

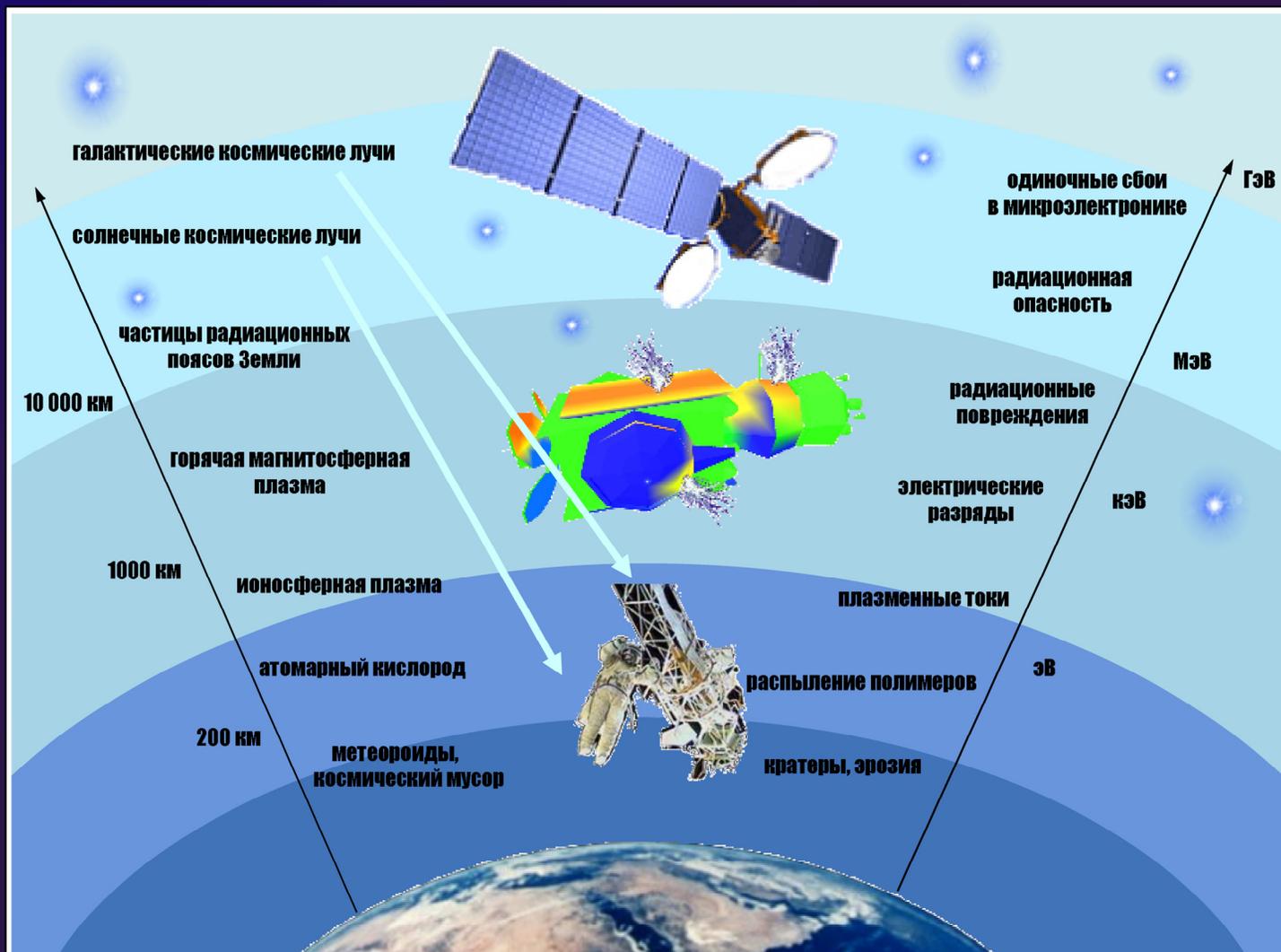
МГУ имени М.В.Ломоносова  
Физический факультет

# Воздействие электронов и протонов радиационных поясов Земли на материалы

Студ. 5 курса  
Чирская Н.П.

2-я Всероссийская научная школа для молодежи «Концентрированные потоки энергии в индустрии наносистем, материалов и живых систем»

# Эффекты воздействия факторов космического пространства на КА



# Усредненные параметры потоков частиц

| Вид корпускулярного излучения  | Состав                                      | Энергия частиц, МэВ                     | Плотность потока, $\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$                           |
|--------------------------------|---|---|---|
| Галактические космические лучи | протоны<br>ядра гелия<br>более тяжелые ядра | $10^2-10^{15}$<br>(для всех групп ядер) | $1,5 \cdot 10^4$<br>$1 \cdot 10^3$<br>$1,2 \cdot 10^1$                        |
| Солнечные космические лучи     | протоны                                     | $1-10^4$                                | $10^7-10^8$   |
| Радиационные пояса Земли       | протоны<br>электроны                        | $1-30$<br>$>30$<br>$0,1-1,0$<br>$>1,0$  | $3 \cdot 10^{11}$<br>$2 \cdot 10^8$<br>$1 \cdot 10^{12}$<br>$1 \cdot 10^{10}$ |
| Горячая магнитосферная плазма  | протоны<br>электроны                        | $10^{-3}-10^{-1}$                       | $10^{11}-10^{14}$   |

# Механизмы радиационных воздействий на материалы и оборудование КА

- Поглощенная доза



Деградация материала

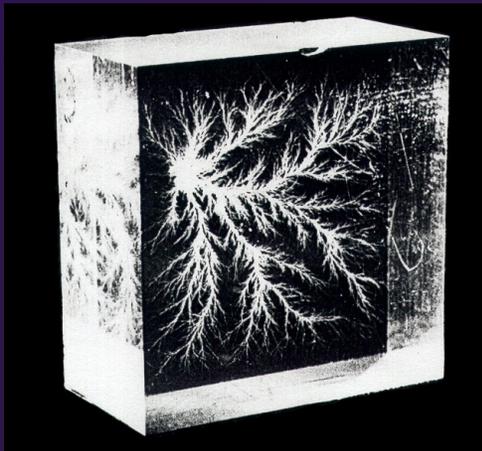
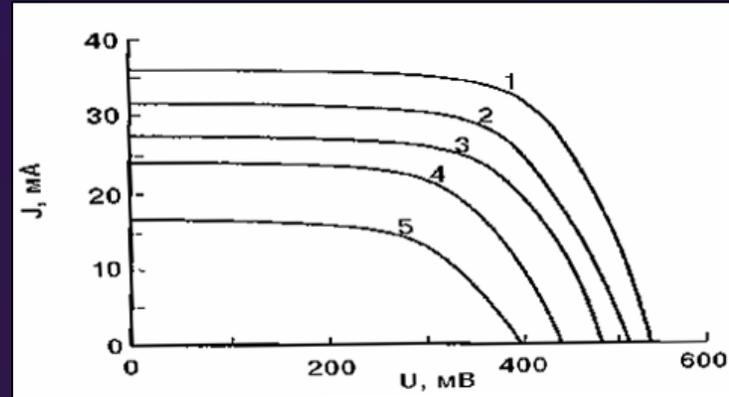
- Объемная электризация



Образование внутреннего электрического поля



Электрический пробой материала



# Математические модели для расчета радиационных воздействий

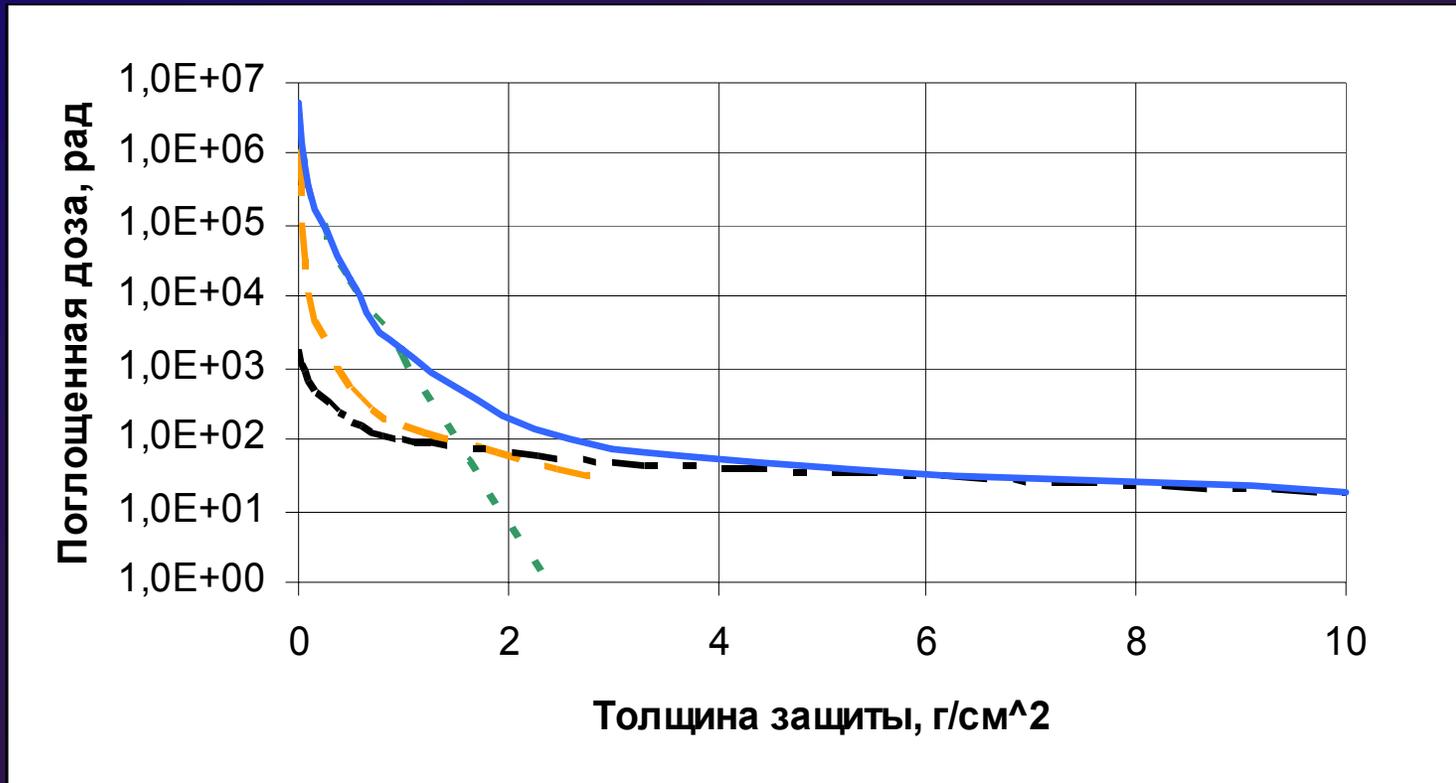
Программа RADMODLS:

- Программа SHIELDOSE
- Международные справочные модели энергетических спектров протонов и электронов РПЗ: AP-8 и AE-8



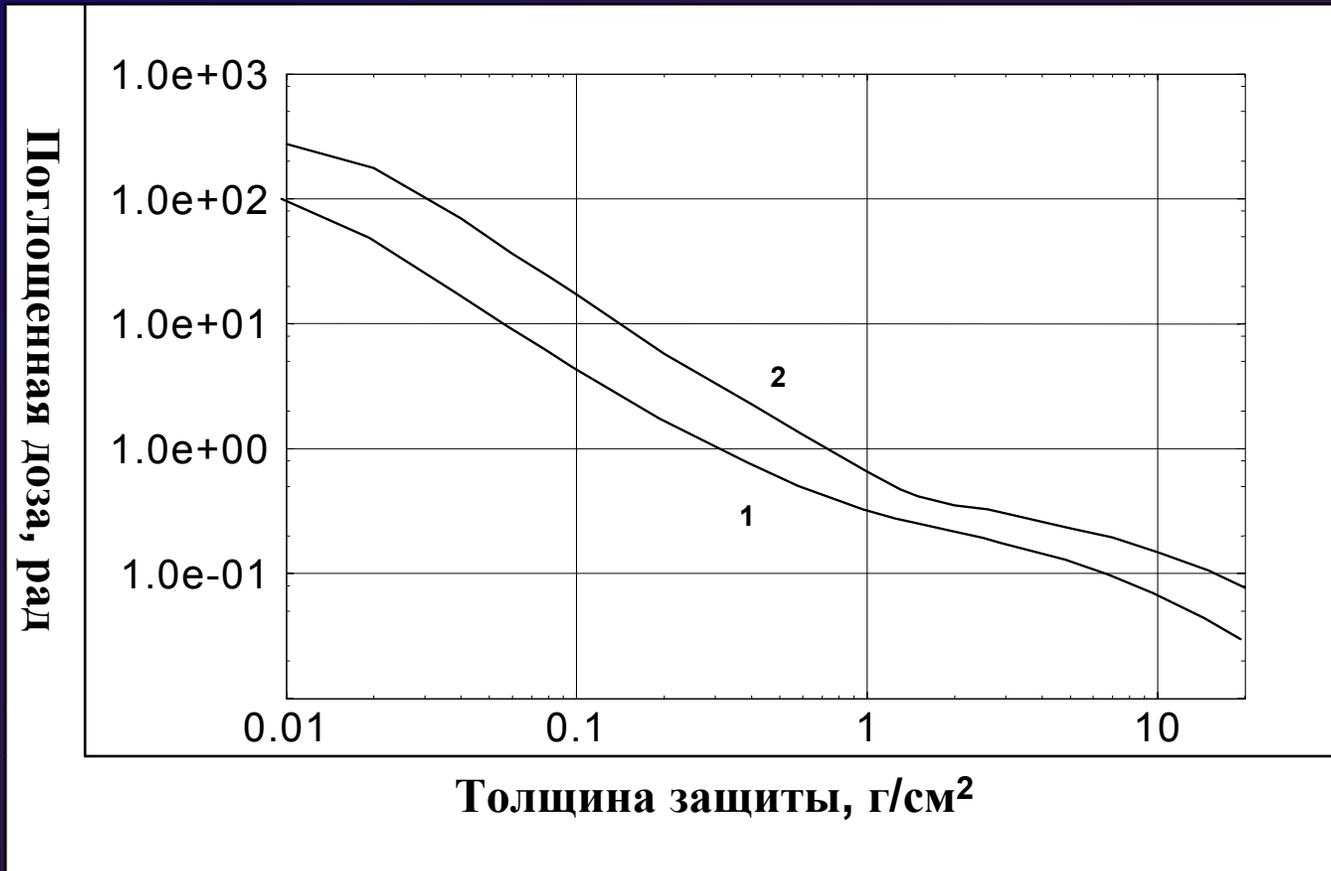
накопление дозы в материалах –  
в рамках приближения непрерывного  
замедления

# Программа RADMODLS



Зависимость поглощенной дозы от толщины защиты:  
мелкий пунктир - электронная компонента,  
штрих-пунктир - тормозное излучение,  
пунктир - протонная компонента,  
сплошная линия - суммарное значение.

# Программа RADMODLS



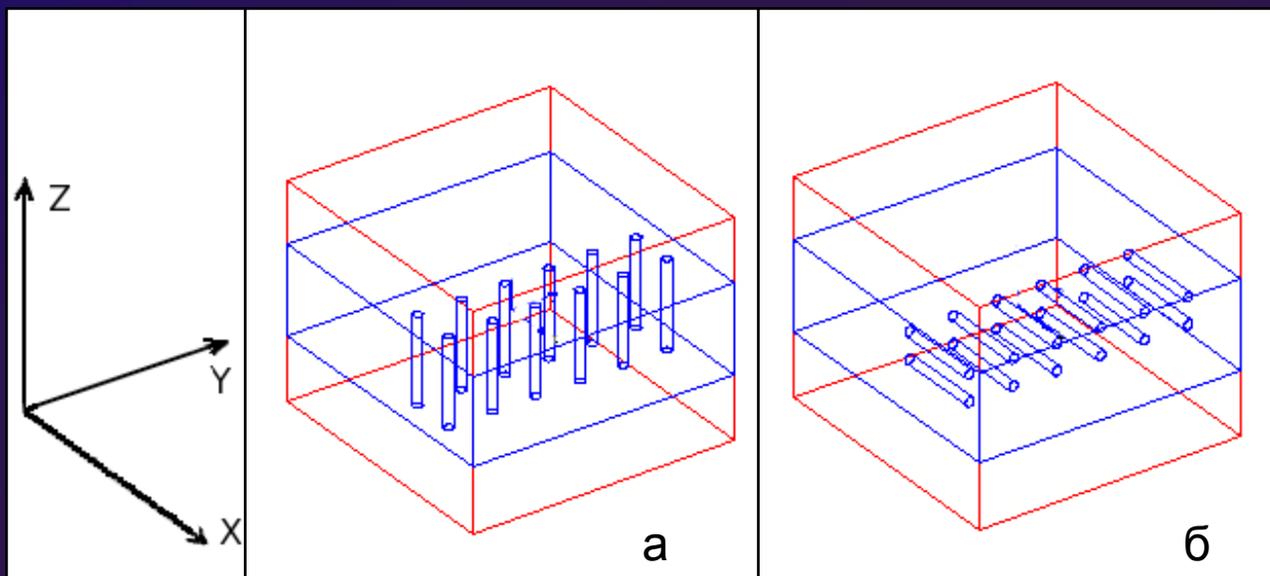
Зависимость суммарной суточной поглощенной дозы частиц РПЗ от толщины защитного экрана на орбите  $h=600$  км,  $i=52^\circ$  для плоского (1) и сферического (2) экранов.

# Математические модели для расчета радиационных воздействий

## Комплекс GEANT:

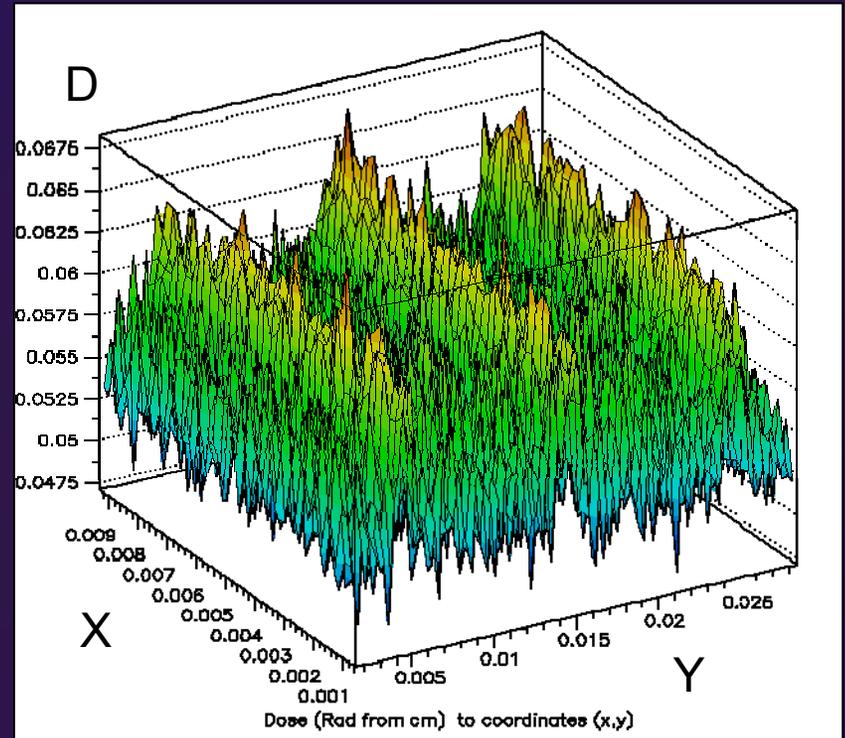
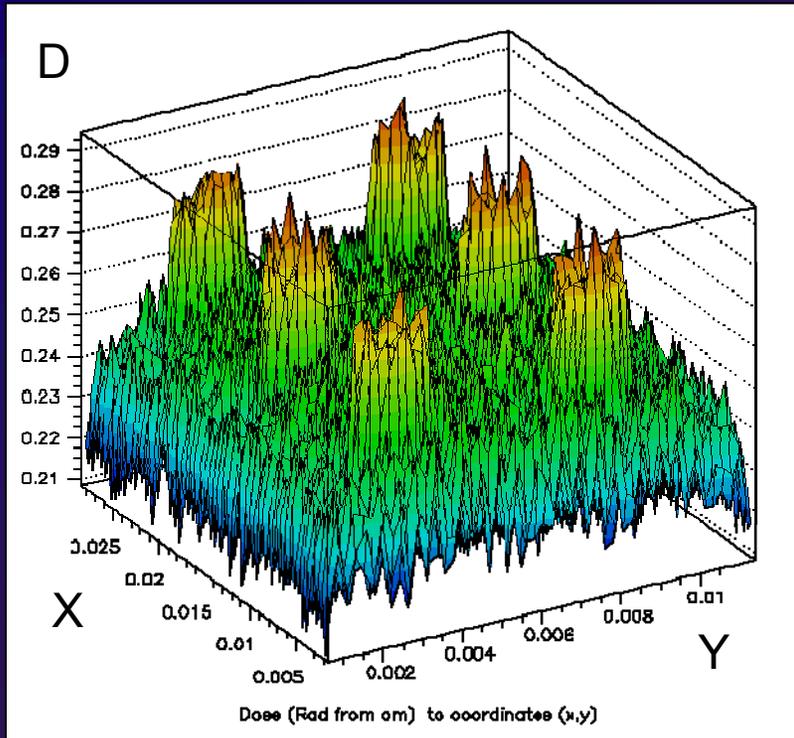
- Все элементарные частицы
- Произвольный спектр
- Ионизация атомов среды
- Упругое и неупругое рассеяние заряженных частиц на атомах
- Тормозное излучение
- Образование  $\delta$ -электронов
- Сильное взаимодействие адронов с ядрами

# Задача расчета распределений поглощенных доз в микроструктурах



Модель пластины из кремния: а, б - с внедренными углеродными стержнями, ориентированными параллельно и перпендикулярно направлению облучения соответственно

# Результаты расчетов



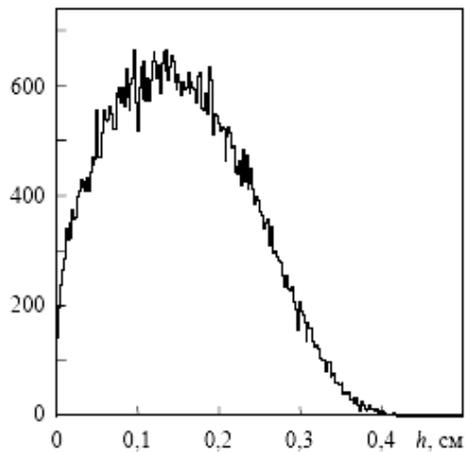
Распределение поглощенной дозы в плоскости  $XY$  для: а - модели с углеродными стержнями, ориентированными параллельно оси  $Z$ ; б - модели с углеродными стержнями, ориентированными перпендикулярно оси  $Z$ .

# Комплекс GEANT. Моделирование объемной электризации диэлектриков

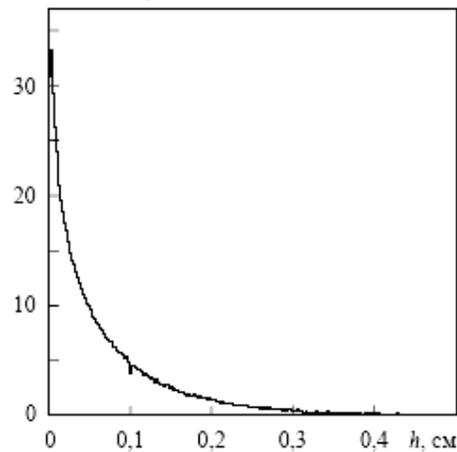
- Приближение «крупных частиц»:
  - Начальной частице соответствует падающий за время  $\Delta t$  поток частиц  $\Delta N$
- Учет влияния внутреннего электрического поля:
  - 1) моделирование события прохождения частиц
  - 2) вычисление изменения функции распределения объемного заряда  $\Delta\rho(\mathbf{r})$
  - 3) расчет напряженности электрического поля  $E(\mathbf{r})$  и потенциала  $U(\mathbf{r})$
  - 4) моделирование следующего события

# Моделирование объемного заряжения диэлектриков

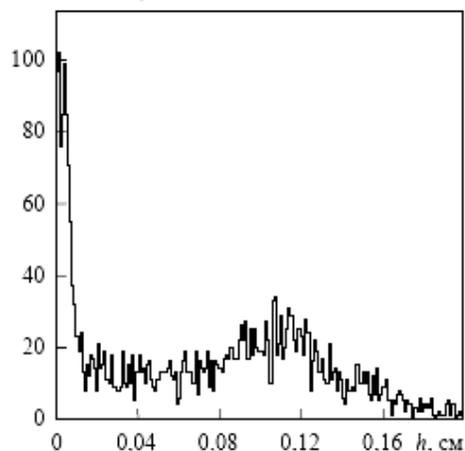
Число частиц



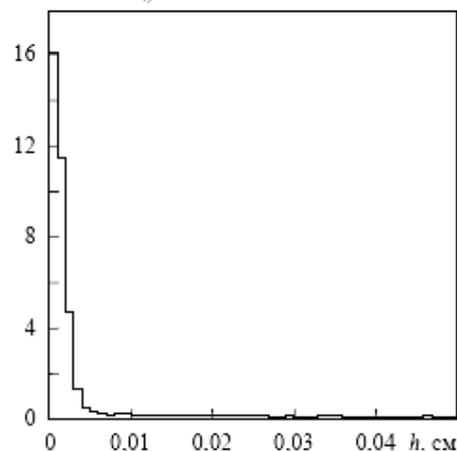
Число частиц,  $10^3$



Число частиц

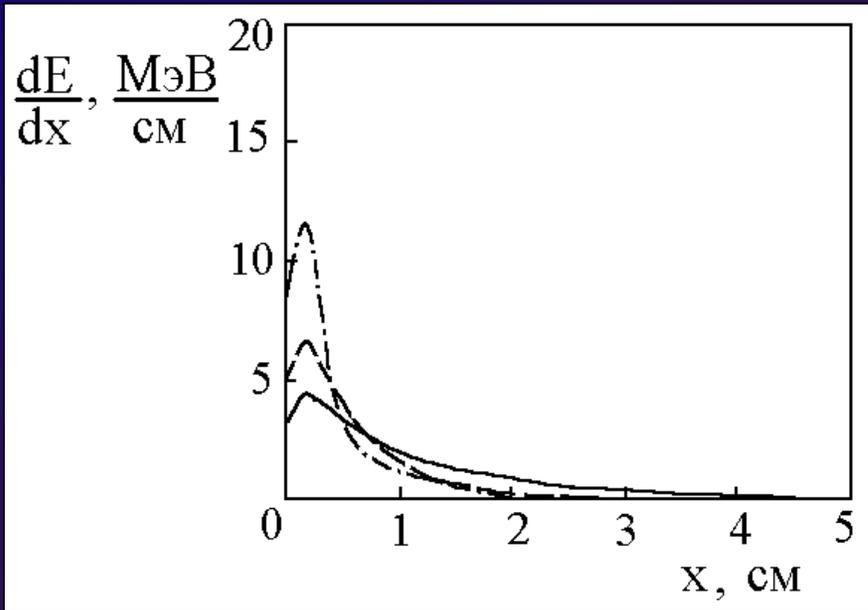


Число частиц,  $10^3$

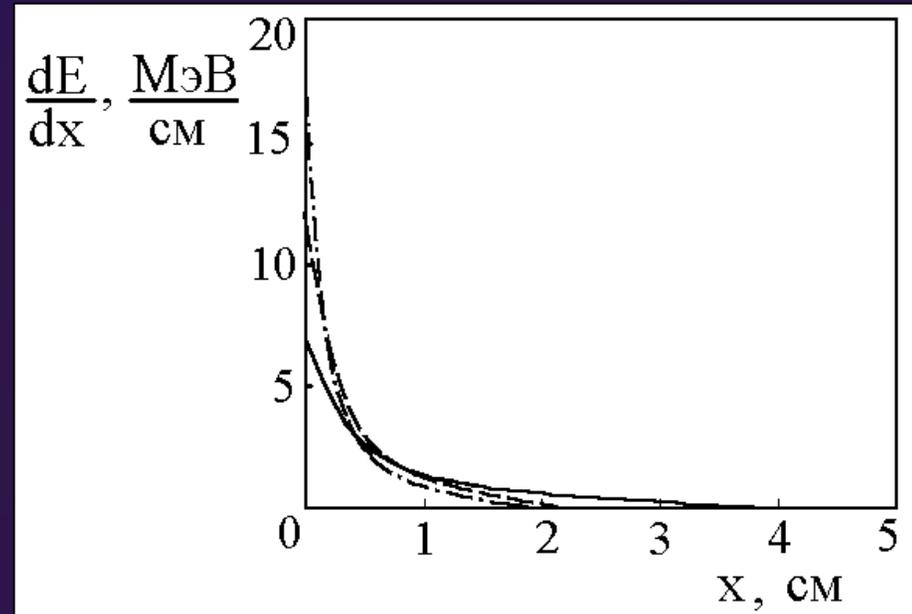


Распределение числа остановившихся электронов по глубине образца: а, в – для нормально падающего моноэнергетического пучка электронов с энергией 2 МэВ без учета (а) и с учетом (в) внутреннего электрического поля объемного заряда; б, г – для электронов РПЗ с изотропным угловым распределением без учета (б) и с учетом (г) внутреннего электрического поля объемного заряда.

# Комплекс GEANT



а



б

*Распределение потерь энергии электронов РПЗ по глубине экрана из различных защитных материалов при нормальном (а) и изотропном (б) падении частиц.*

# Заключение

- Модель RADMODLS позволяет рассчитать распределение поглощенной дозы по глубине мишени с учетом основных физических процессов, дающих вклад в поглощение веществом энергии налетающих частиц.
- Полученные при моделировании данные являются надежными с физической точки зрения и требуют меньших вычислительных ресурсов.
- Комплекс GEANT может применяться для проведения детальных расчетов радиационных воздействий на элементы КА в широком диапазоне энергий и масштабов.
- Комплекс GEANT требует дополнительного программирования различных входных и выходных данных и больших затрат машинного времени.

*Спасибо за  
внимание!*