовые переходы.
2. Максимальные размеры области, где температура превышает температуру плавления, остаются почти одинаковыми в нелинейной и линейной моделях и равны  $D_{max}^m \simeq 0,23$ ;  $Z_{max}^m \simeq 140$  ( $D_{max}^m \simeq 230 \text{ \AA}$ ,  $Z_{max}^m \simeq 140 \cdot 10^3 \text{ \AA}$ ).

## Список литературы

- [1] D. Lesueur. Amorphisation par irradiation aux fragments de fission d'un alliage Pd-Si // *Radiat. Effects*, 1975, v.**24**, №2, p.101–110.
- [2] И.А. Баранов, С.О. Цепелевич, Ю.Н. Явлинский. Неупругое распыления твердых тел // *УФН*. 1988, т.**156**, №3, с.477–510.
- [3] М.И.Каганов, И.М.Лифшиц, Л.В.Танатаров. Релаксация между электронами и решеткой // *ЖЭТФ*. 1956, т.**31**, №2(8), с.232–237.
- [4] И.В. Амирханов, А.Ю. Дидык, Е.В. Земляная, И.В. Пузынин, Т.П. Пузынина, Н.Р. Саркар, И.Сархадов, В.К. Семина, З.А. Шарипов, А. Хофман. //Препринт ОИЯИ Р11–2004–165, 2004, Дубна, ОИЯИ, 15 с.
- [5] И.В. Амирханов, А.Ю. Дидык, Д.З. Музафаров, И.В. Пузынин, Т.П. Пузынина, Н.Р. Саркар, И.Сархадов, З.А. Шарипов. Исследование тепловых процессов в материалах при облучении их тяжелыми ионами высоких энергий в рамках общей модели термического пика. (Доложена на семинаре и готова к публикации).