



# Динамические процессы в гелиосфере и в околоземном космическом пространстве

Отдел космических наук ИИЯФ –  
итоги 2023 года

*В.В. Калегаяев*

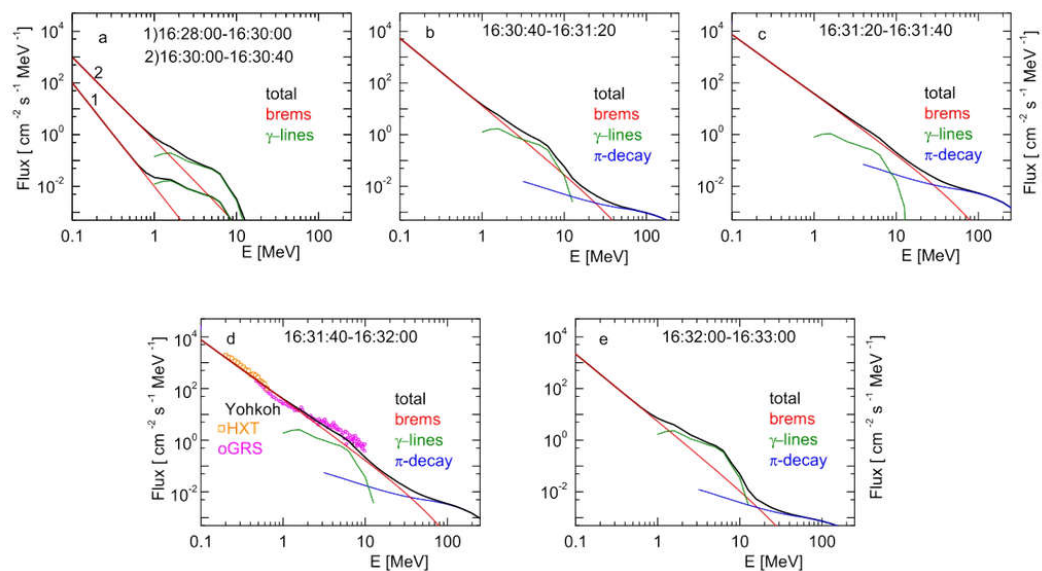
# Солнце

## Немаксвелловские ядерные процессы в плазме звездного ядра (Ворончев В.Т.)

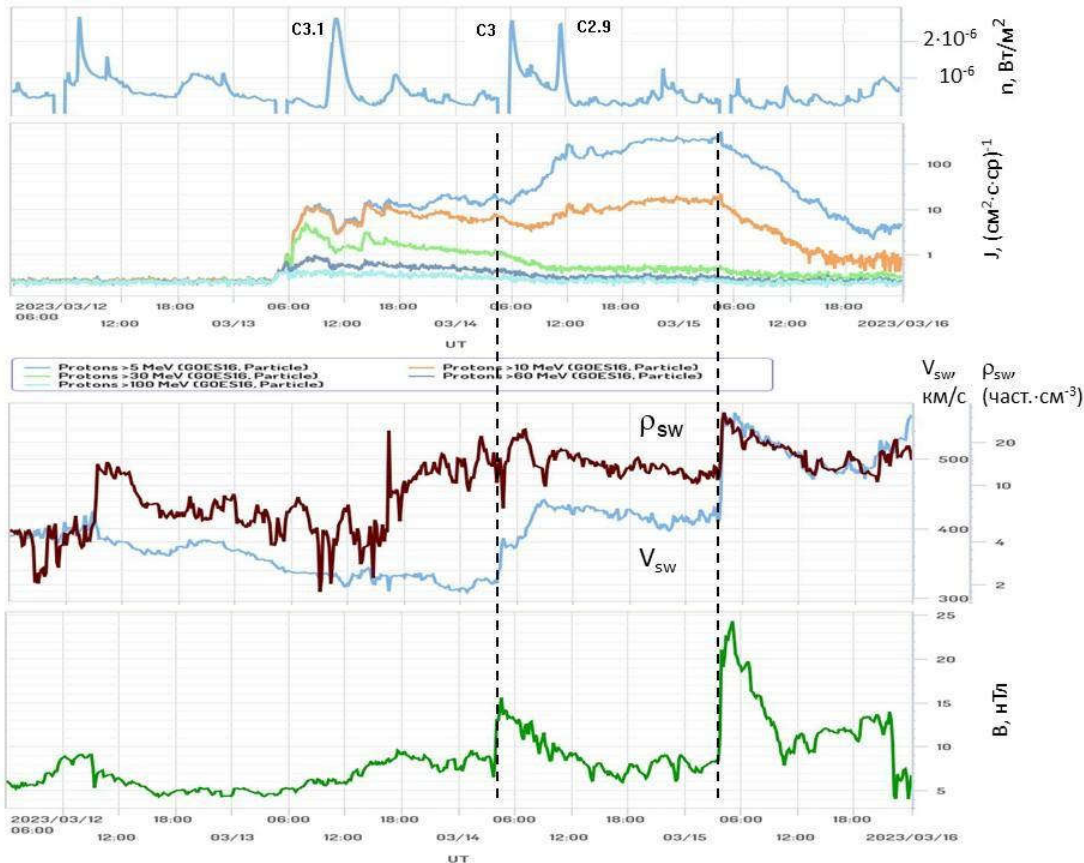
- Исследована особенность протекания CNO-цикла в недрах звезд, вызванная энергичными протонами и  $\alpha$ -частицами – продуктами различных звездных реакций.
- Показано, что эти энергичные частицы могут инициировать надтепловые ядерные процессы в центральной области звезды, способные увеличивать производство энергии в определенных реакциях и повышать содержание изотопов кислорода.

## Ускорение частиц до релятивистских энергий в солнечных вспышках (Юшков Б.Ю.)

- Исследованы процессы ускорения частиц высоких энергий во время импульсной фазы эруптивной солнечной вспышки (X5.3) 25 августа 2001 года.
- По данным КОРОНАС-Ф/СОНГ восстановлены последовательные спектры гамма-излучения вспышки. Гамма-излучение с широким плато в области энергий 30-100 МэВ, возникающее в результате распада нейтральных и заряженных пионов, доказывает ускорение протонов до энергий в несколько сотен МэВ.



# Межпланетная среда (солнечные протонные события)

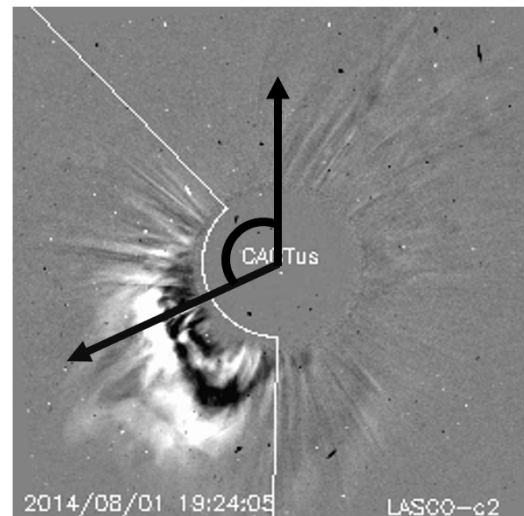
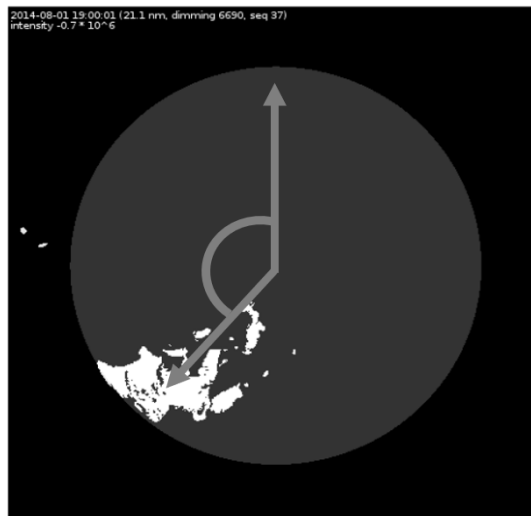


- **Потоки солнечных энергичных протонов в околоземном пространстве 13-23 марта 2023 г. (Н.А. Власова, Ю. И. Логачев и др.+ФИАН, ИПГ)**
  - Проведено исследование потоков солнечных протонов с энергией больше 5 МэВ в околоземном космическом пространстве 13-23.III.2023.
  - Предложен возможный сценарий, объясняющий существование повышенных, почти постоянных, потоков солнечных частиц 15-23.III.2023: образование гелиосферной замкнутой области-ловушки, сформированной двумя межпланетными корональными выбросами массы и областями взаимодействия высокоскоростных и медленных потоков солнечного ветра.

# Межпланетная среда (солнечный ветер)



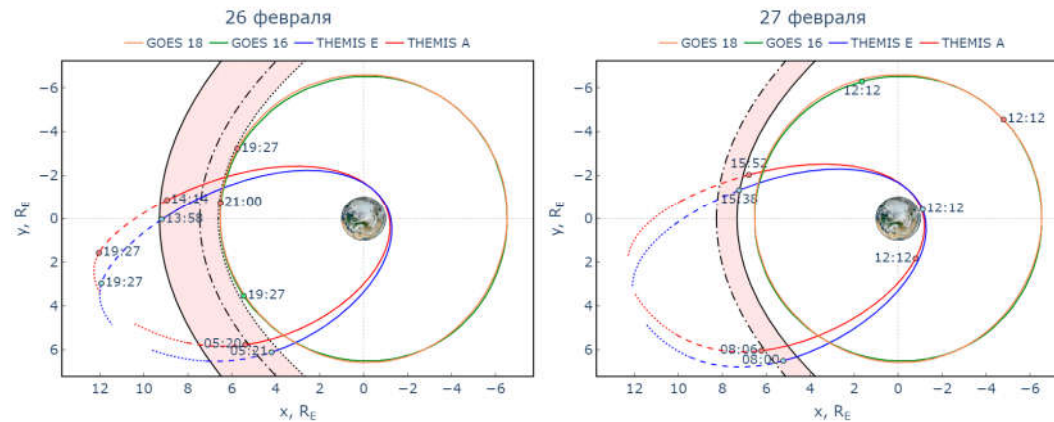
- **Моделирование времени прихода корональных выбросов массы на околоземную орбиту по параметрам диммингов (А.А. Вахрушева, Ю.С. Шугай и др.)**
  - Проведено моделирование времени прихода корональных выбросов массы (КВМ) на околоземную орбиту по параметрам диммингов из центральной части солнечного диска для событий за 2010–2018 гг. Использовалась модель распространения корональных выбросов массы к орбите Земли с использованием алгоритма DBM,
  - Получено эмпирическое соотношение, позволяющее рассчитать скорость КВМ по максимальному скачку яркости димминга (для диммингов, расположенных от  $-10^\circ$  до  $10^\circ$  долготы, от  $-15^\circ$  до  $15^\circ$  широты и связанных с КВМ).



# Магнитосферы Земли и планет

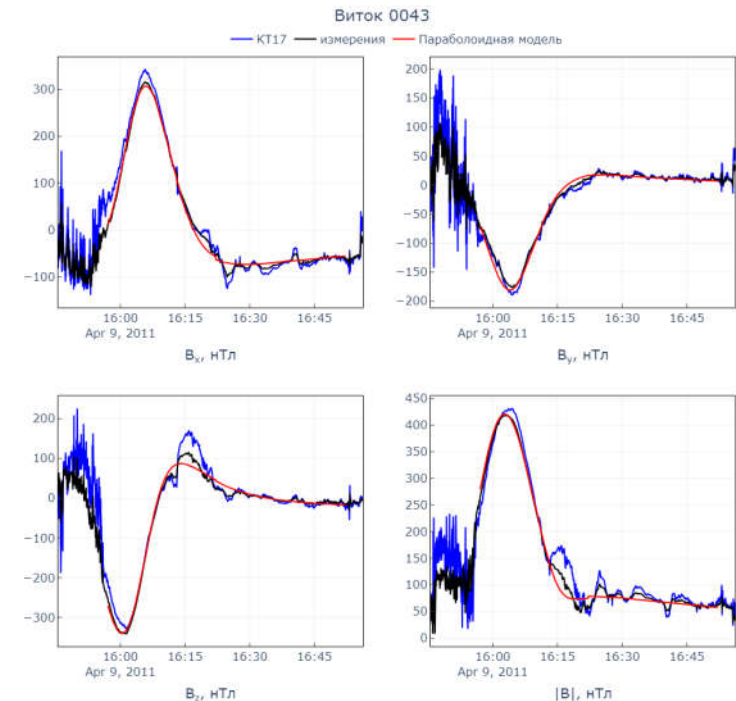
- **Модель магнитосферы Земли для сильно-возмущенных условий (И.И. Алексеев и ЛМП)**

- Исследовались физические последствия экстремального сжатия магнитосферы во время бури 26 февраля 2023 года, когда магнитопауза пересекала геостационарную орбиту.
- По спутниковым данным определены ключевые параметры магнитосферы и восстановлена эволюция магнитного поля магнитосферы и объяснено расширение аврорального овала при экстремально сильном сжатии магнитосферы солнечным ветром.



- **Модель магнитосферы Меркурия (И.И. Алексеев и ЛМП)**

- Проведены сравнения измерений магнитометра на борту КА MESSENGER с результатами моделирования
- Дано объяснение эффекту «двойной магнитопаузы» (Na+)

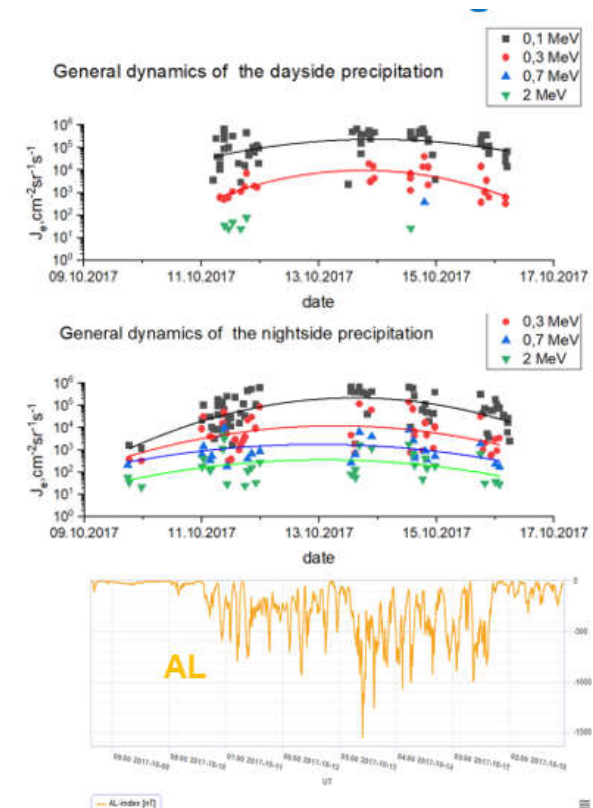
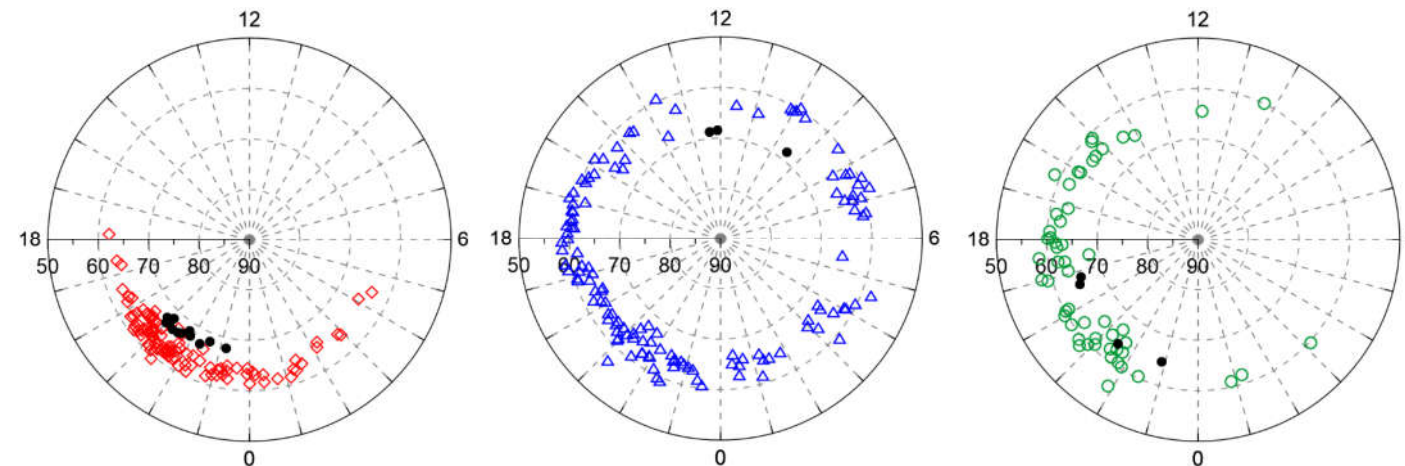


# Магнитосфера Земли (2)



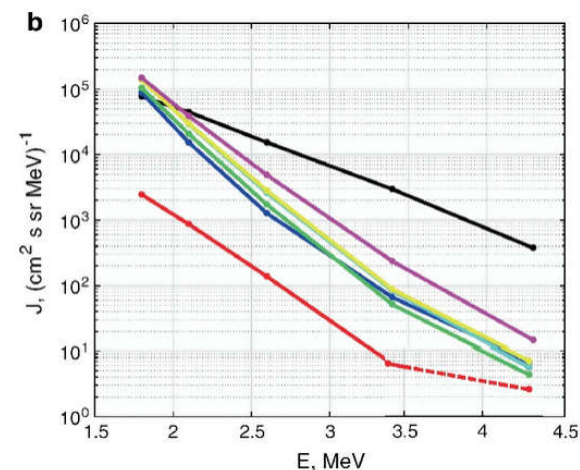
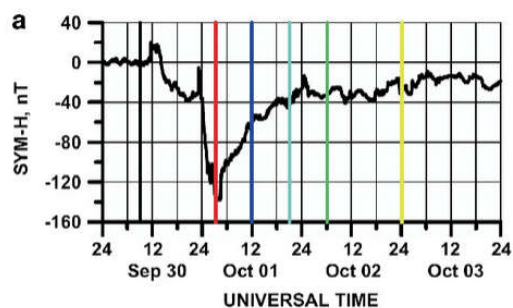
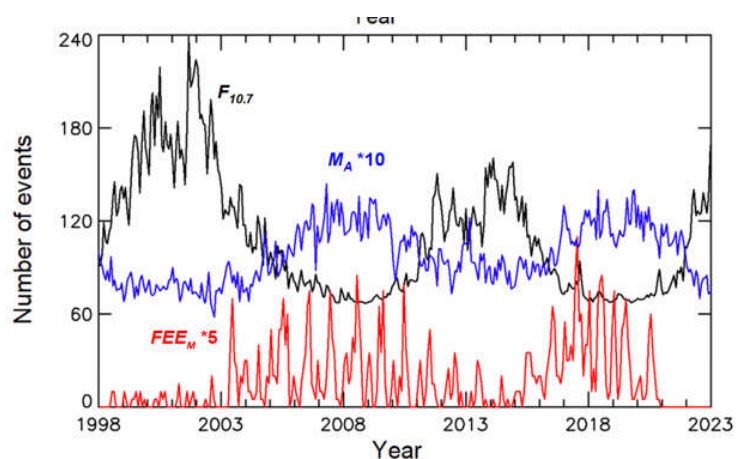
- **Потоки энергичных электронов внешнего радиационного пояса Земли в период продолжительной авроральной активности 10-16.10.2017 (Иванова А.Р., Груздов Д.А. и др. + ПГИ)**

- По данным измерений потоков электронов на аппаратах Van Allen Probes и на полярных спутниках Метеор М2 и спутниках серии POES, расположенных в разных секторах MLT, определены спектральные характеристики потоков захваченных и высыпающих в атмосферу электронов
- Показано, что высыпания носят глобальный характер и развиваются в широких диапазонах L-MLT.
- Определены пространственно-временные характеристики и физические механизмы высыпаний энергичных электронов



# Магнитосфера Земли (3)

- **Солнечно-циклические вариации энергичных электронов в зоне квазизахвата (А.В. Суворова)**
  - Исследовались возрастания потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли (РПЗ) с энергиями в сотни кэВ в зоне квазизахвата на высотах ниже 1000 км в низких широтах за пределами Южно-Атлантической аномалии.
  - Показано, что под воздействием солнечной активности происходит генерация электрического поля в нижней ионосфере, которое обеспечивает быстрый радиальный транспорт электронов РПЗ в зону квазизахвата.
- **Изучение процессов формирования внешнего радиационного пояса (Е.Е. Антонова и др.)**
  - Исследована роль адиабатических эффектов в ускорении электронов РПЗ. Предложена методика эволюции внешнего радиационного пояса с учетом адиабатических процессов в ускорении и замедлении энергичных электронов.



# Магнитосфера Земли (4)

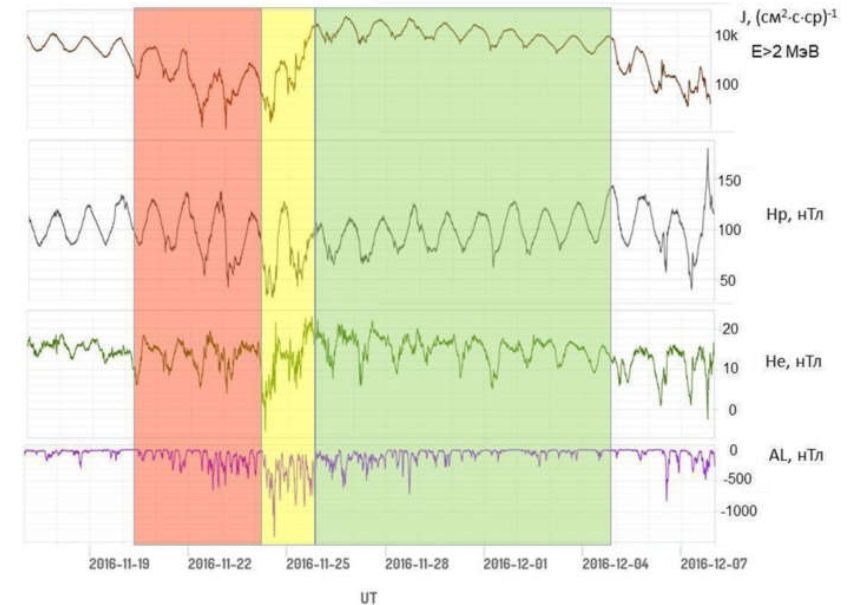
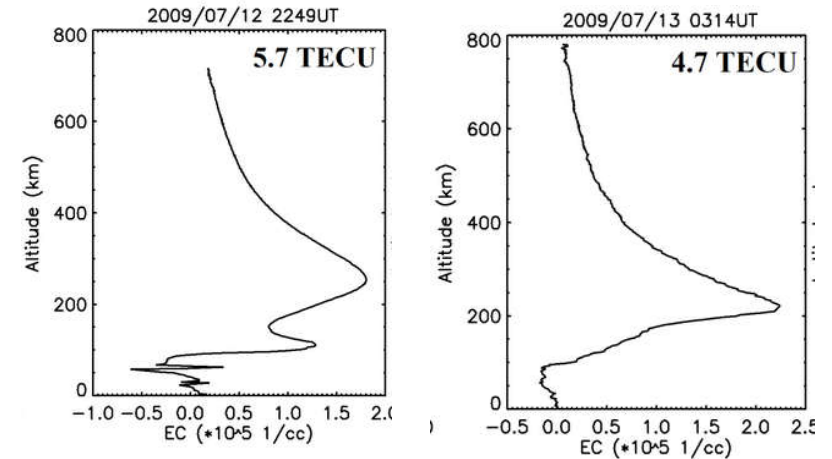


- **Атмосферные эффекты плазменных струй магнитослоя (А.В. Дмитриев, А.В. Суворова)**

- Исследовались высыпания в атмосферу надтепловых ионов с энергией  $<10$  кэВ и энергичных электронов с энергией  $>30$  кэВ, которые наблюдались низковысотными спутниками NOAA/POES в широком долготном диапазоне в спокойный день 12 июля 2009 г..
- Показано, что они связаны с взаимодействием дневной магнитопаузы с быстрыми плазменными потоками магнитослоя, так называемыми джетамми

- **О согласованной динамике магнитосферного магнитного поля и внешнего радиационного пояса (Н.А.Власова и др.)**

- Исследованы источники вариаций ВРПЗ в течение длительного периода умеренной геомагнитной активности 16.X.2016-16.II.2017 на ГСО
- Показано, что источником вариаций радиационного пояса является изменение величины и структуры магнитосферного поля





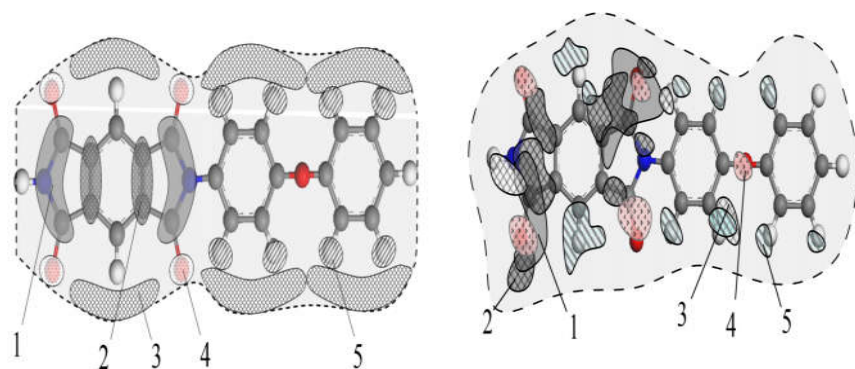
# Магнитосфера Земли (5)

Изучение специфики воздействия космической среды на материалы и оборудование КА в области низких околоземных орбит (до 2000 км) (Л.С. Новиков и Н.Г. Чеченин, по теме 2.4. «Космическое материаловедение»)

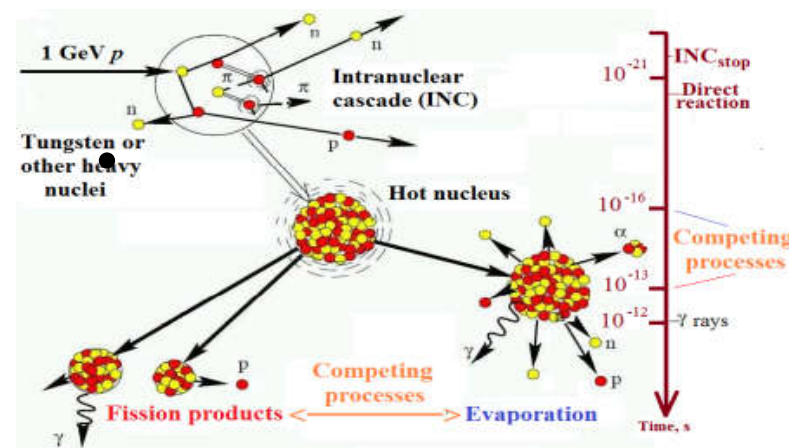
Исследования проводились в двух основных направлениях:

1. стойкость материалов и тонкопленочных покрытий космической техники к воздействию атомарного кислорода верхней атмосферы Земли при больших плотностях потока и флюенсах, характерных для низких орбит;
2. физический механизм одиночных радиационных сбоев в элементах бортовой электроники КА продуктами ядерных реакций, инициируемых частицами радиационных поясов Земли.

Области образования летучих веществ в полимерных звеньях : 1 – CO<sub>2</sub>, 2 – CO, 3 – OH, 4 – O, 5 - H



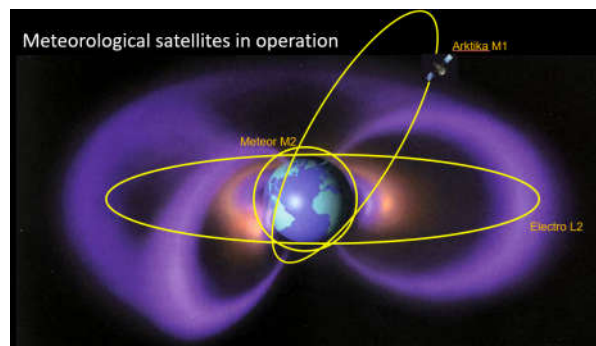
Физические механизмы одиночных радиационных сбоев в элементах микроэлектроники



# Экспериментальные исследования (1)

## • Серийные спутники (Росгидромет)

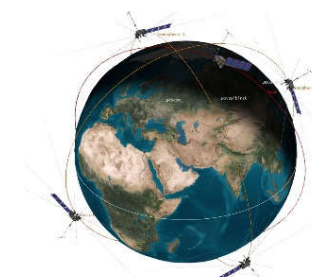
- Метеор М2-3
- Метеор М2-4 (2024)
- Электро Л-4
- Арктика М-2



- Прибор **СКИФ**: Мониторинг радиационных условий в ОКП (СПС, РПЗ, Авроральный овал)

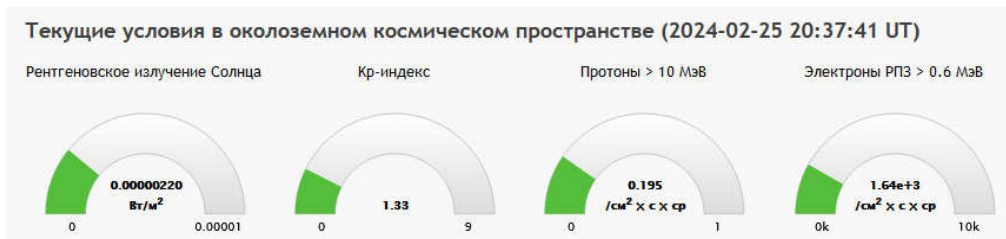
## • Проект Ионосфера (Росгидромет, РАН, МГУ - 2024)

- Мониторинг радиационных условий в ОКП (СПЭР, СГ)
- Наблюдения транзиентных процессов в рентгеновском и гамма излучении астрофизических объектов.



## • Центр данных оперативного космического мониторинга

### (Центр космической погоды МГУ)



# Экспериментальные исследования (2)



- **Орбитальная станция РОС**

- Расчеты радиационных условий на орбите
- Проекты новых экспериментов на борту (КЛПВЭ, ВАТТ, Монитор, Модуляция)

ЦКП МГУ

- **Лунная станция**

- Создание БД российско-китайского ЦД Луны и дальнего космоса в области космических лучей
- Разработка программы научных экспериментов на лунной станции в области исследований космической радиации

- **Кубсаты**

(Доклад С.И.Свертилова)



# Спасибо за внимание!

1. А.Ф. Июдин, В.И. Оседло, С.И. Свертилов **"Космический проект Московского университета "Созвездие-270": первые результаты"**
2. А. Н. Жуков, Л. П. Читта, Д. Бергманс, Х. Петер, С. Паренти, С. Мандал, Р. Азнар Куадрато, У. Шюле, Л. Териака, Ф. Ошер, К. Барчинский, Э. Бюшлен, Л. Харра, Э. Крайкамп, Д. М. Лонг, Л. Родригес, К. Шваниц, П. Дж. Смит, С. Вербек, Д. Б. Ситон. **«Корональные дыры на Солнце: тонкая структура, динамика и связь с солнечным ветром».**
3. П.А. Климов **"Проект RAIPS: технологии физики высоких энергий для исследования полярных сияний"**
4. Панов А.Д. **«Галактические космические лучи и гамма-кванты (эксперименты НУКЛОН и TAIGA)»**
5. Бонвеч Е.А., Галкин В.И., Подгрудков Д.А., Чернов Д.В. **«Исследование космических лучей по отраженному черенковскому свету ШАЛ в ИИЯФ МГУ»**