Высокоэнергичные излучения молниевых разрядов по данным орбитальных и лабораторных экспериментов

д.ф.-м.н. **Сергей Игоревич Свертилов**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва

Атмосфера, ионосфера и магнитосфера Земли могут рассматриваться как элементы сложной нелинейной системы геосфер, динамика которых и механизмы их взаимодействия на сегодняшний день полностью не изучены. В этом плане представляется весьма существенным исследование взаимного воздействия частиц и квантов высоких энергий из ближнего космоса на ионосферу и атмосферу с одной стороны и влияния высокоэнергичных излучений, генерируемых в атмосфере Земли на радиационные условия в околоземном космическом пространстве (ОКП) с другой. Процессы при высоких энергиях в атмосфере Земли так или иначе связаны с ускорением частиц во время грозовых разрядов и проявляются в виде вспышек гамма излучения, наблюдаемых на космических аппаратах (Terrestrial Gamma Ray Flash, TGF), возрастаний интенсивности гамма излучения во время гроз, регистрируемых наземными установками, пучков электронов высоких энергий, проникающих из области ускорения в грозовых облаках в ОКП (Terrestrial Electron Beam, TEB), а также транзиентных грозовых явлений (Transient Lightning Events, TLE).

В лекции будут рассмотрены характеристики указанных выше явлений, представления о физических механизмах, которые приводят к их возникновению. Будут обсуждены данные современных орбитальных и наземных экспериментов по изучению высокоэнергичных излучений молниевых разрядов, результаты лабораторных экспериментов, в которых генерировались разряды с длинной искрой, имитирующих молниевые, по наблюдениям во время таких разрядов жесткого рентгеновского и гамма излучения, а также электронов суб-релятивистских и релятивистских энергий.

Существенное внимание в лекции будет уделено остающимся нерешенным проблемам. В частности, до сих пор нет полной ясности, где в основном ускоряются электроны во время грозового разряда – на лидерно-стримерной стадии грозового разряда, на стримерах в грозовых облаках или между облаками, или над грозовыми облаками. Возможно, что вклад в ускорение дают все указанные механизмы, но остается неясной величина предельно достигаемой энергии ускорения и форма спектров ускоренных в грозовых комплексах частиц.

Отдельной проблемой является возможная связь TGF с другими проявлениями грозовой активности, в частности, с TLE. Комплекс явлений, относящихся к TLE, также будет рассмотрен. Эти явления имеют глобальный характер и могут быть связаны с высотными электрическими разрядами, возникающими при воздействии на мезосферу лавин убегающих электронов, а также высыпающихся электронов из радиационных поясов. Все эти явления, возможно, взаимосвязаны через специфические физические условия и причинно-следственные связи, которые до сих пор еще систематически не установлены. Также до конца не ясна роль частиц космических лучей (галактических и солнечных) в формировании условий возникновения грозовых разрядов. Отдельной актуальной задачей является поиск и изучение, так называемых внегрозовых событий типа TGF и TLE, в том числе в высокоширотных областях.

В заключение, будут обсуждены перспективы будущих орбитальных и лабораторных экспериментов по изучению высокоэнергичных излучений грозовых разрядов, в частности, необходимость мульти-волновых и многоканальных наблюдений. Мульти-волновые наблюдения подразумевают одновременную регистрацию событий в широком диапазоне электромагнитного спектра – от радио до гамма. Многоканальные наблюдения предполагают регистрацию событий типа TGF и TLE совместно с измерениями потоков различных типов частиц, в частности, электронов и нейтронов. Также представляются перспективными орбитальные эксперименты по комплексному изучению высокоэнергичных излучений в атмосфере Земли и ОКП, связанных как с грозовыми разрядами, так и с динамическими процессами в магнитосфере.