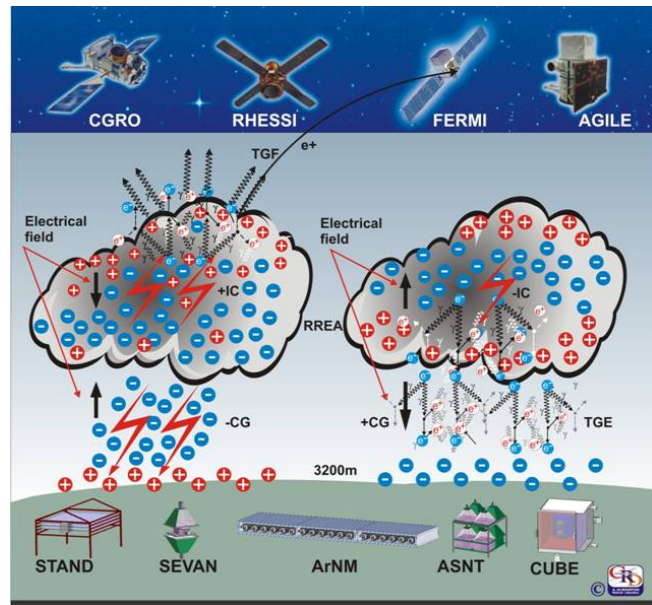


Моделирование распространения высокоэнергетичных электронов и гамма- квантов в атмосферных электрических полях

Зелёный Михаил^{1,2,3}, Стадничук Егор^{1,2}

¹ИЯИ РАН, ²МФТИ (ГУ), ³ИКИ РАН

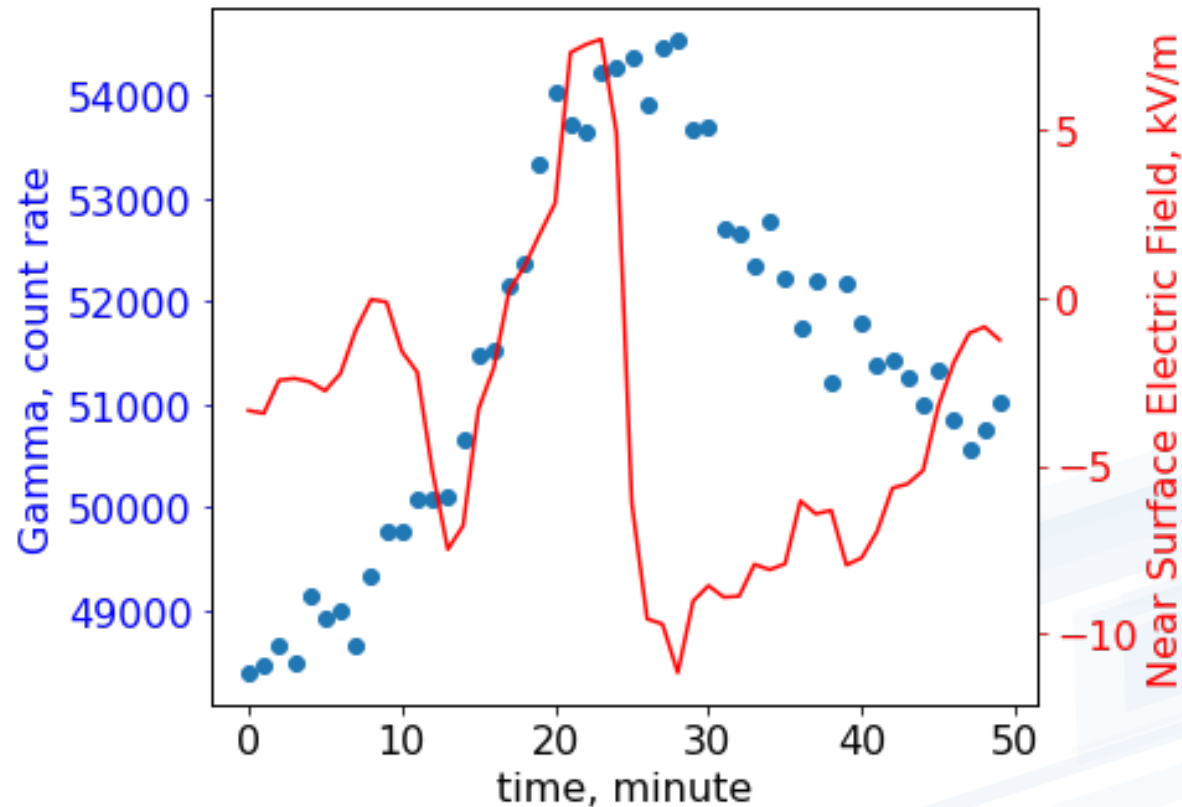
Прохождение частиц в грозовых облаках



Исследуемые явления:

- **TGF** - короткие (~ 1 мкс) вспышки гамма и рентгеновского излучения из грозового облака
- **TGE** - длительное и регулярное (несколько раз в течении 20 - 40 минут), повышения гамма-фона, коррелирующее с изменениями электрического поля
- Рост ионизации облака под действием излучения
- Повышения нейтронного фона во время удара молнии

Наблюдение TGE на г. Арагац (Армения)



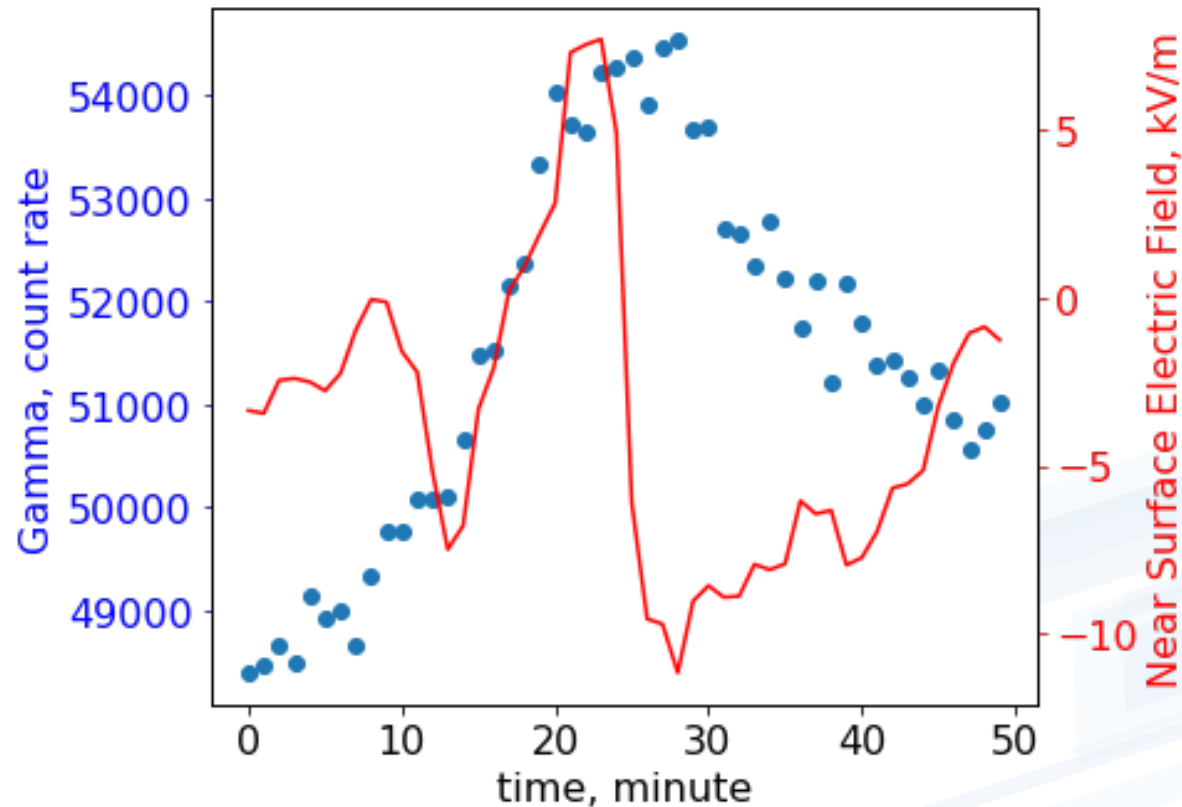
Существующие модели

- Пробой на убегающих электронах (Гуревич и Бабич)
- Он же с дополнительной обратной связью от гамма-квантов и позитронов (Двайер)

Проблемы существующих моделей

- Анизотропия гамма-излучения
- Работа в полях превышающих экспериментально наблюдаемые (в среднем до 200 кВ/м на высоте 4000 метров)
- Недостаточная ионизация облака

Наблюдение TGE на г. Арагац (Армения)



RL-TGE: реакторная модель

Взаимодействие
происходит в
локальных ячейках
Поле однородно на
масштабе ячейки

“Зажигание” ячейки
вызывается:

Вблизи - электронами и
реже позитронами
В других частях облака -
фотонами

RL-TGE: качественные выводы

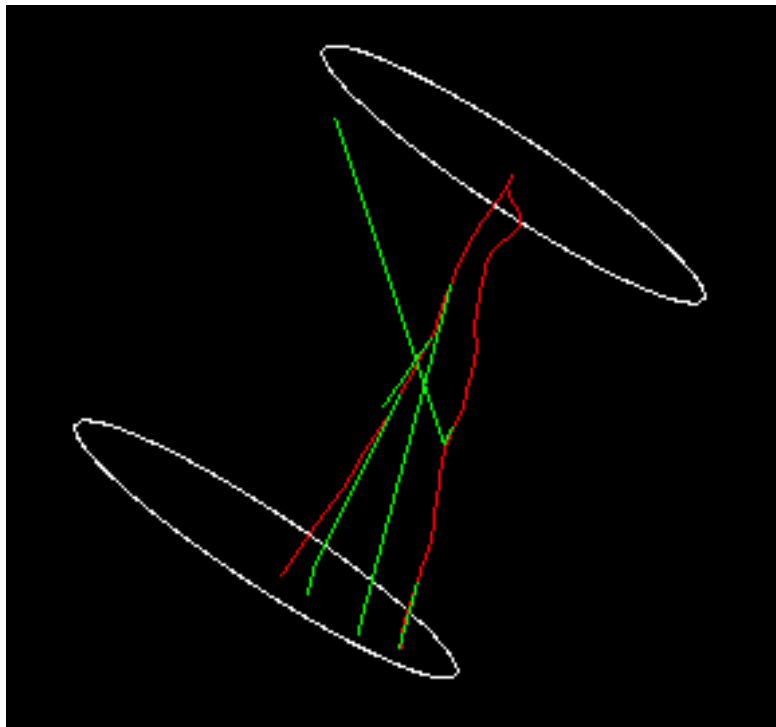
- Угловое распределение гамма-квантов зависит от направления поля, но в целом должно быть более изотропно чем в моделях Двайера и Гуревича.
- TGE и TGF могут возникать в такой модели и тип события должен зависеть от скорости события
- Длительное время работы реактора
- Постепенное наращивание ионизации

RL-TGE: прототип

- Направление поля случайно в точке взаимодействия
- Выход ячейки рассчитывается на основе средних значений
- Один подстроечный параметр — локальный коэффициент размножения

Результат: экспоненциальное нарастание гамма-излучения при благоприятных условиях

RL-TGE: улучшенная модель



Ячейка — цилиндр радиусом и высотой в 100 метров

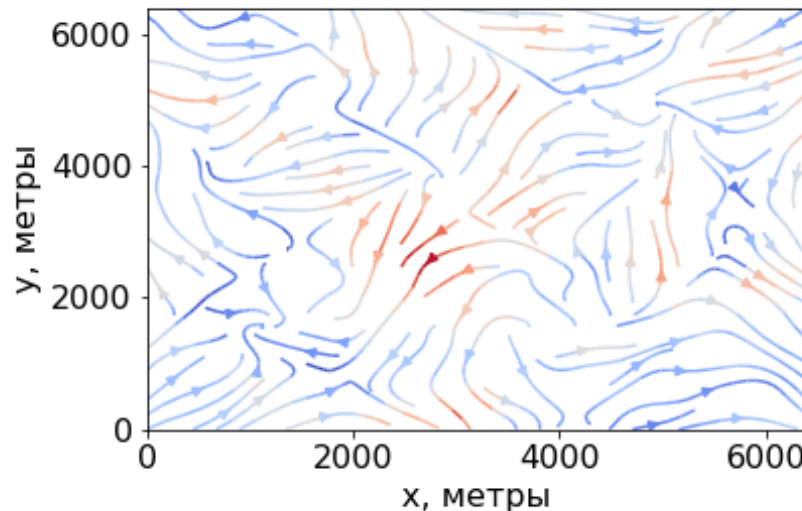
Выход ячейки: генерируется на основе предварительно рассчитанных с помощью GEANT4 распределений в зависимости от величины поля, энергии электрона, плотности воздуха и угла между полем и импульсом

RL-TGE: улучшенная модель

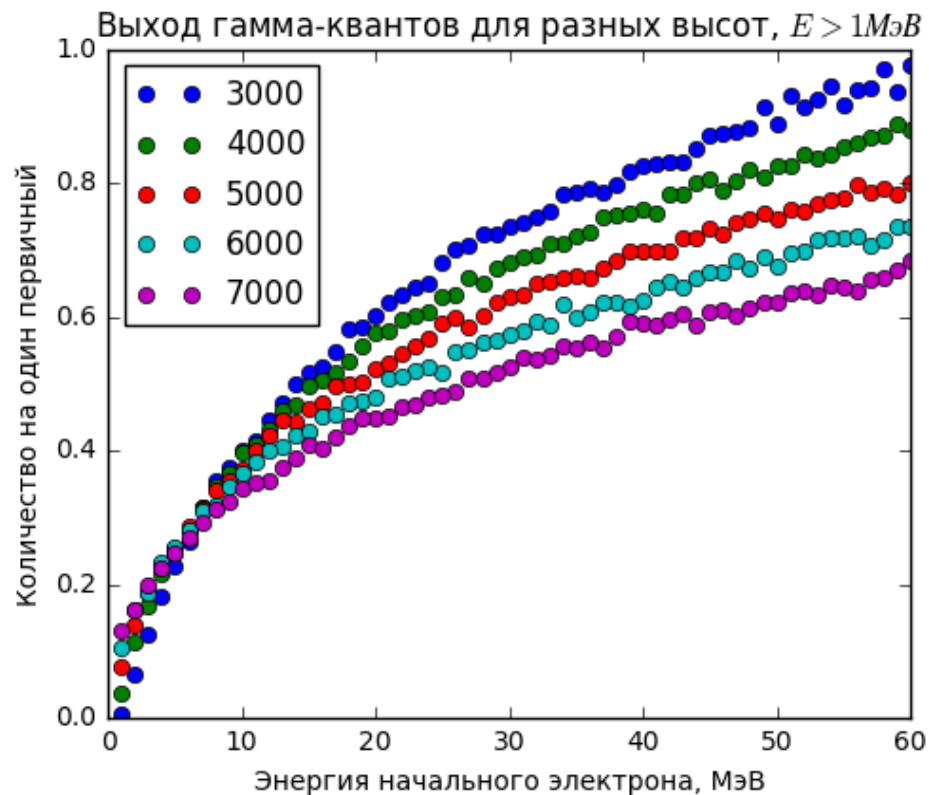
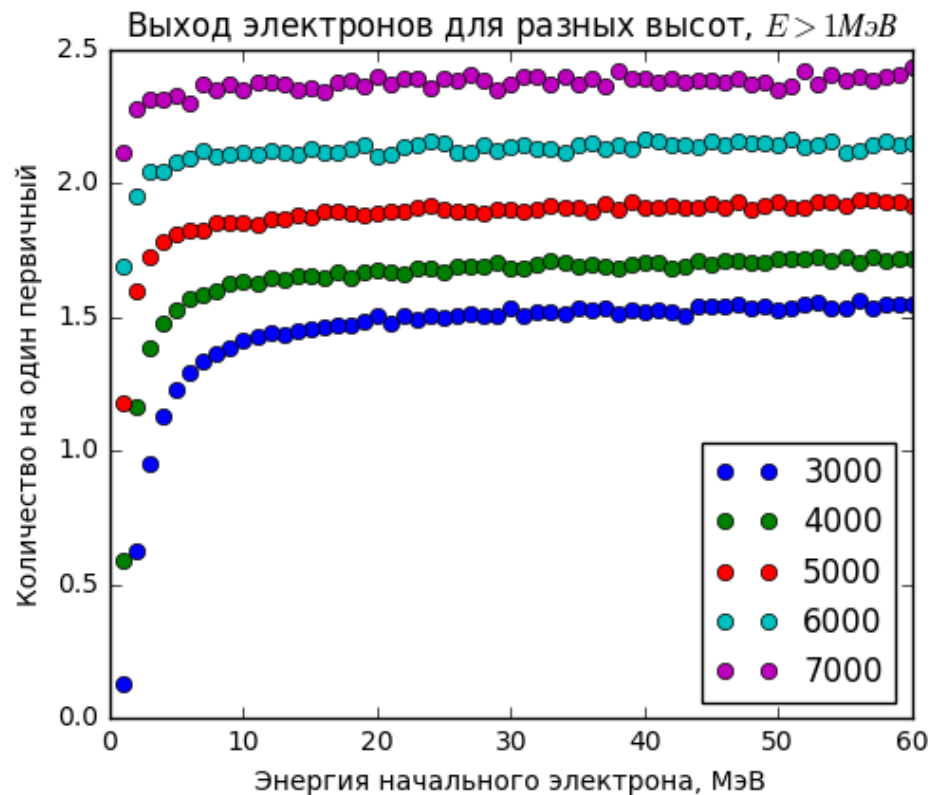
Распространение гамма-квантов и рождение электронов на основе: модели Клейна-Нишины, модели Бете-Гайтлера и интерполяции экспериментальных сечений фотоэффекта.

Электрическое поле: случайно распределенное на основе броуновского движения с учетом отражения заряда от земли

Расчет ионизации в ячейке

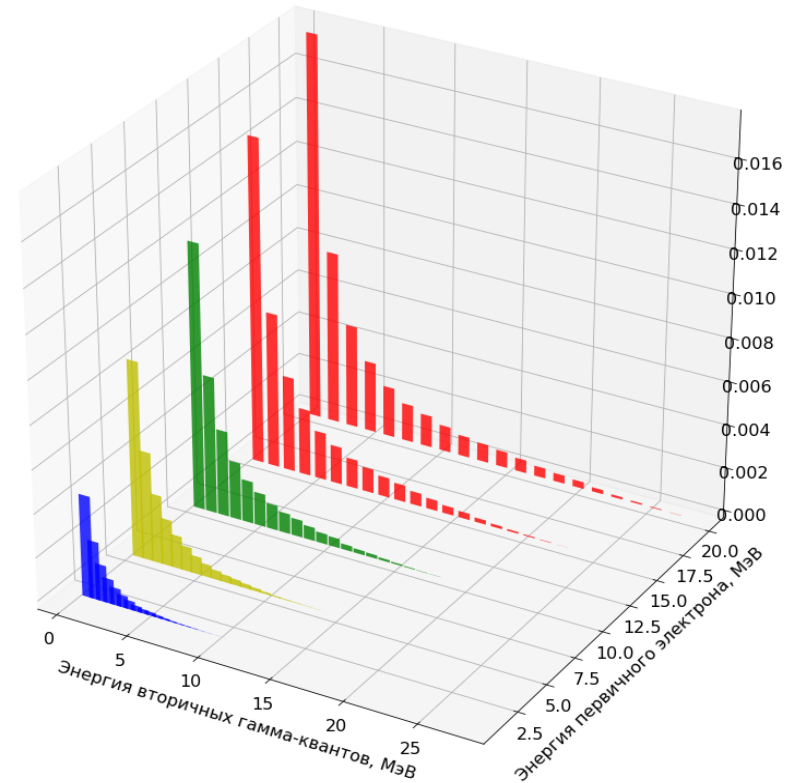


RL-TGE: выход ячейки

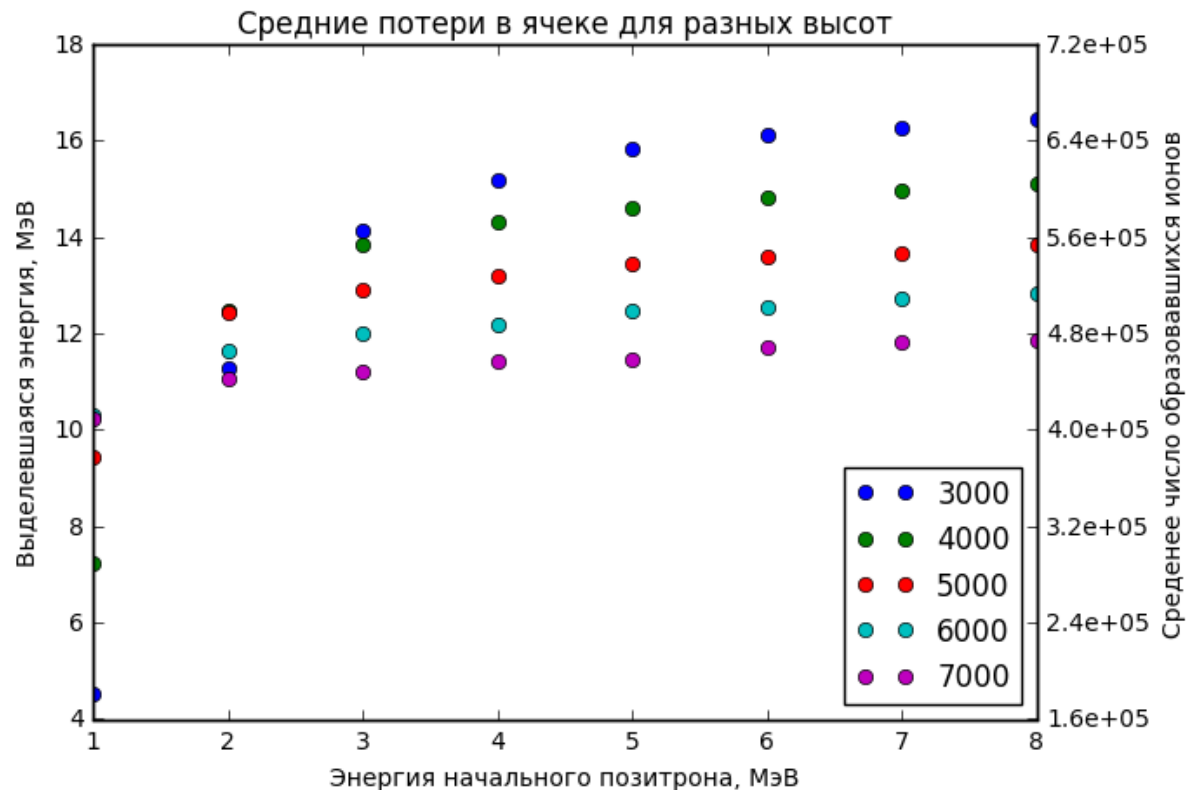


RL-TGE: выход ячейки

Энергетический спектр гамма-квантов с энергией выше 1 МэВ



RL-TGE: ионизация ячейки



Результаты

- Предложена новая модель
- Качественные выводы из модели в согласии с наблюдениями
- Разработан прототип, показывающий целесообразность дальнейшей работы
- Рассчитаны распределения параметров выходных частиц локальных ячеек

Спасибо за внимание

