

ЭФФЕКТЫ НЕАДДИТИВНОСТИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ ЧЕРЕЗ МНОГОСЛОЙНЫЕ МИШЕНИ

Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин, А.А. Широкова

НИИЯФ МГУ

26 мая 2021 г

Прохождение заряженных частиц через многослойные мишени

Актуальность

1. Описание изменения **характеристик ионизирующего излучения** после прохождения через вещество необходимо для оценки радиационной защиты электронной компонентной базы.
2. Анализ отклика **материала на выделение энергии и накопление дефектов** для создания материалов с определенными свойствами.

Потери энергии в многослойной мишени

Источник

$(e^-, p) E_0$

по нормали

Мишень

$(W/C)^n$ или $(C/W)^n$

Прохождение:

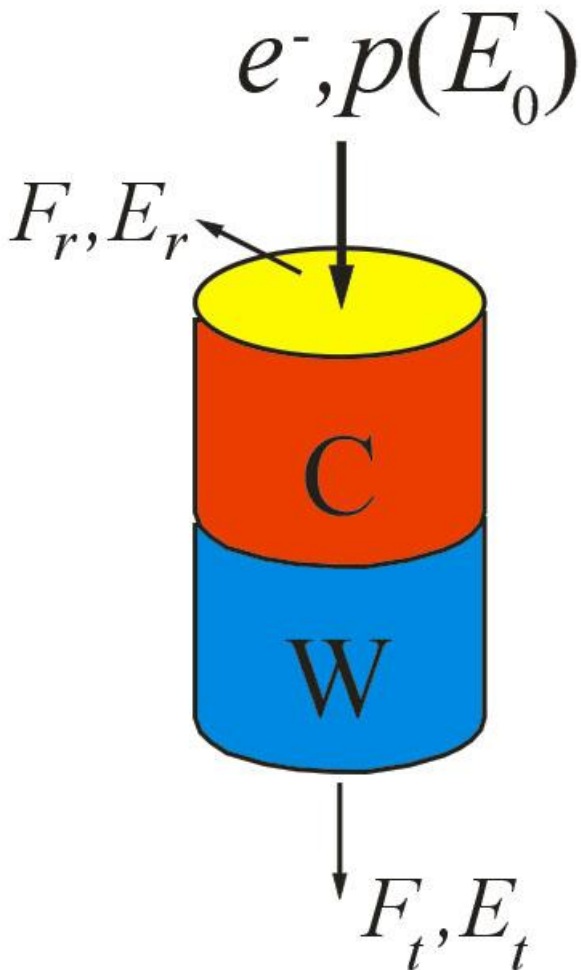
$F_t(E_0, d), E_t(E_0, d)$

Отражение:

$F_r(E_0, d), E_r(E_0, d)$

Поглощение:

$$E_{dep}(E_0, d) = \sum_j E_{dep}(E_0, x_j)$$



d - толщина

$\rho_C = 2.0 \text{ г/см}^3$

$E_{\max}^C \approx 56 \text{ кэВ}$

$\rho_W = 19.3 \text{ г/см}^3$

$S_e^W / S_e^C \approx 3$

$E_{\max}^W \approx 80 \text{ кэВ}$

Рис.1 Двухслойная C/W-мишень

Моделирование прохождения электронов и ионов в среде

ЭЛЕКТРОНЫ

PENELOPE (***PEN**etration and **E**nergy **LO**ss of **P**ositrons and **E**lectrons in matter*) Spain (2006)

GEANT4 (Penelope) (***GE**ometry **ANd** **T**racking 4*) CERN (2004)

ИОНЫ

SRIM (***S**topping and **R**ange of **I**ons in **M**atter*)

J. F. Ziegler (USA), J. P. Biersack (Germany) (2003)

GEANT4 (Em) (***GE**ometry **ANd** **T**racking 4*) CERN (2004)

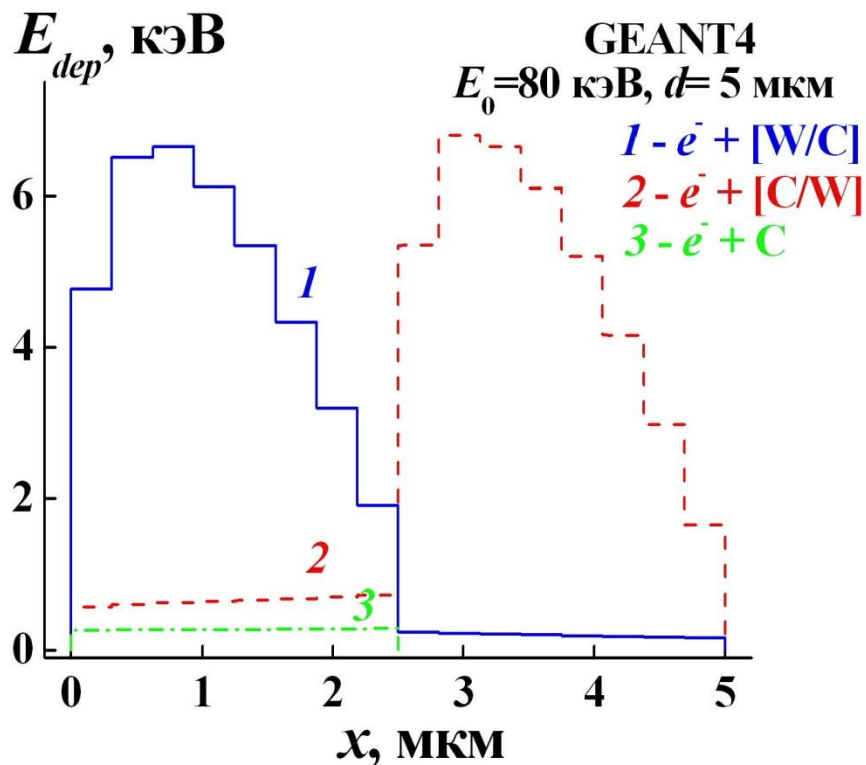
Особенности :

$E_{dep}(E_0, d)$ (GEANT4, PENELOPE, SRIM)

$E_{dep}(E_0, x)$ для $x \leq d$ (GEANT4, PENELOPE)

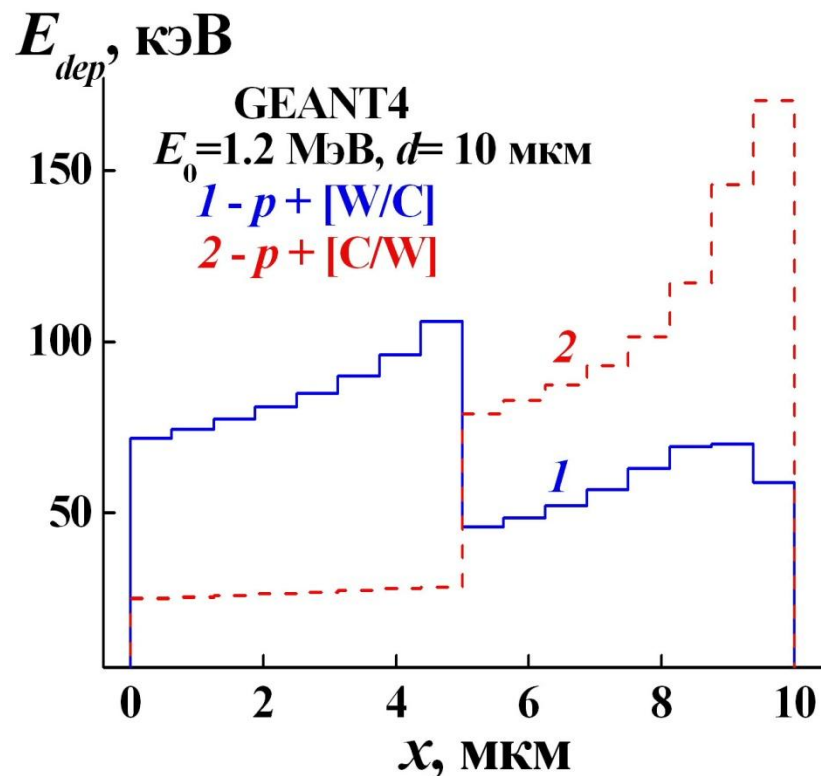
Результаты расчетов

Рис.2а e^- -[W/C],[C/W]



$$E_{dep}^{W/C} < E_{dep}^{C/W}$$

Рис.2б p -[W/C],[C/W]



$$E_{dep}^{W/C} > E_{dep}^{C/W}$$

Рис.2 Распределение поглощенной энергии по глубине слоя в двухслойной мишени .

Результаты расчетов

$$\delta E_{dep} = E_{dep}^{WC}(E_0, d) - E_{dep}^{CW}(E_0, d)$$

Рис.3а e^- -[W/C],[C/W]

Рис.3б p^- -[W/C],[C/W]

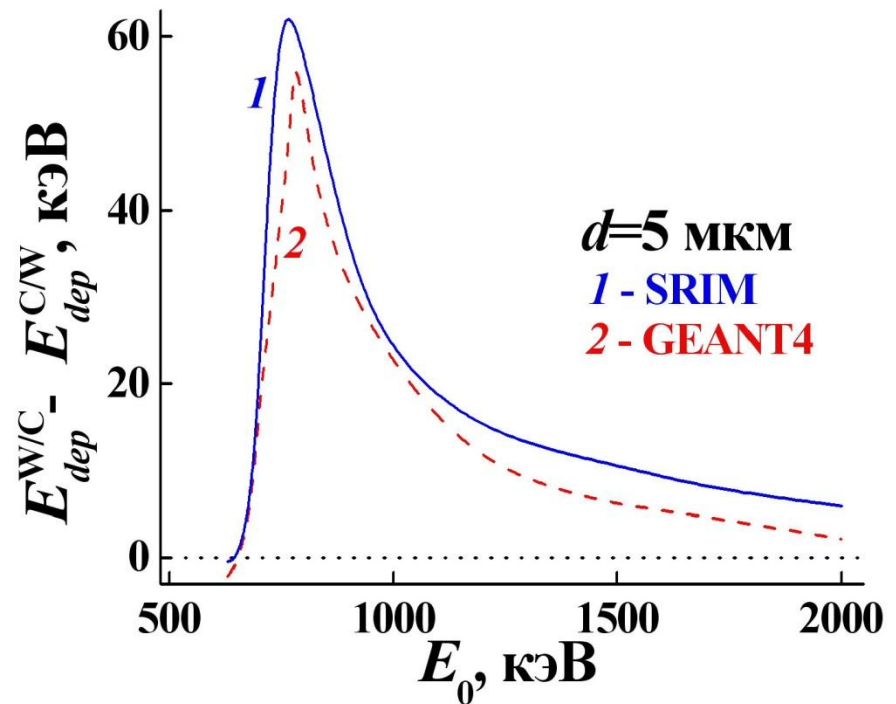
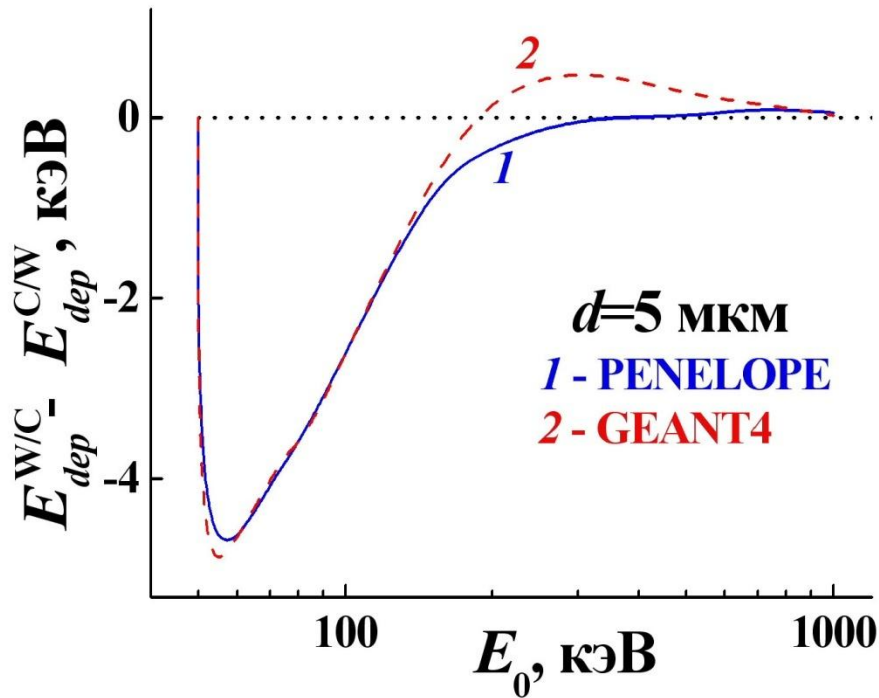


Рис.3 Зависимость разности поглощенной двухслойными мишенями энергии от E_0

Результаты расчетов

Рис.4а e^- -[W/C],[C/W]

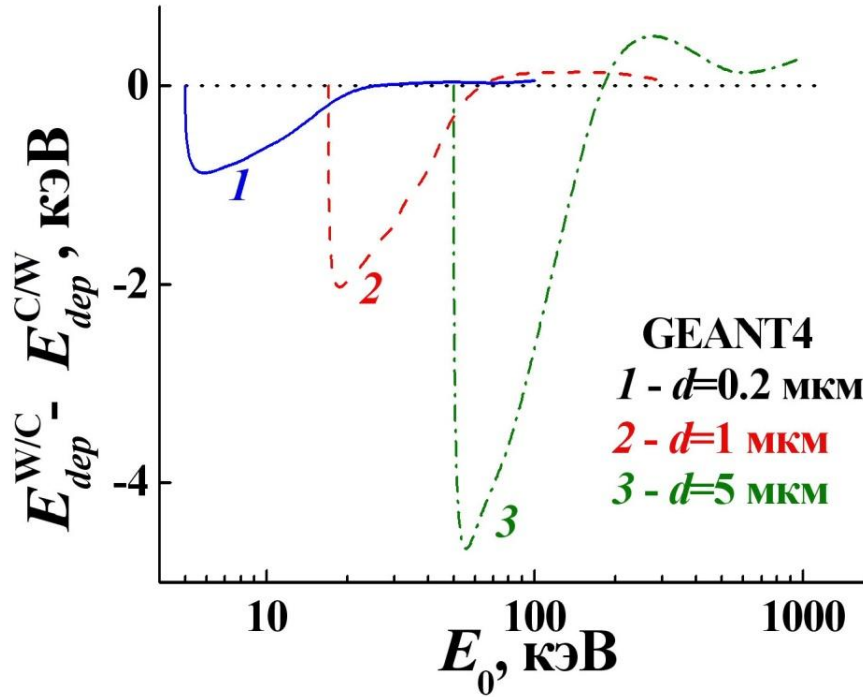
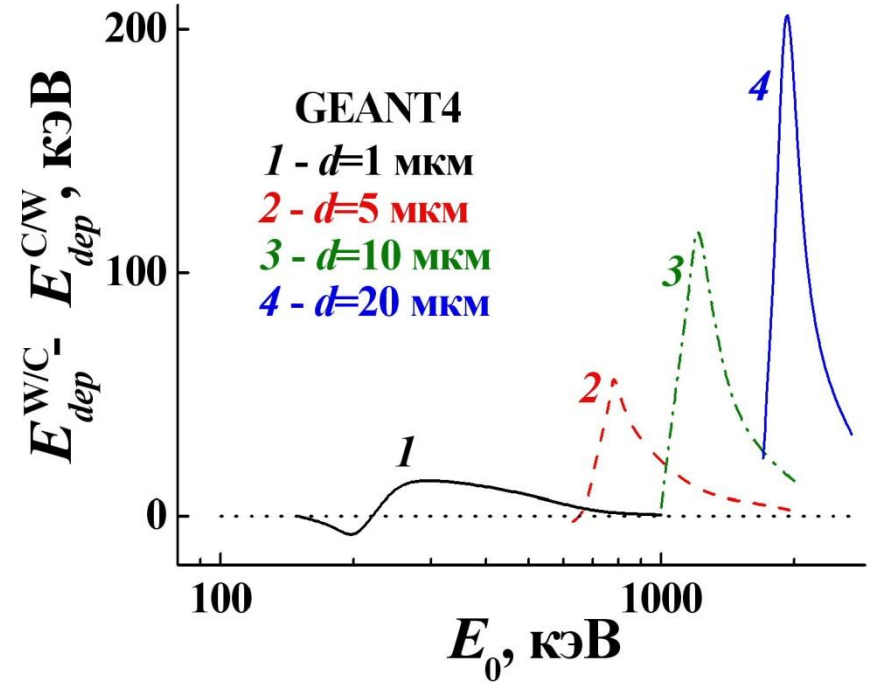


Рис.4б p -[W/C],[C/W]



$$E_0^{\min}(d) \leq E_0 \leq E_0^{\max}(d)$$

$$F_t \rightarrow 0$$

$$F_t \rightarrow 1$$

Рис.4 Разность поглощенной двухслойными мишенями энергии

Результаты расчетов

Рис.5а $e^- - [(WC)^n/(CW)^n]$

Рис.5б $p - [(WC)^n/(CW)^n]$

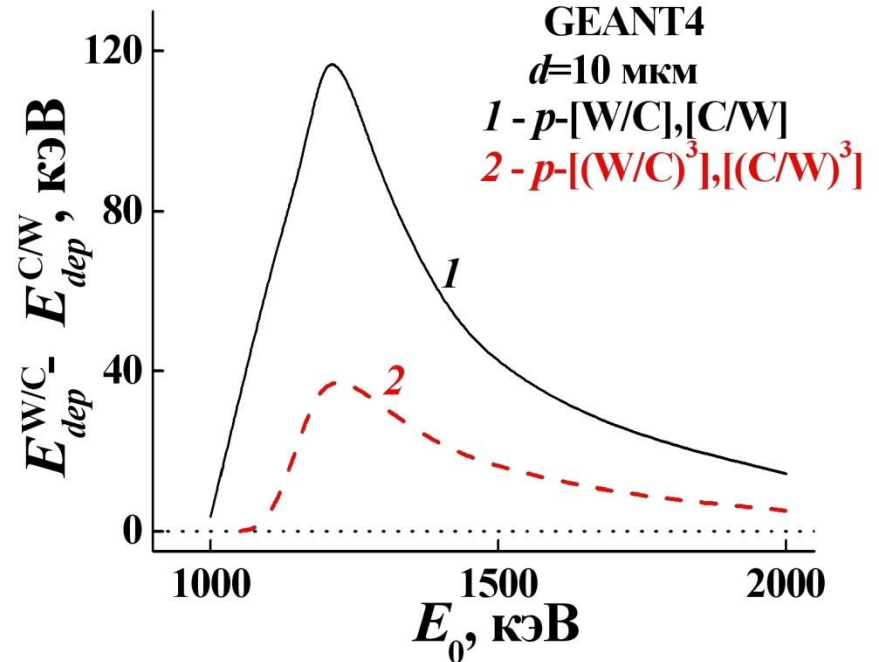
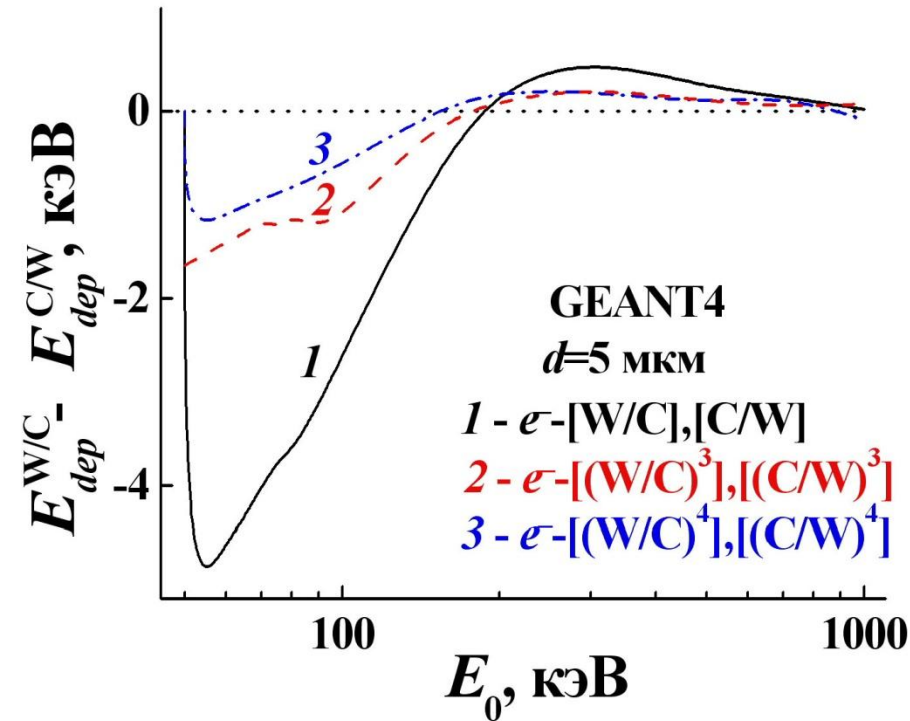


Рис.5 Зависимость разности поглощенной многослойными мишенями энергии от количества слоев.

Выводы

- Есть диапазон энергии и толщины мишени , где поглощение *многослойной мишенью* зависит от последовательности слоев в ней.
- Эффект неаддитивности потерь энергии при прохождении электронов связан с *отражением на границах раздела материалов.*
- Неаддитивность потерь энергии при прохождении протонов объясняется *корреляцией процессов замедления в соседних слоях.*

Выводы

- Влияние структуры мишени уменьшается с увеличением количества слоев и наиболее сильно проявляется для *двухслойной* мишени.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ