



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

доц. д-р Галин Борисов (ИАНАО-БАН)

Кокотанекова, Р., Бонев, Т., Николов, Я., Костов, А., Стефанов, С., Мойсеев, М., Стефанова, Д., Кръстев, К.

XVIII годишна конференция на Съюза на астрономите в България 15-16 май 2025 г. гр. Белоградчик



ФОНД
НАУЧНИ
ИЗСЛЕДВАНИЯ

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА



Договор КП-06-Н88/ 5 от 04.12.2024 г. с ФНИ

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Наименование на конкурса: Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания - 2024 г.

Основна научна област, в която проектът кандидатства: Физически науки

Ключови думи: Слънчева система, астероиди, комети, фотометрия, поляриметрия

XVIII годишна конференция на Съюза на астрономите в България 15-16 май 2025 г. гр. Белоградчик



ФОНД
НАУЧНИ
ИЗСЛЕДВАНИЯ

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА



Договор КП-06-Н88/ 5 от 04.12.2024 г. с ФНИ

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Екип

Учени

доц. д-р Галин Борисов

проф. д-р Таню Бонев
физик Андон Костов

Постдокторанти

гл. ас. д-р Росита Кокотанекова
гл. ас. Д-р Янко Николов

Докторанти

Стефан Стефанов
Мирослав Мойсеев

Студенти

Десислава Стефанова
Константин Кръстев

Институт по астрономия с национална астрономическа обсерватория, Българска академия на науките

XVIII годишна конференция на Съюза на астрономите в България 15-16 май 2025 г. гр. Белоградчик

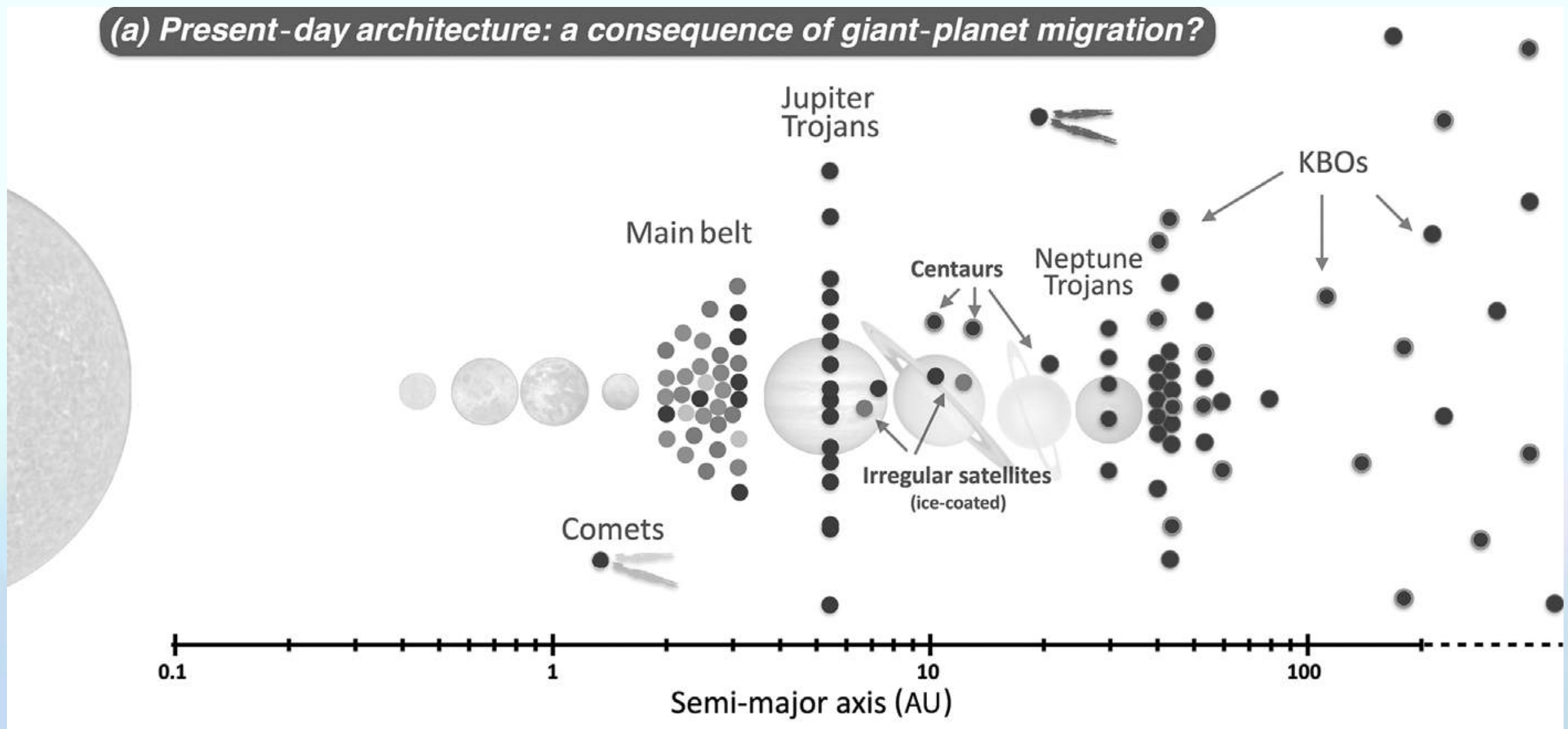
Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Актуалност

Малките тела в Слънчевата система (астероиди, комети, обекти от пояса на Кайпер, ледени спътници, пръстени и прах) представляват архив на състоянието на протослънчевия диск в различни моменти и места от времето на формирането на Слънчевата система. Чрез изучаване на физическите свойства и химическия състав на тези обекти с помощта на различни най-съвременни наблюдателни техники може да се изгради по-пълна картина за състава, историята и бъдещето на тези тела. Голямото разнообразие на материала в основния астероиден пояс и популациите на близките до Земята обекти ни кара да заключим, че Слънчевата система е претърпяла значително смесване по време на формирането на астероидите, кометите и планетите. Как и кога са се премествали тези тела, поставя важни ограничения върху движенията на планетите по време на тяхното формиране, ранната еволюция на Слънцето и дори дали на границата на Слънчевата система може да се крият неоткрити обекти.

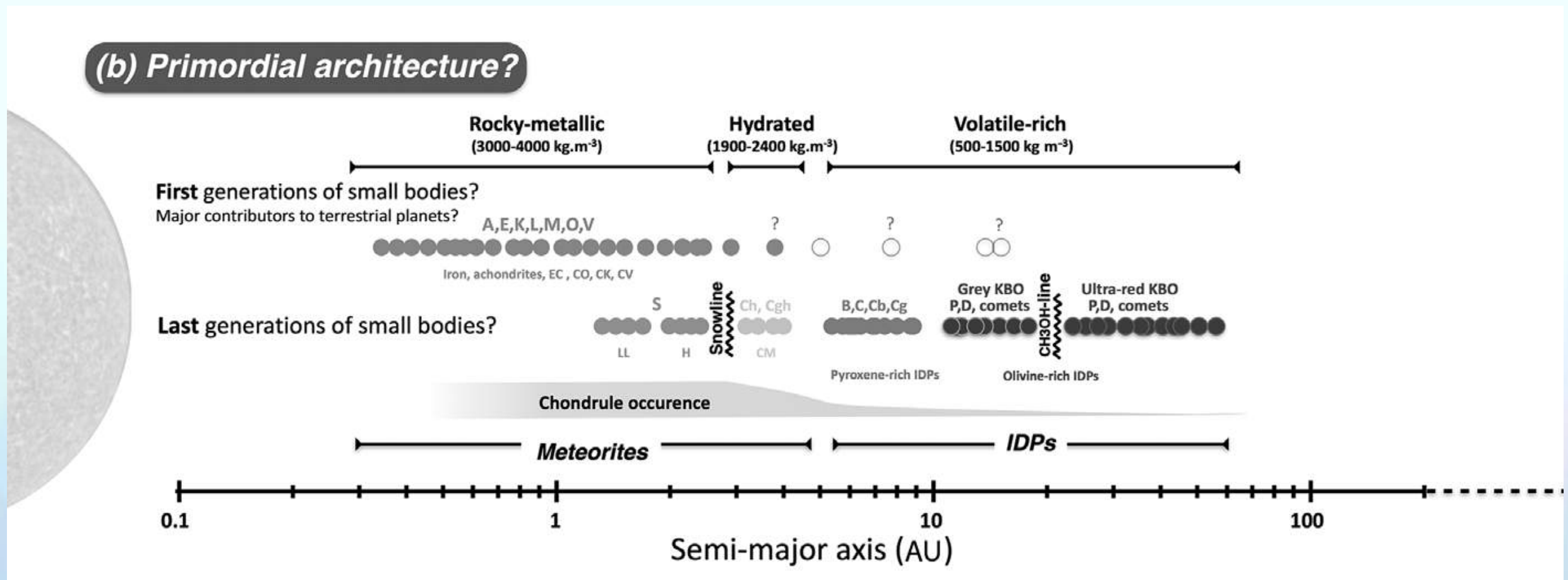
Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Актуалност



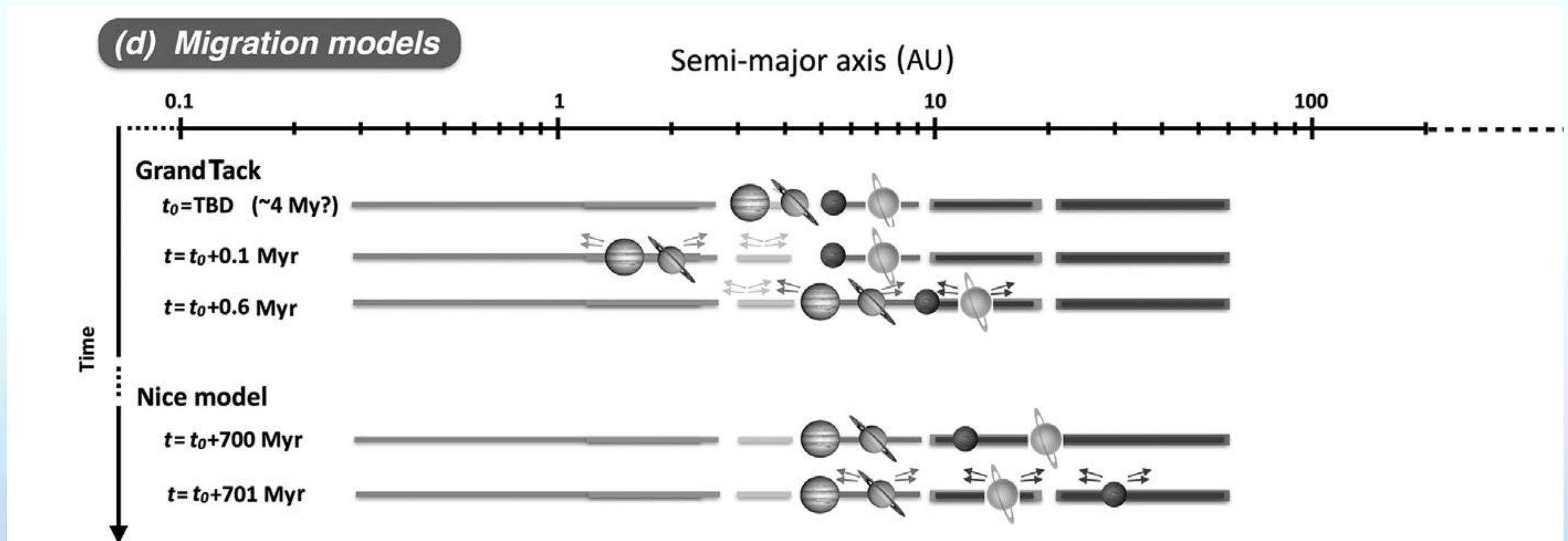
Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Актуалност



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Актуалност



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

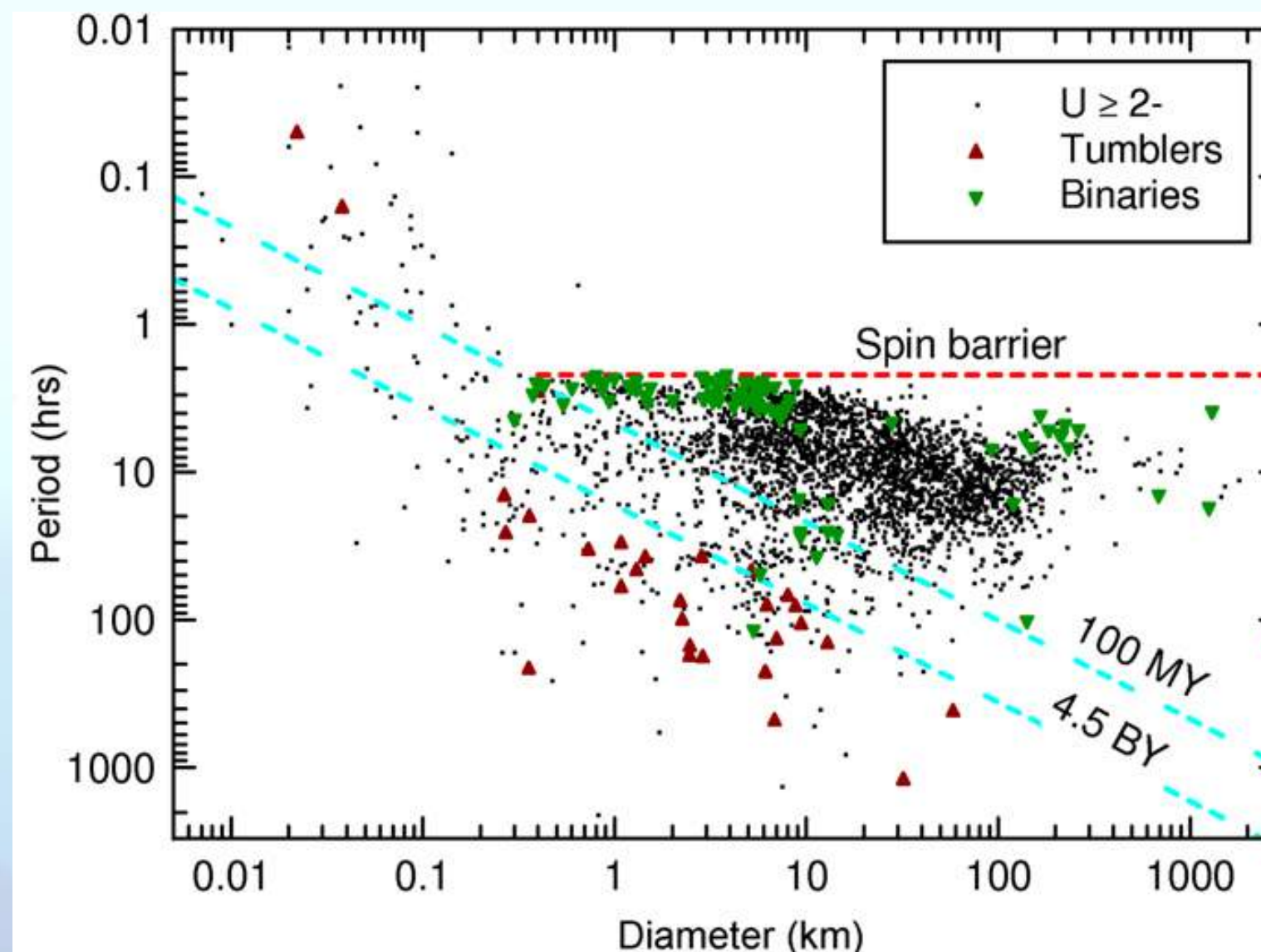
Цели

- Скорости на въртене, форма и таксономия на астероиди
- Астероиди на кометни орбити в околоземното пространство: светлинни криви на въртене; фазови функции; криви на поляризация
- Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия
- Класификация на кометите въз основа на техните поляриметрични характеристики
- Мониторинг на динамично нови комети (DNCs): ниво на активност (Afr); структура и характеристики на комата и опашката; фазова функция на комата; поляризация

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Скорости на въртене, форма и таксономия на астероиди

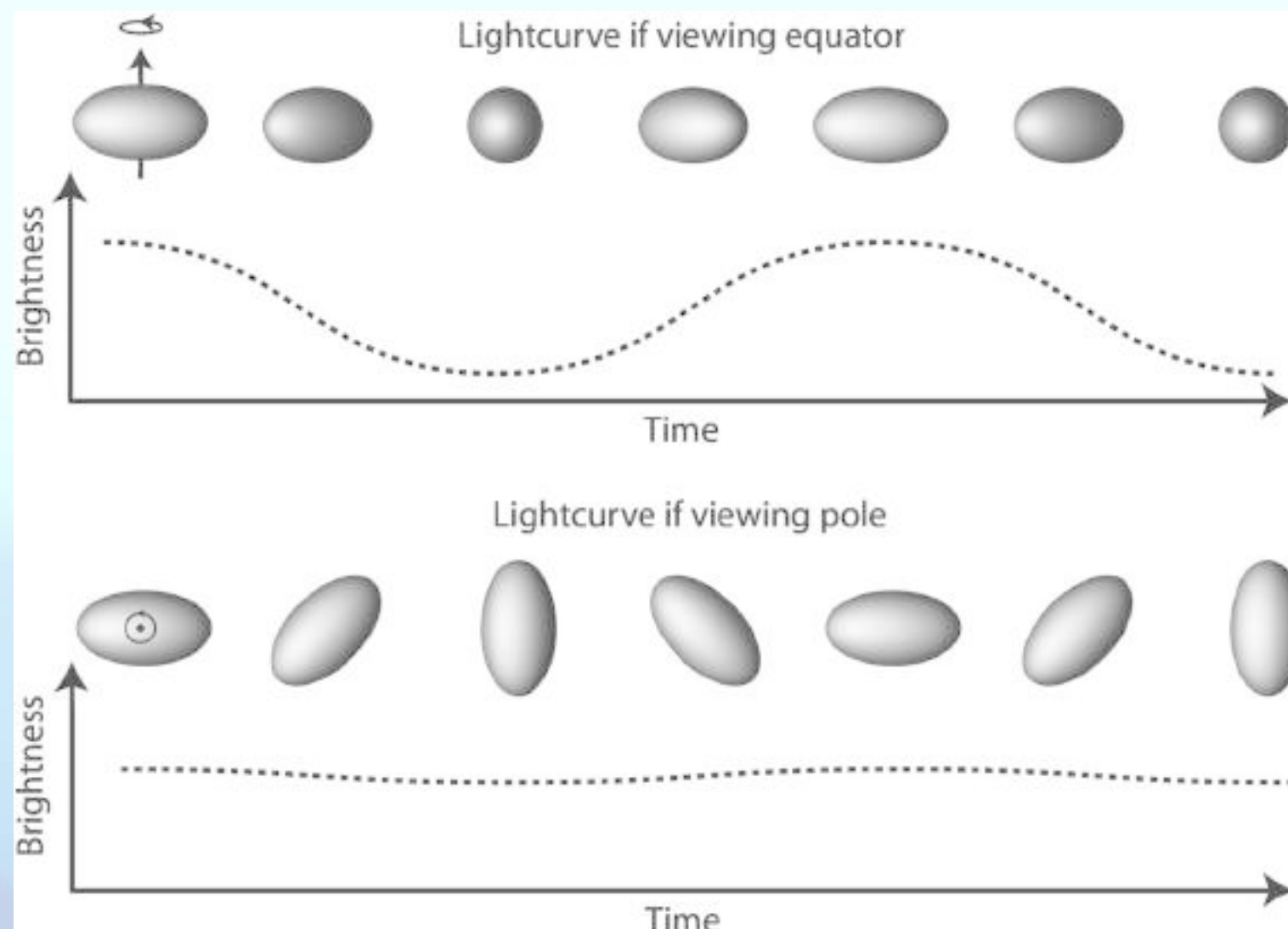
- Фотометричните криви на блясък са и ще останат основен източник на информация за астероидите, чиито размери и разстояния позволяват получаването на дискови изображения само за ограничен брой.



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Скорости на въртене, форма и таксономия на астероиди

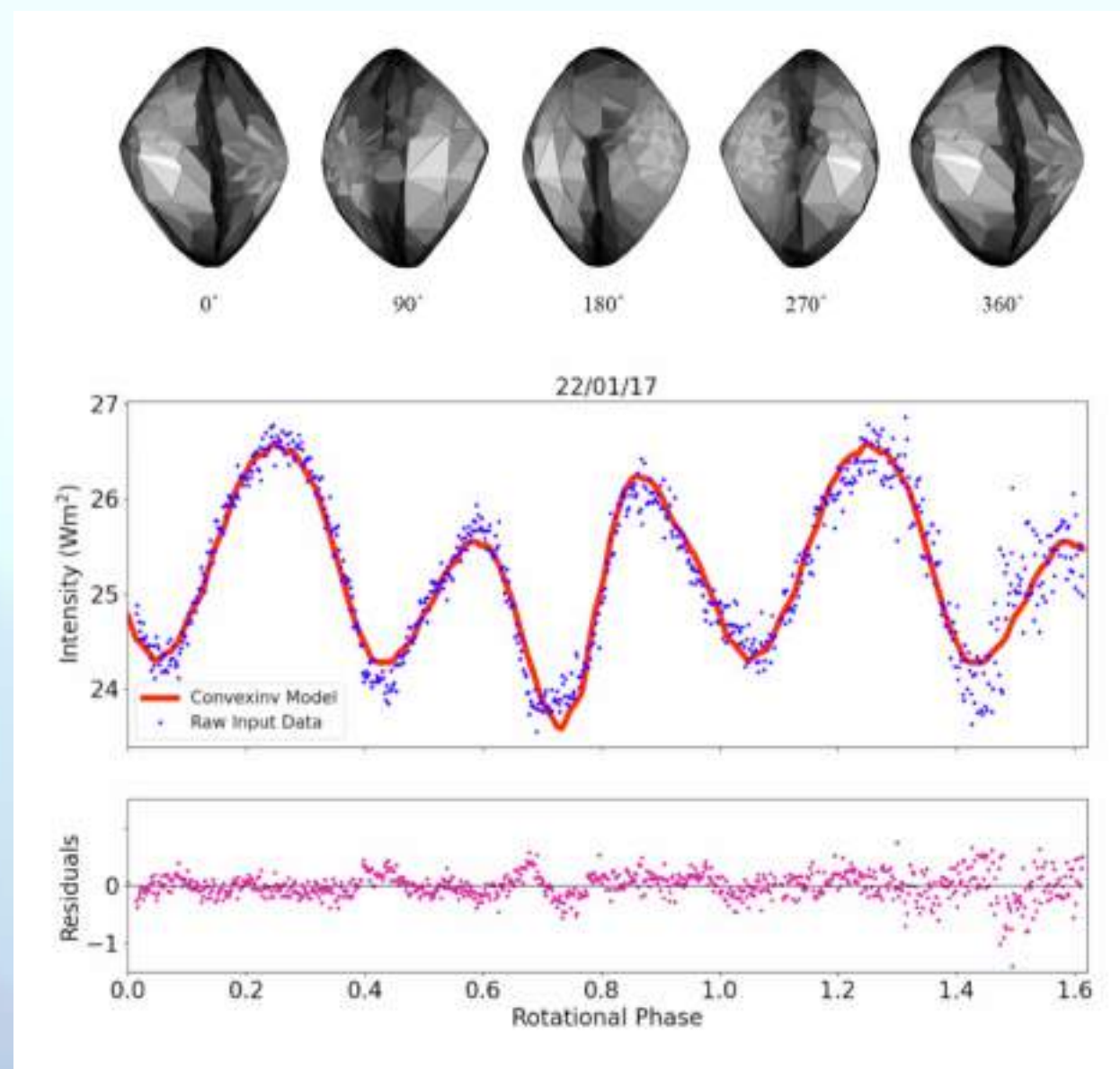
- Кривата на блясък на астероида се построява чрез завъртане на елипсоид с неправилна форма. В обичайния случай кривите на блясък трябва да имат два максимума и два минимума с приблизително еднаква дълбочина по време на една фаза на въртене.



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Скорости на въртене, форма и таксономия на астероиди

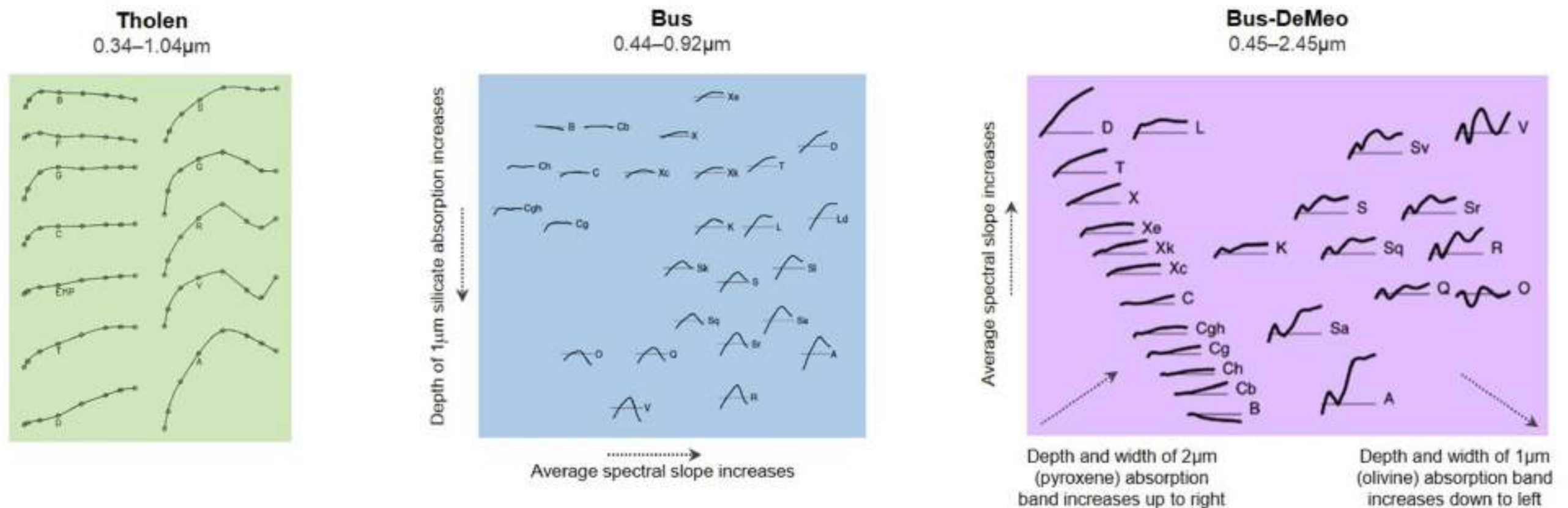
- Инверсията на кривите на блясък винаги ще бъде важен инструмент в изследването на малките тела от нашата Слънчева система. Въпреки големия брой наблюдавани криви на блясък и анализите им с различни методи, основният въпрос който остава без отговор е колко точно информация можем да получим от кривите на блясък?



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Скорости на въртене, форма и таксономия на астероиди

- Основна характеристика на един астероид е неговият цвят. Падащата върху него слънчева светлина се разсейва или поглъща от минерални зърна на повърхността на астероида; в зависимост от оптичните свойства на тези зърна, частта от светлината, която се отразява към Земята, може да варира като функция на дължината на вълната. За по-подробен анализ използваме т.нар. отражателна спектроскопия, чиято основна цел е да определи съотношението на отразената слънчева светлина към падащата слънчева светлина като функция на дължината на вълната.



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Астероиди на кометни орбити в околоземното пространство:
светлинни криви на въртене; фазови функции; криви на поляризация

- Около 10% от астероидите, намиращи се в близост до Земята, могат да имат кометен произход. Това са неактивни комети - обекти, които вече не са активни, но които все още могат да са богати на органични и летливи вещества под повърхностните си слоеве.
- Тези обекти, известни като астероиди на кометни орбити (АКО), представляват потенциален интерес за проектите за добив на материали от астероиди (богати на вода и органични вещества) и за проектите за планетарна отбрана (поради различните физични свойства на кометите ударите им ще имат различни характеристики и кометите ще изискват различни мисии за отклоняване).

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Астероиди на кометни орбити в околоземното пространство:
светлинни криви на въртене; фазови функции; криви на поляризация

- Трудно е да се разграничат астероидите от кометите в популацията на АКО; Определянето на албедото изисква чувствителни наблюдения в инфрачервената област, а спектралния анализ изисква големи телескопи. Малките оптични телескопи позволяват да се изследват техните въртения, фазови функции и поляризация. Кометните обекти имат по-ниска плътност, така че не могат да бъдат бързи ротатори (Jewitt, 2021); Кометите не показват опозиционни ефекти и се очаква неактивните комети да имат плитки фазови функции; Geem 2022 показва, че поляризационните криви могат да разкрият повърхностите на неактивните комети и да ги разграничат от астероидите от S-тип.

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия

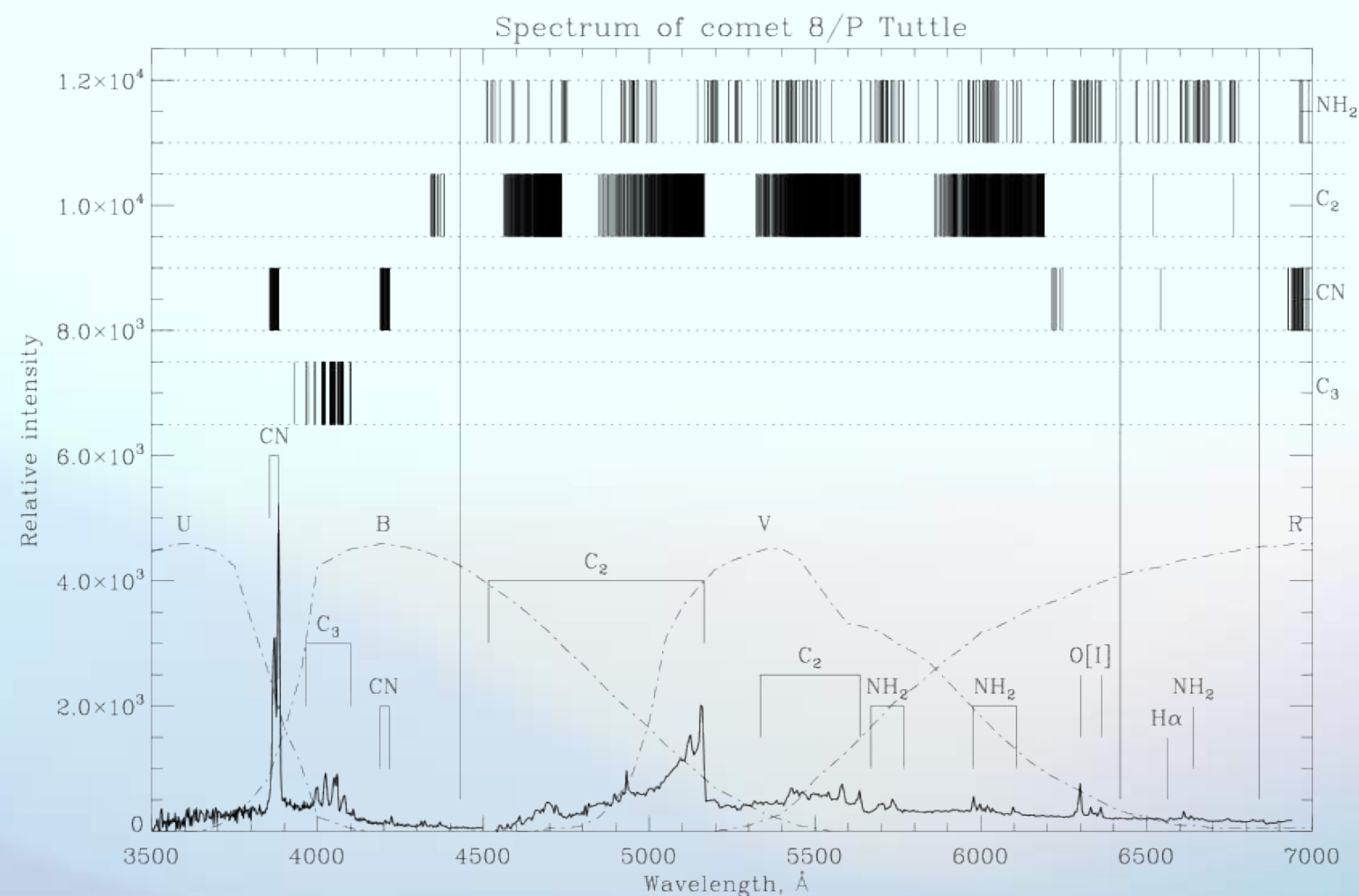
- Понастоящем кометите са най-важният източник на знания за естеството и относителното изобилие на летливите вещества, които са кондензирали във външната Слънчева система и които са попаднали в ядрата и спътниците на планетите-гиганти, както и в обектите от облака на Койпер.



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия

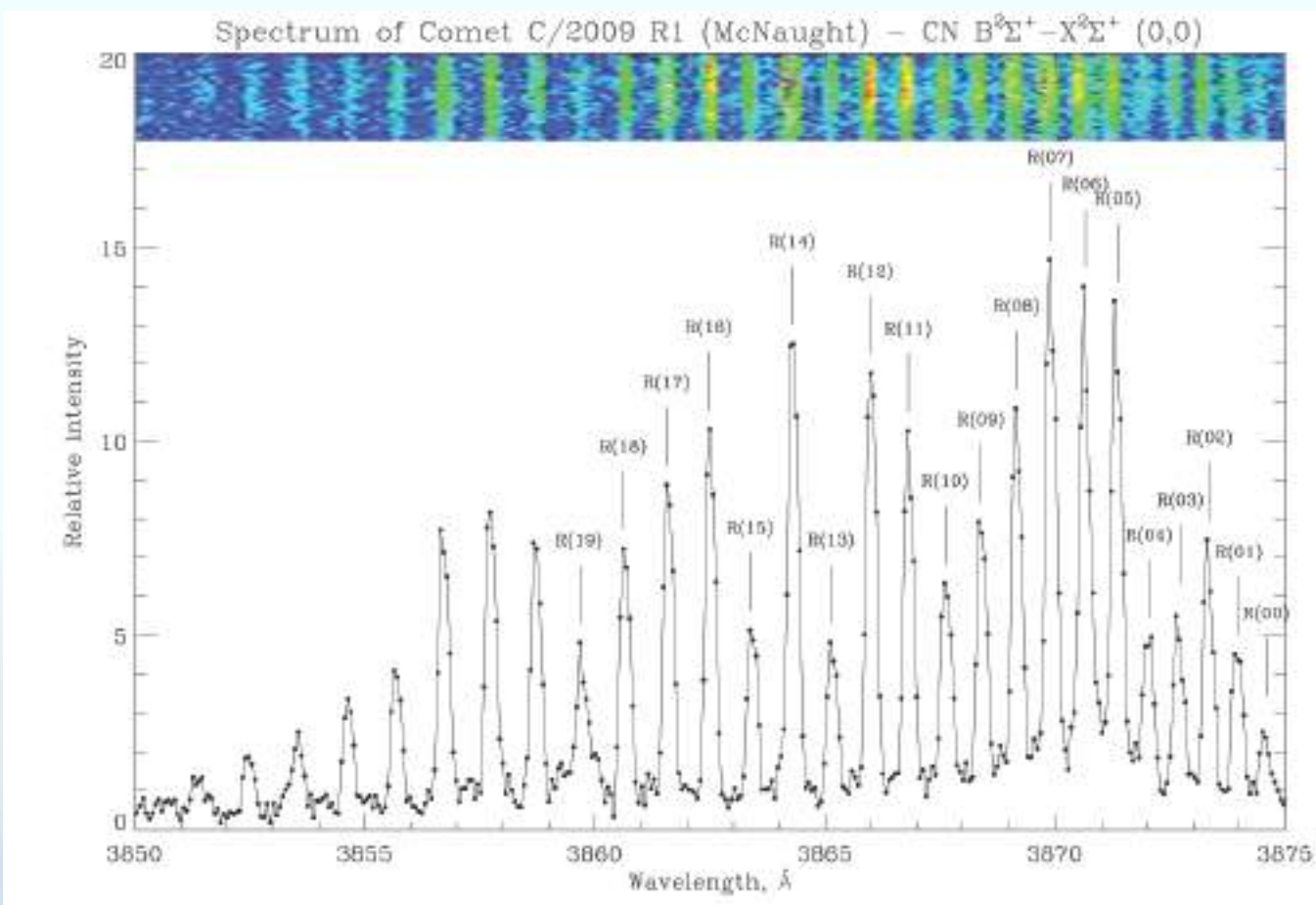
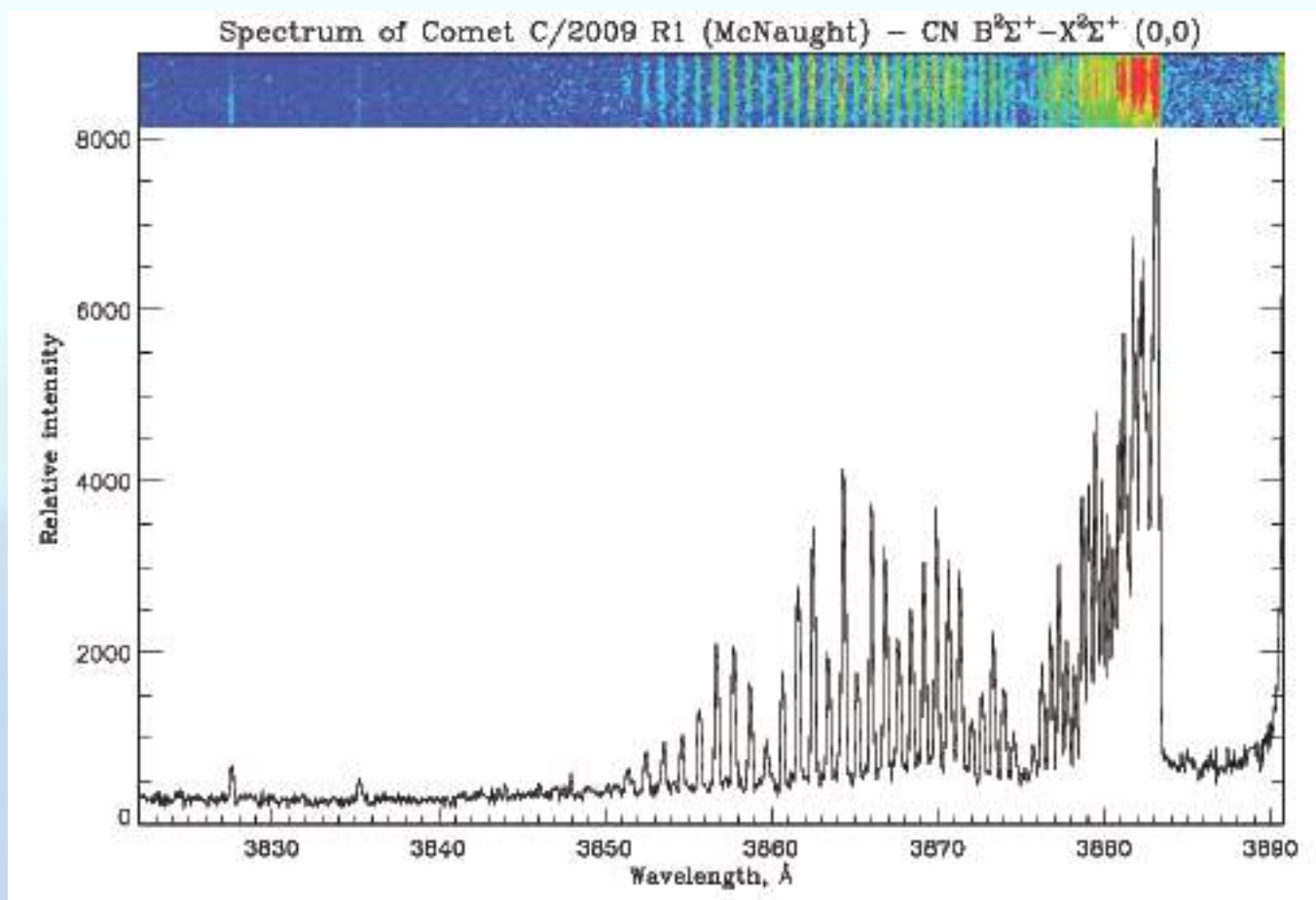
- Спектрите на кометите се състоят предимно от емисии на молекули, които се наслагват върху континуум, получен от слънчевата светлина, отразяваща се от праха. Голяма част от емисиите са резултат от резонансната флуоресценция на газа.



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия

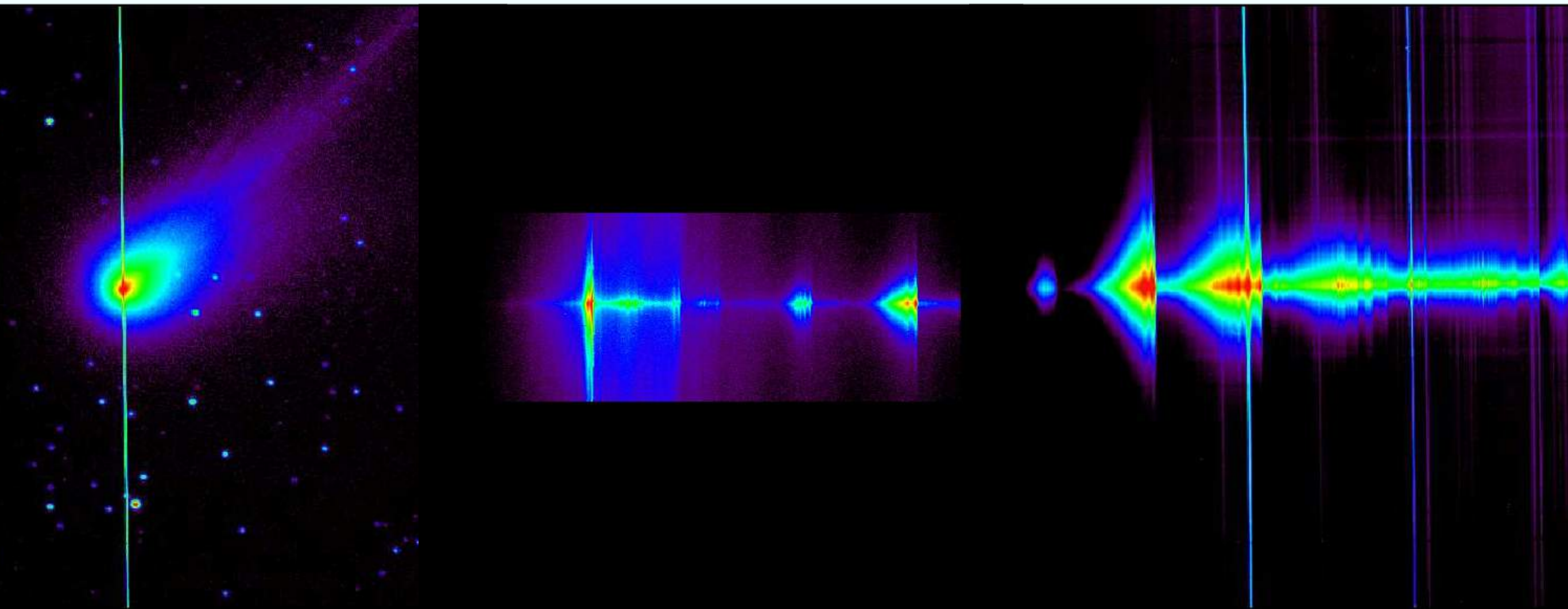
- Оптичните спектри на кометите съдържат малко родителски видове. Спектрите са предимно ивици на фрагментирани молекули (често наричани дъщерни).



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

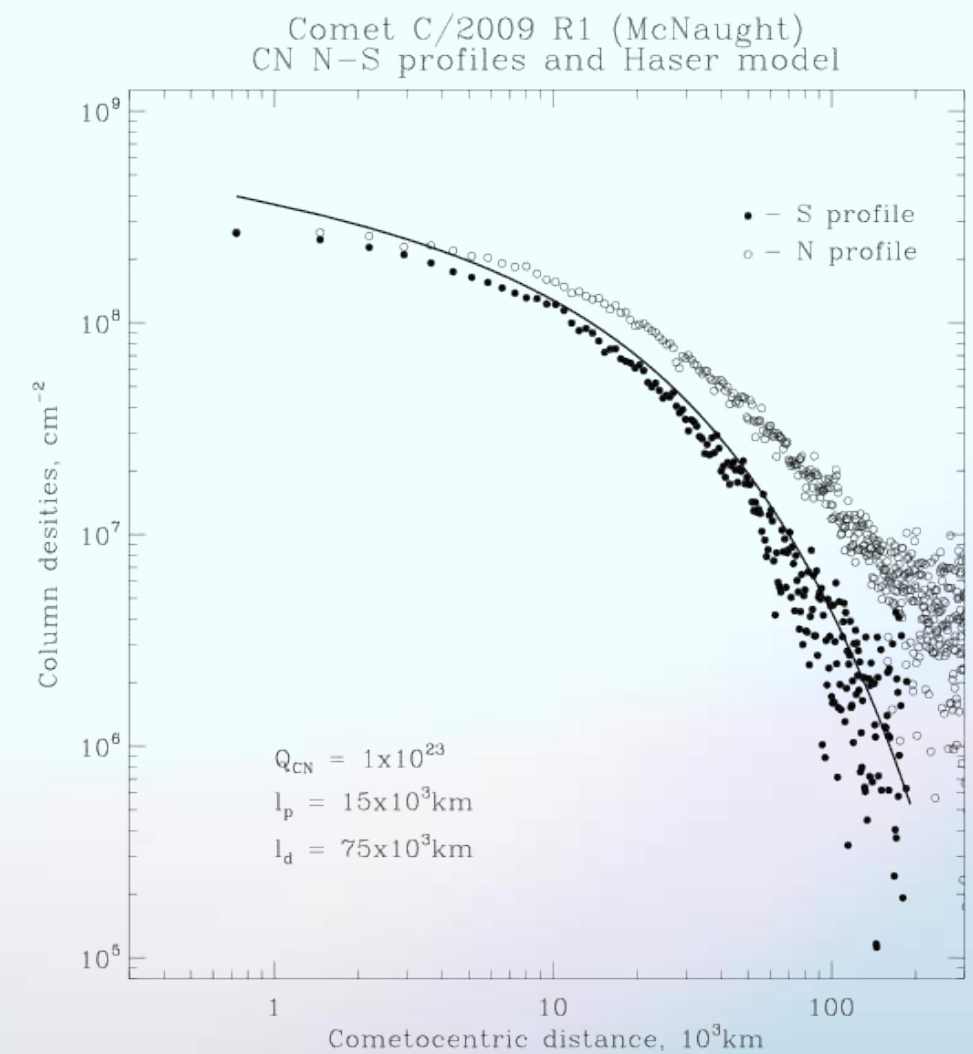
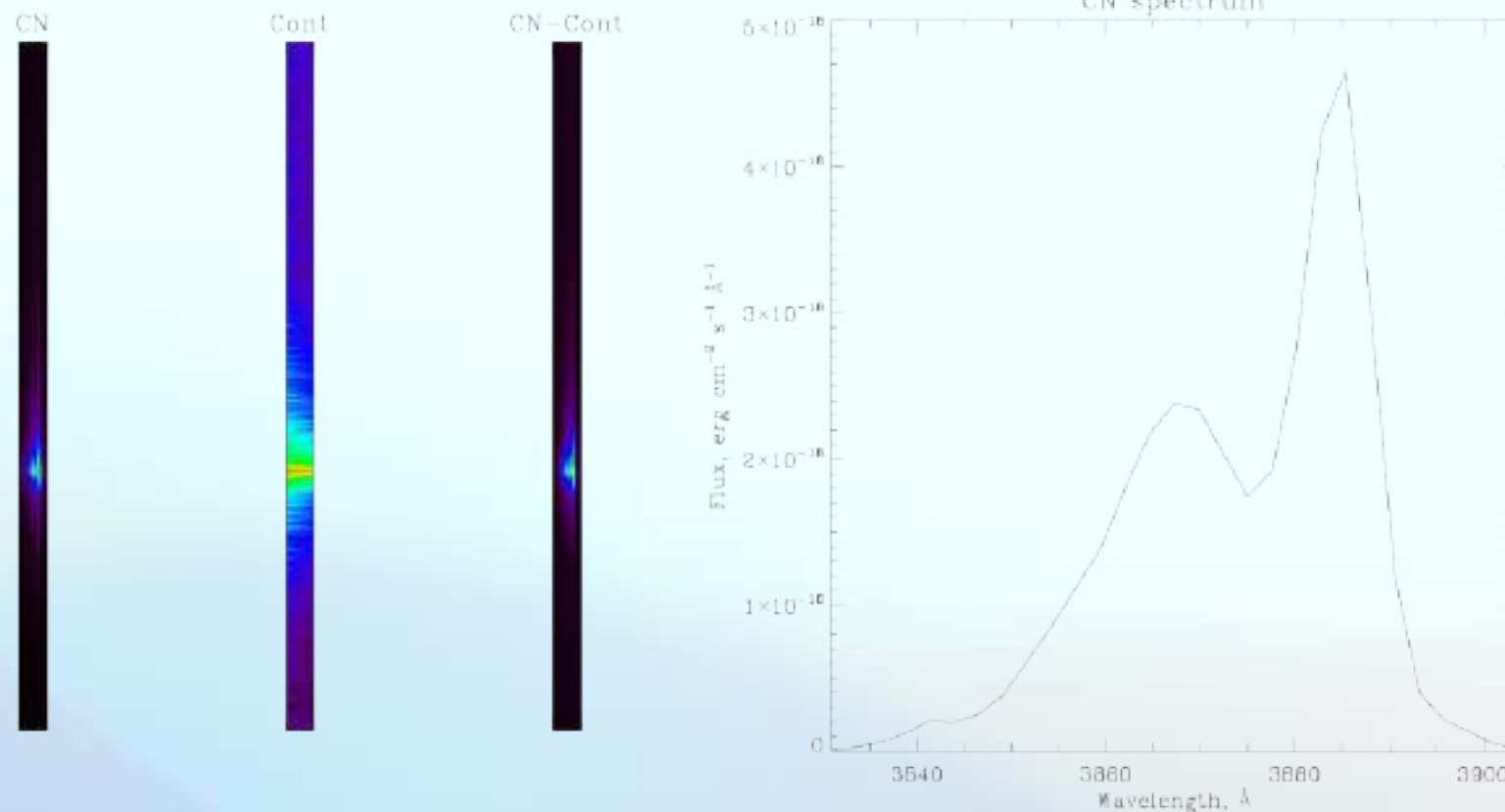
Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия

- Спектралните наблюдения имат предимството, че могат лесно да изолират молекулните характеристики от континуума, но страдат от малките апертури. Някои наблюдатели използват спектрографи с дълъг процеп, които позволяват измервания в комата като функция на кометоцентричното разстояние.



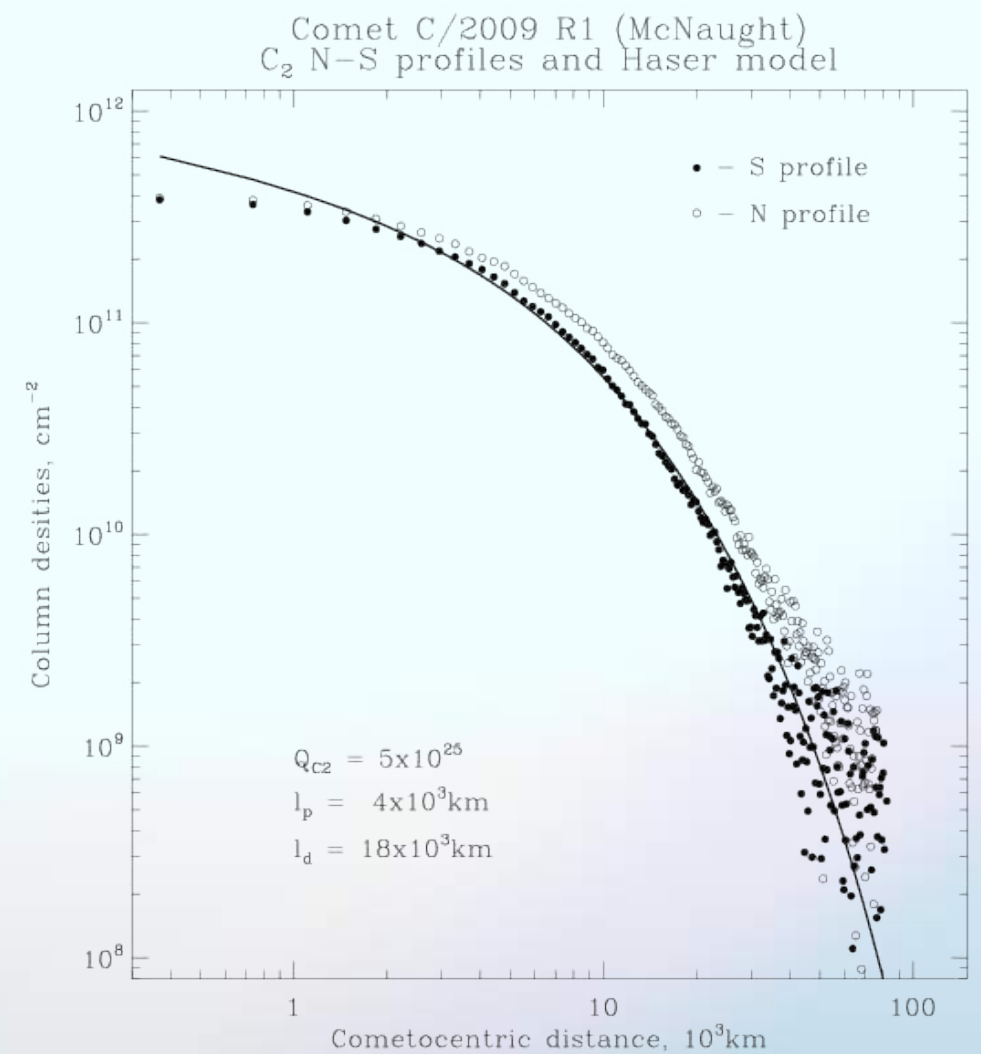
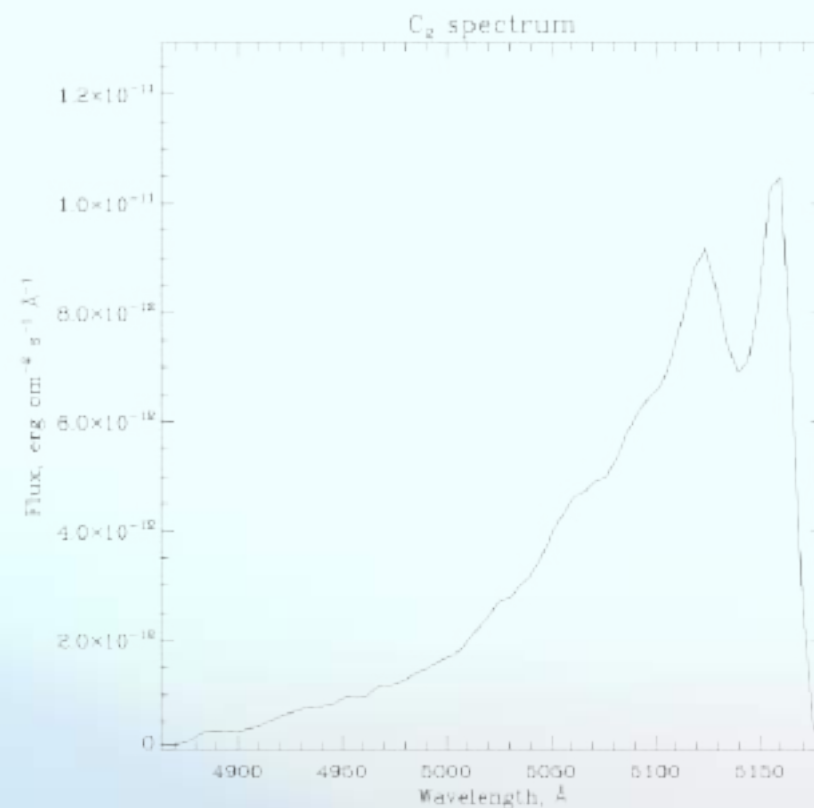
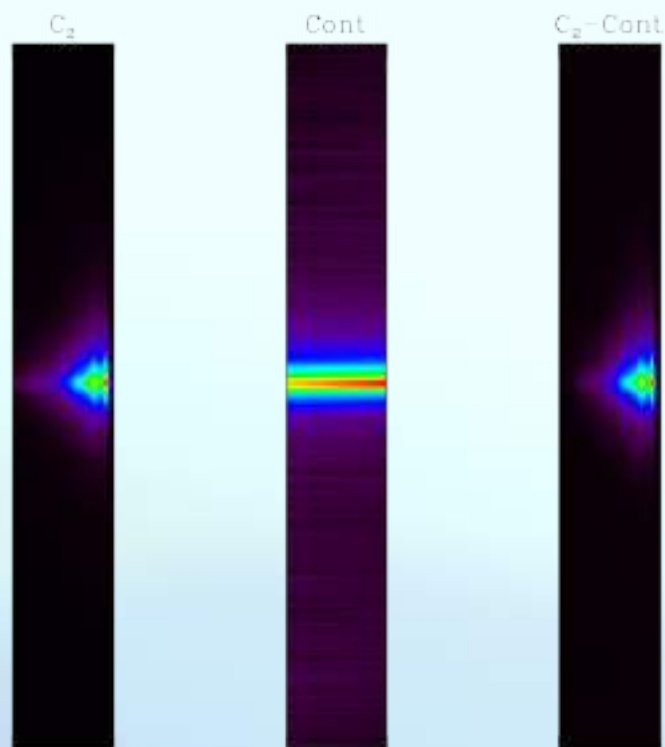
Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

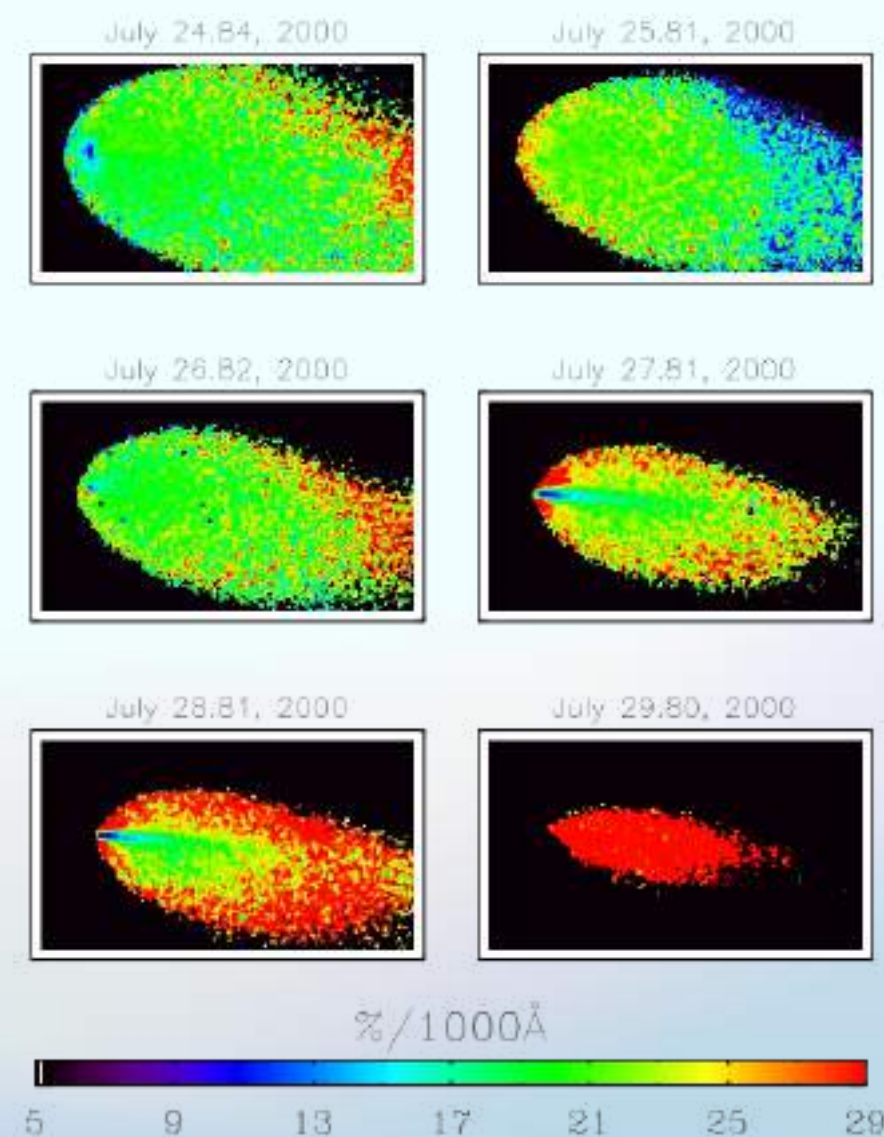
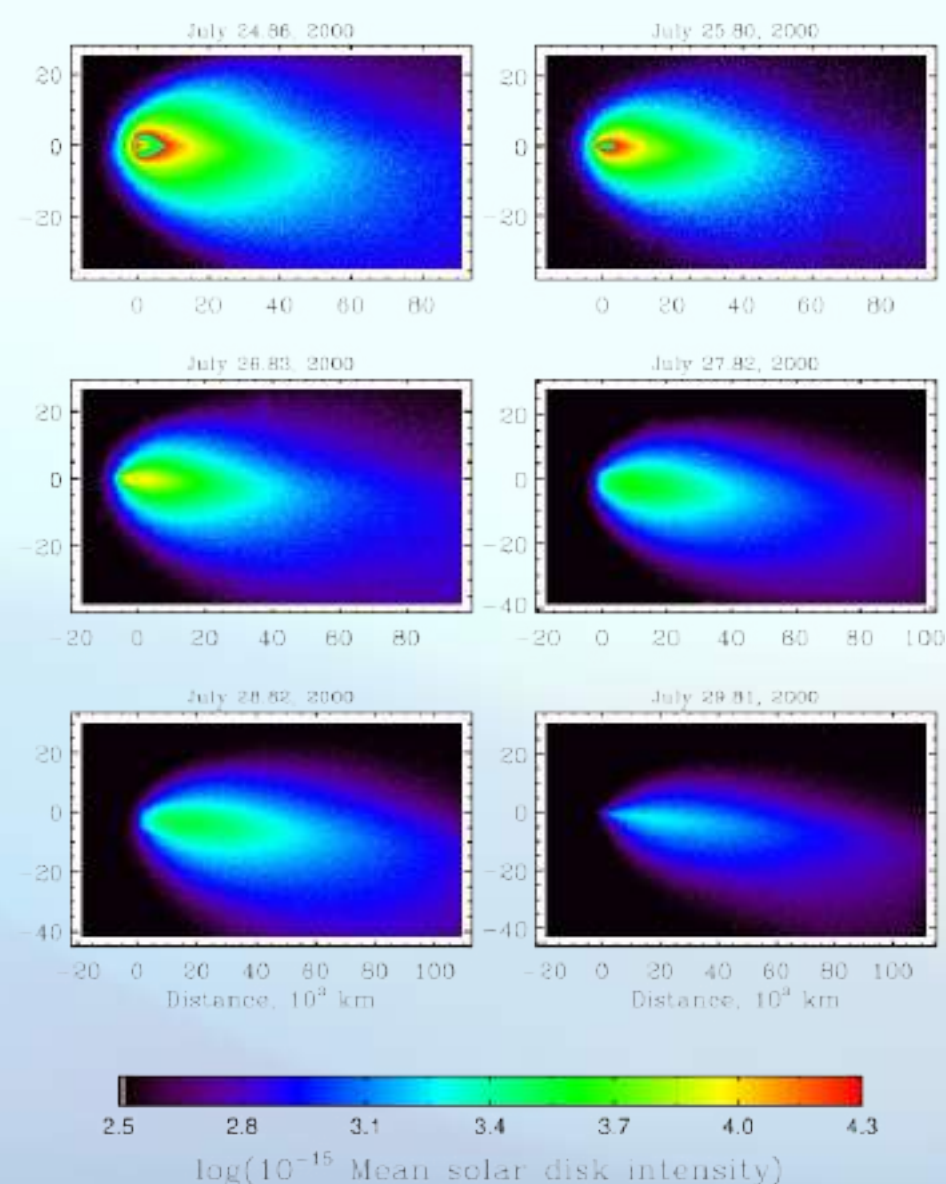
Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Състав и произход на кометите от широко- и тесно-ивични фотометрични наблюдения и спектроскопия

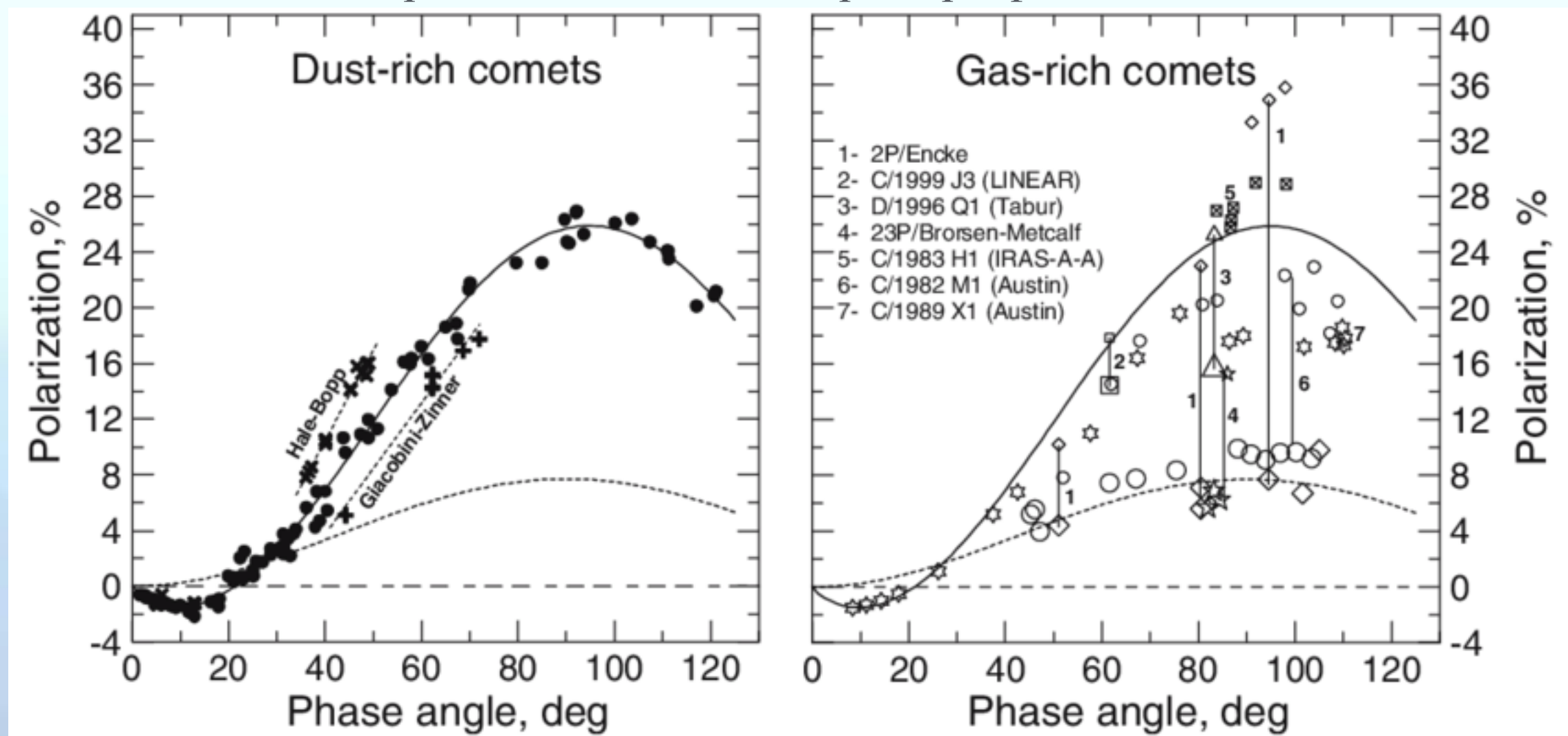
- Фотометрията с филтри позволява много по-големи апертури и следователно е много по-чувствителна от спектроскопията.



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Класификация на кометите въз основа на техните поляриметрични характеристики

- Идеята, че свойствата на кометния прах могат да бъдат основа за класификация на кометите, се появява, след като Chernova et al. (1993) и Levasseur-Regourd et al. (1996) забелязват, че кометите могат да бъдат разделени на две групи според стойностите на поляризацията на техния прах при фазови ъгли $\alpha \approx 80-100^\circ$.



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

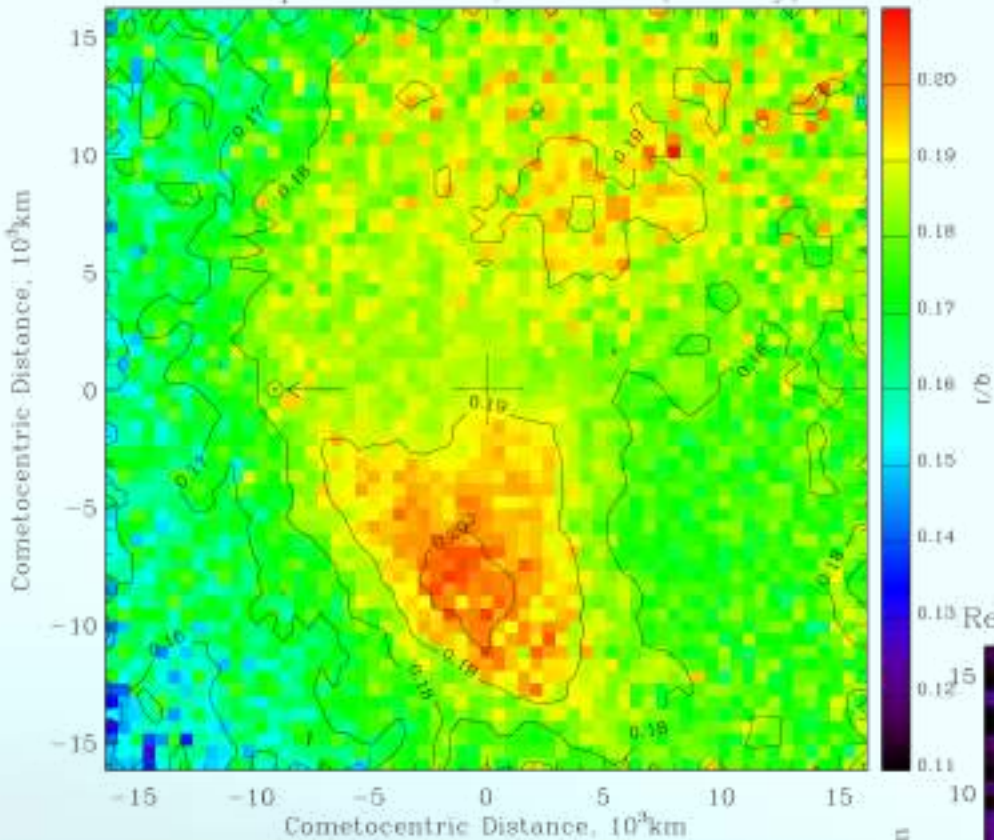
Класификация на кометите въз основа на техните поляриметрични характеристики

- Зависимостта на поляризацията на кометата от фазовия ъгъл обикновено се описва чрез:
 1. Положението и стойността на минималната (отрицателна) поляризация;
 2. Положението на инверсионния ъгъл (фазовият ъгъл, при който поляризацията се променя от отрицателна в положителна) и ъгловия градиент на поляризацията, $dP/d\alpha$, в точката на инверсия;
 3. Положението и стойността на максималната (положителна) поляризация.
- Удивително е, че всички комети показват много сходни характеристики на отрицателната поляризация (положение на минимума при $\alpha = 10^\circ$ със стойност $P \approx -1,5\%$, инверсионен ъгъл при $20-22^\circ$, поляриметричен наклон $dP/d\alpha \approx 0,3\%/deg$).

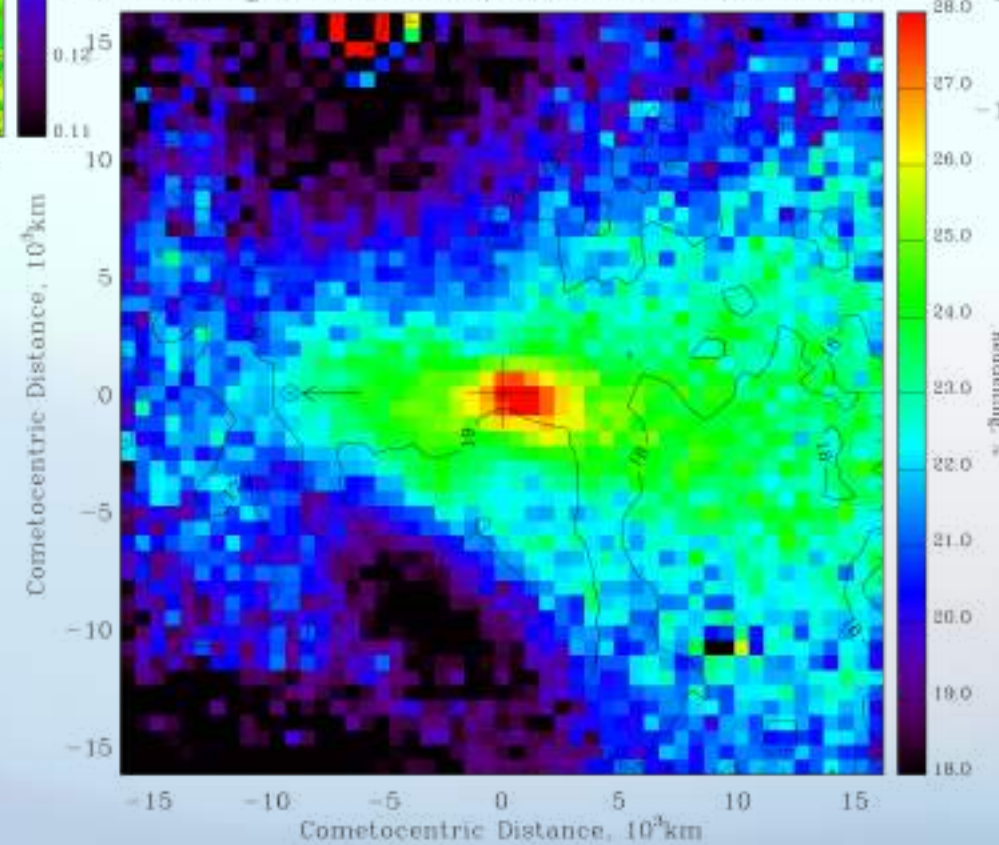
Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Класификация на кометите въз основа на техните поляриметрични характеристики

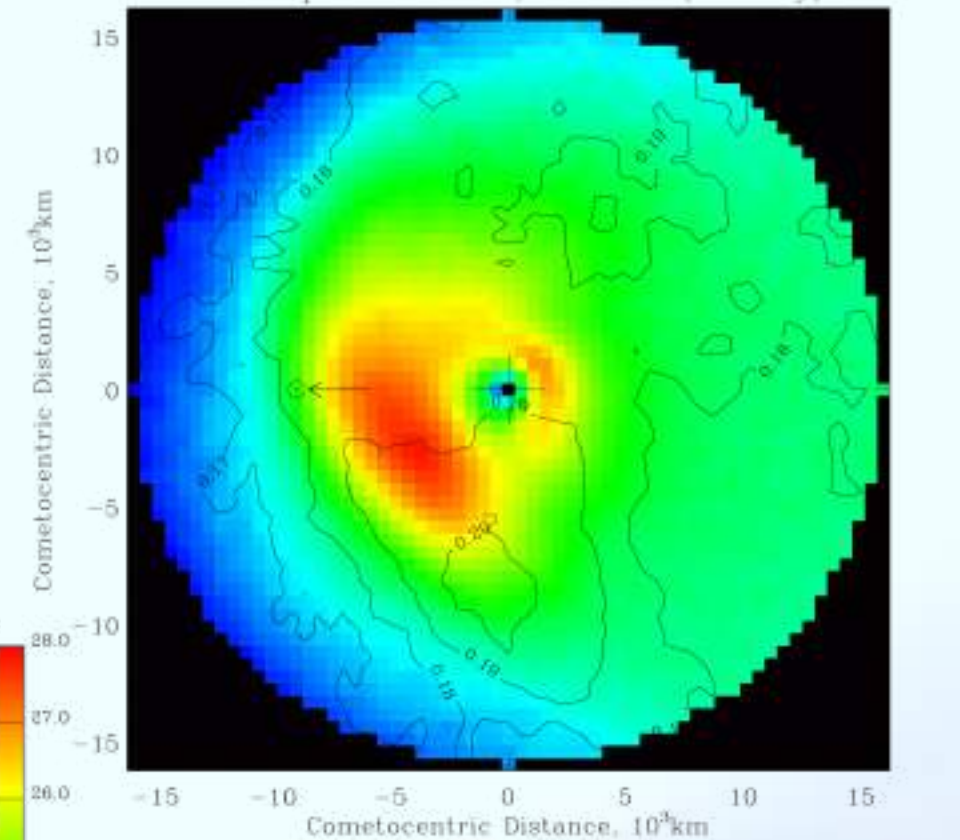
Polarization map of Comet C/2013 R1 (LoveJoy) in IF684



Comet C/2013 R1 (LoveJoy)
Reddening (IF443-IF684) vs. Polarization in IF684



Polarization map of Comet C/2013 R1 (LoveJoy) in IF684



Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Мониторинг на динамично нови комети (DNCs): ниво на активност (A_f); структура и характеристики на комата и опашката; фазова функция на комата; поляризация

- Следващата кометна космическа мисия ще бъде Comet Interceptor (CI); Целта все още не е известна и вероятно ще бъде открита след стартирането на мисията. CI ще бъде изстреляна през 2029 г. и ще бъде паркирана в точката на Лагранж L2 в очакване на подходяща цел, покрай която да прелети на близо 1 а.е хелиоцентрично разстояние.
- За да се гарантира успехът на мисията, научният екип трябва да има възможност да достигне цел, която
 - ще оцелее при пътуването до вътрешната Слънчева система (много DNCs се разпадат при преминаването през перихелия, виж Jewitt 2022);
 - която ще има безопасна среда за космическия апарат по време на прелитането (свръхактивните комети могат да създадат опасности за космическия апарат и инструментите)

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Мониторинг на динамично нови комети (DNCs): ниво на активност (A_{fr}); структура и характеристики на комата и опашката; фазова функция на комата; поляризация

- Разбиране на еволюцията на активността на DNCs
 - Въпреки че ядрото ще бъде по-девствено от която и да е комета, която сме посещавали с космически апарат, навлизането към перихелия вече ще промени повърхността и. Разбирането на еволюцията на активността на навлизащите комети ще постави ограничения върху процесите на активност, което ще помогне на екипа на мисията да интерпретира всички наблюдавани характеристики на ядрото
 - Научният екип ще трябва да планира прелитането покрай кометата въз основа на изследвания на земните обсерватории, характеризиращи ядрото: размер, скорост на въртене

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Мониторинг на динамично нови комети (DNCs): ниво на активност (Afr); структура и характеристики на комата и опашката; фазова функция на комата; поляризация

- Поставяне на целта на мисията в контекст - доколко типична/представителна ще бъде целта на мисията
 - НИВО НА АКТИВНОСТ
 - модел на активност в зависимост от хелиоцентричното разстояние
 - Краткосрочна променливост: Характеристики на кома
 - Кома: свойства на частиците: поляризация, фазова функция

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Задачи

- Широко-ивична фотометрия и ниско-дисперсионна спектроскопия на избрани астероиди и определяне на скоростта им на въртене, формата и таксономията.
- Проследяване с широко-ивична фотометрия на избрани комети и определяне на повърхностната им яркост в околоядрените области, както и нейното изменение по протежение на орбита и.
- Наблюдения на астероиди на кометни орбити в околоземното пространство и определяне на техните криви на блясък и периоди на въртене, фазови функции и фазови криви на поляризация.
- Тесно-ивична фотометрия и ниско-дисперсионна спектроскопия на избрани комети и определяне на продукцията на молекули в техните атмосфери.
- Анализ на праха в атмосферите на избраните комети от наблюденията на континуума. Определяне на продукцията на прах и търсене на структури в комата и връзката им с активни области по ядрото.
- Поляриметрични наблюдения на избрани комети при различни фазови ъгли и класифицирането им въз основа на техните поляриметрични характеристики.
- Наблюдение на динамично нови комети (DNCs) и определяне на тяхното ниво на активност (Afr), търсене на структури в комата и опашката, както и конструиране на фазовата функция на комата и фазовите криви на поляризацията.

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

Работни пакети

РП 1: Широко-ивична фотометрия на избрани комети и астероиди
Ръководител на работния пакет: гл. ас. д-р Росита Кокотанекова
Участници в изпълнението на дейностите по работния пакет:
доц. д-р Галин Борисов проф. д-р Таню Бонев физик Андон Костов Стефан Стефанов Мирослав Мойсеев Десислава Стефанова Константин Кръстев

РП 2: Тесно-ивична фотометрия спектроскопия на избрани комети
Ръководител на работния пакет: доц. д-р Галин Борисов
Участници в изпълнението на дейностите по работния пакет:
гл. ас. д-р Росита Кокотанекова проф. д-р Таню Бонев физик Андон Костов Стефан Стефанов Мирослав Мойсеев Десислава Стефанова

РП 3: Поляриметрия и спектро-поляриметрия на избрани комети и астероиди
Ръководител на работния пакет: доц. д-р Галин Борисов
Участници в изпълнението на дейностите по работния пакет:
гл. ас. д-р Росита Кокотанекова проф. д-р Таню Бонев гл. ас. д-р Янко Николов Стефан Стефанов Десислава Стефанова



Благодарности

Договор КП-06-Н88/ 5 от 04.12.2024 г. с ФНИ

Физични свойства и химичен състав на астероиди и комети - ключ към задълбочаване на познанията за произхода и еволюцията на Слънчевата система

XVIII годишна конференция на Съюза на астрономите в България 15-16 май 2025 г. гр. Белоградчик