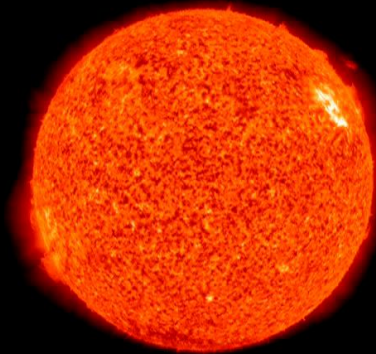




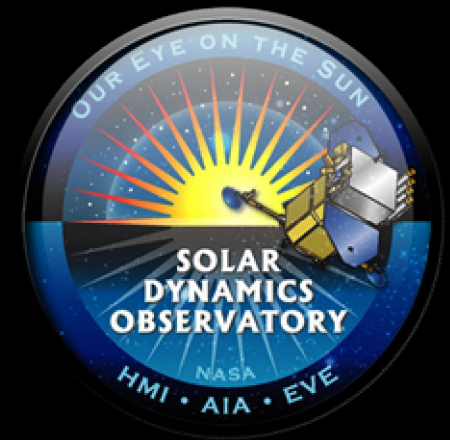
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Новітні дослідження космічного простору з допомогою орбітальних обсерваторій:

SDO - обсерваторія сонячної динаміки

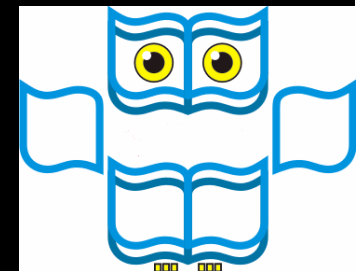


SDO/4K_304_2011-01-26_00:21:09 UT



Всеукраїнський фестиваль науки 2011,
цикл науково-популярних лекцій
„Горизонти науки”
17-18 травня 2011 р.

Олександр Іванович Крамар,
доцент кафедри фізики
ТНТУ ім. Івана Пулюя



"Яку б теорію для процесів на Сонці ви б не придумали, напевне вже є дані, які її спростовують"

Герейнт Льюїс, астрофізик (Австралія)

- Середня відстань від Землі до Сонця $1,496 \cdot 10^{11}$ м (**8,31 світл. хв**);
- Середній діаметр Сонця $1,392 \cdot 10^9$ м (**109 діаметрів Землі**);
- Маса $1,9891 \cdot 10^{30}$ кг (**332 946 мас Землі**, становить 99,866 % від сумарної маси всієї Сонячної системи).

Сонце складається з **водню** (~73 % від маси і ~92 % від об'єму), **гелію** (~25 % від маси і ~7 % від об'єму) та інших елементів (заліза, нікелю, кисню, азоту, кремнію, сірки, магнію, вуглецю, неону, кальцію, хрому тощо).

Температура поверхні Сонця сягає 5800-6000 К; внаслідок поглинання короткохвильової частини спектру атмосферою Землі світло Сонця біля нашої планети має жовтий відтінок.

Сонце виробляє енергію шляхом термоядерного синтезу (в основному, гелію з водню) при надвисоких температурах $\sim 10^7 - 10^8 \text{ K}$. Кожну секунду у ядрі Сонця "згоряє" близько 4 млн. т речовини.

Випромінювання Сонця — основне джерело енергії на Землі.

Сонячна стала (кількість енергії, яка проходить за одиницю часу через одиничну площу, перпендикулярну до сонячних променів) на відстані в 1 астрономічну одиницю становить 1370 Вт/м^2 .

Сонце — магнітно-активна зоря, яка має сильне магнітне поле, напруженість якого періодично міняється з часом - напрям міняється кожні 11 років. Повний цикл дорівнює подвоєній тривалості періоду сонячної активності — приблизно 22 роки («закон Хейла»).

Варіації магнітного поля Сонця – сонячна активність - викликають найрізноманітніші ефекти: сонячні плями, сонячні спалахи, варіації сонячного вітру тощо.

Хромосфера

Фотосфера

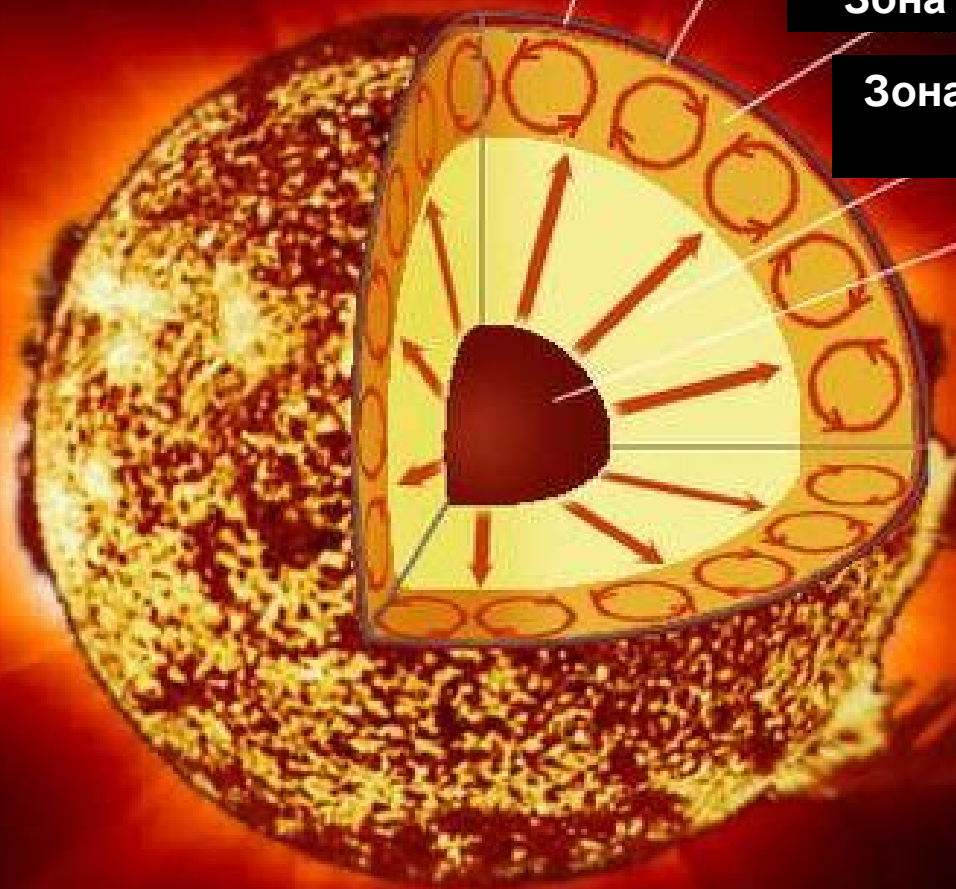
Зона конвекції

Зона променистого переносу

Ядро

Корона

Протуберанець



Будова Сонця

1) Сонячне ядро - центральна частина Сонця (радіус приблизно 150 000 км)

- Густина речовини в ядрі $\sim 150\,000\text{ кг/м}^3$ (в 150 разів більша, ніж густина води та в $\sim 6,6$ разів більша, ніж густина осмію);
- Температура в центрі ядра — понад 14 млн. К.

2) Зона променистого переносу

Над ядром, на відстані 0,2—0,7 радіуса Сонця від центра, знаходиться особлива область, в якій відсутній макроскопічний рух речовини - енергія переноситься з допомогою перевипромінювання фотонів.

3) Конвективна зона Сонця

Ближче до поверхні Сонця виникає вихрове перемішування плазми і перенос енергії здійснюється головним чином рухом речовини – за рахунок конвекції. Товщина конвективної зони $\sim 200\,000\text{ км}$ (саме тут зароджуюся сильні магнітні поля!)

4) Атмосфера Сонця

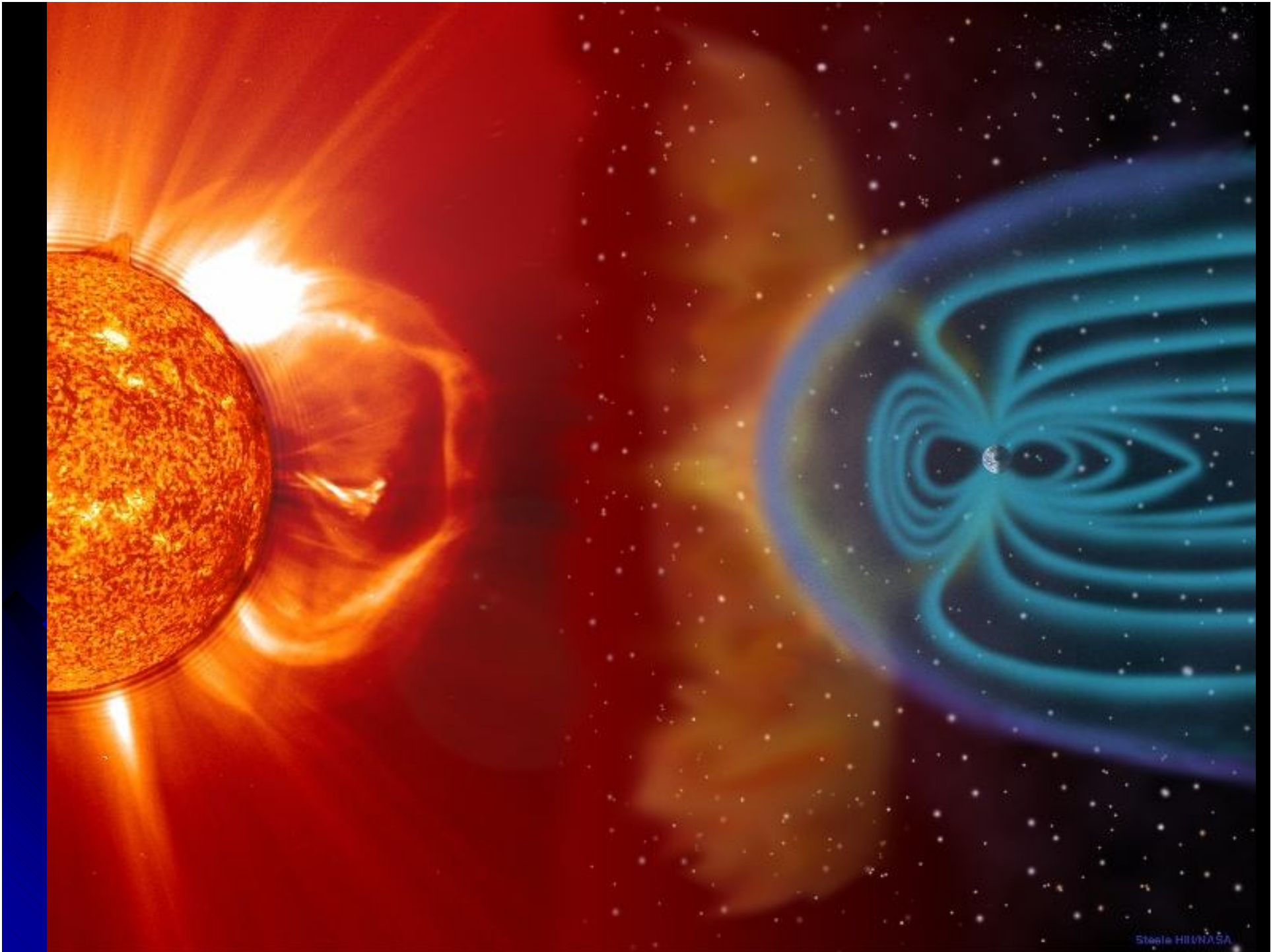
- **Фотосфера** (шар, який випромінює світло) має товщину ~ 320 км і утворює видиму поверхню Сонця.

З фотосфери виходить основна частина видимого випромінювання. Температура в фотосфері досягає в середньому ~ 5800 К (до краю зменшується до 4800 К). Середня густина газу становить $\sim 1/1000$ густини земного повітря

- **Хромосфера** — середня зовнішня оболонка Сонця товщиною ~ 10000 км, яка оточує фотосферу (у видимому спектрі домінує червона H_{α} -лінія водню). Температура хромосфери збільшується з висотою від 4000 до 15000 К.

- **Корона** — остання зовнішня оболонка Сонця, має дуже високу температуру (від 600 000 до 5 000 000 К). Інтенсивно випромінює в ультрафіолетовому та рентгенівському діапазонах. Нагріта нерівномірно — існують коронарні дірки з низькою температурою, через які йде **сонячний вітер**.

Сонячний вітер — потік іонізованих частинок, в основному протонів, електронів та α -частинок, який має швидкість 300—1200 км/с, та поступово поширюється зі зменшення своєї густини до меж геліосфери.



Наслідки сонячної активності

- розігрівання та розширення верхніх шарів атмосфери під дією сонячного ультрафіолетового та рентгенівського випромінювання, що приводить до гальмування штучних супутників та порушення їх орбіти.

Втрата орбітальної станції "Skylab" – липень 1979 р.



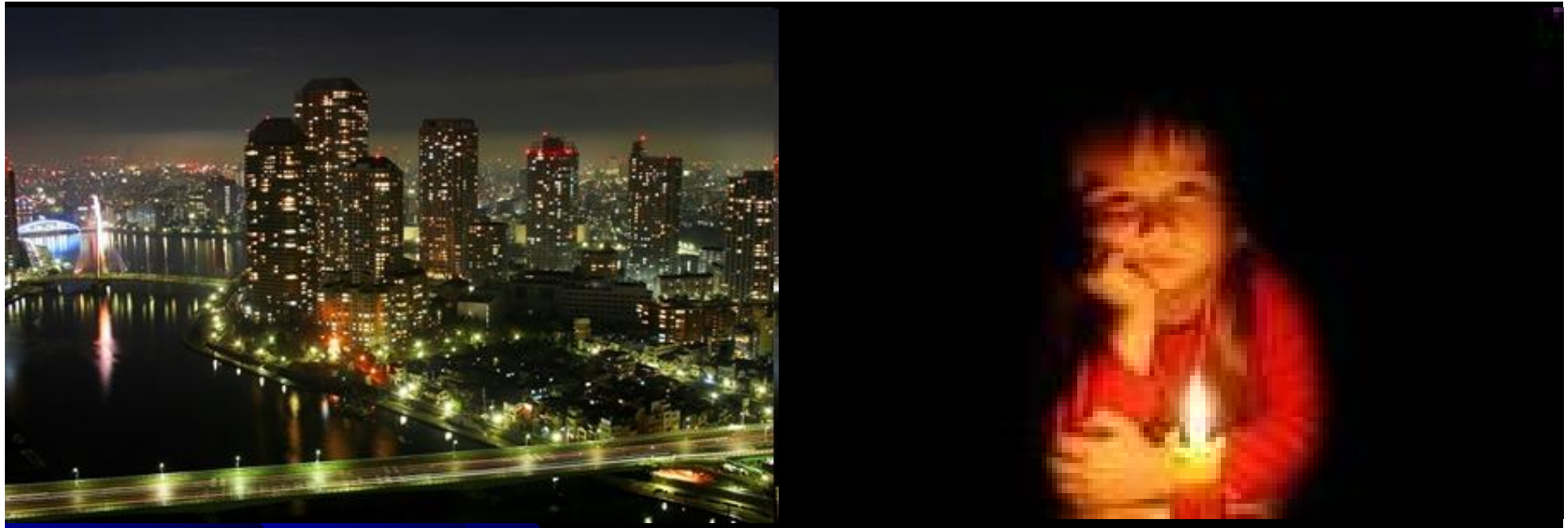
- **Потоки високоенергетичних частинок (електронів, протонів, альфа-частинок) викликають появу додаткових поверхневих зарядів, збої в роботі електроніки, її деградацію, "зашумлення" чутливих детекторів.**

Магнітосфера Землі, в принципі, захищає від таких потоків, однак для супутників на висоті понад 1000 км є серйозна загроза виходу з ладу або, принаймні, тимчасової непрацездатності.



- Корональні викиди речовини (потoki плазми з сильними магнітними полями) викликають аномальні збурення магнітного поля Землі – магнітні бурі.
- Зміни геомагнітного поля приводять до появи індукційних струмів в протяжних лініях електропередач та трубопроводах.

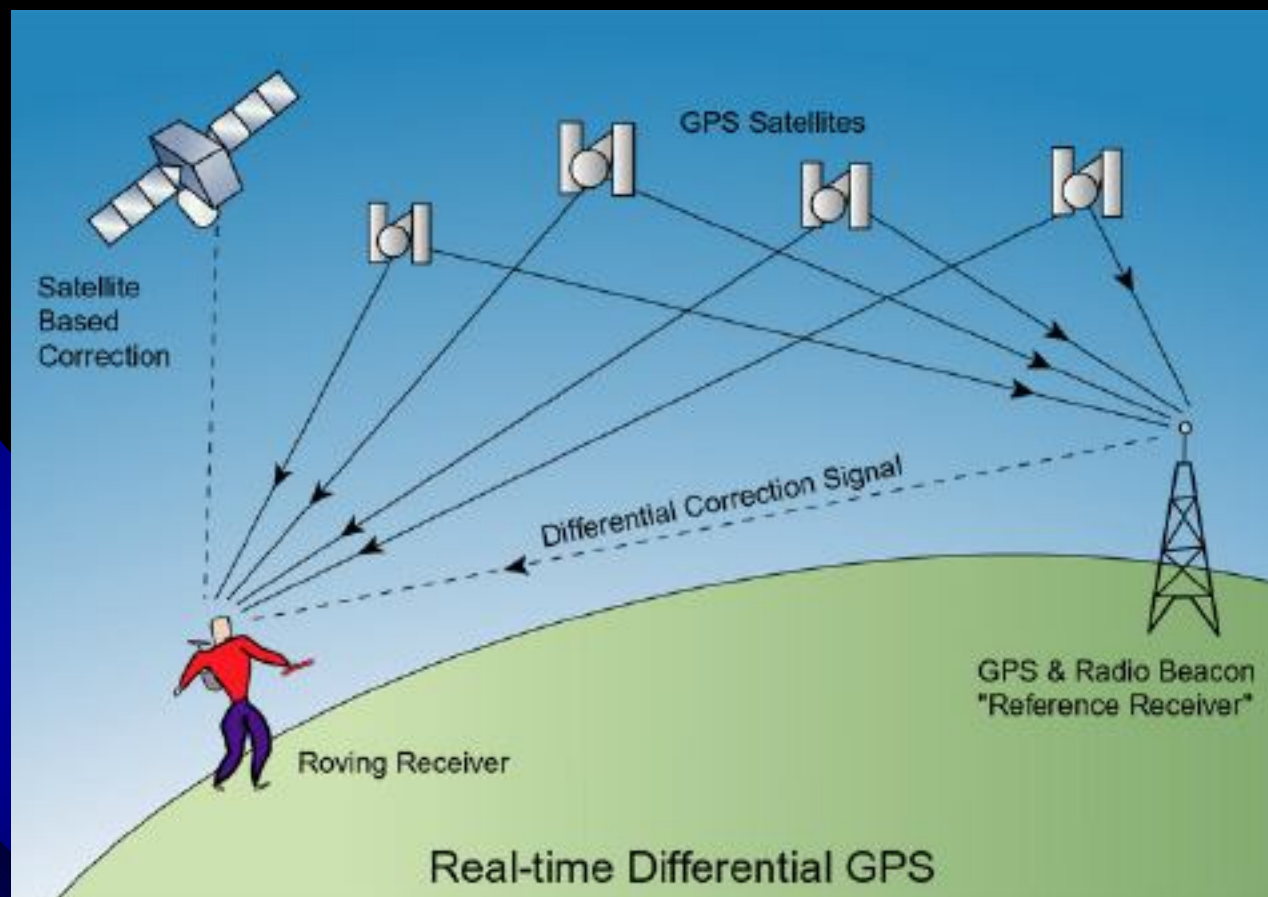
Квебек (Канада), березень 1989 р. – перевантаження електричної системи індуктованими струмами привело до спрацювання систем безпеки, перегорання трансформаторів та відключення електропостачання на 9 год (економічні втрати – \$2 млрд).



В трубопроводах наведені струми (силою сотні ампер) приводять до порушень корозійного захисту, а на залізниці – до збоїв у роботі автоматики.

- **Порушення навігаційних сигналів, радіозв'язку у високих широтах, якщо потоки високоенергетичних частинок досягають іоносфери (виникає додаткова іонізація атмосфери).**

Точність сигналу військової GPS складає 1 м, а під час сильних магнітних бур падає на один-два порядки – до 10-100 м.

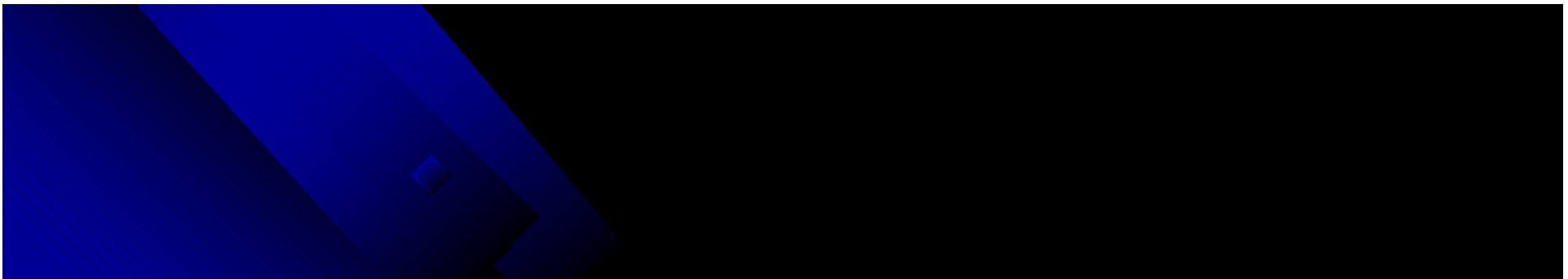


У період з 1995 по 2009 рр. основними інструментами спостереження за Сонцем та його взаємодією з магнітосферою Землі стали:

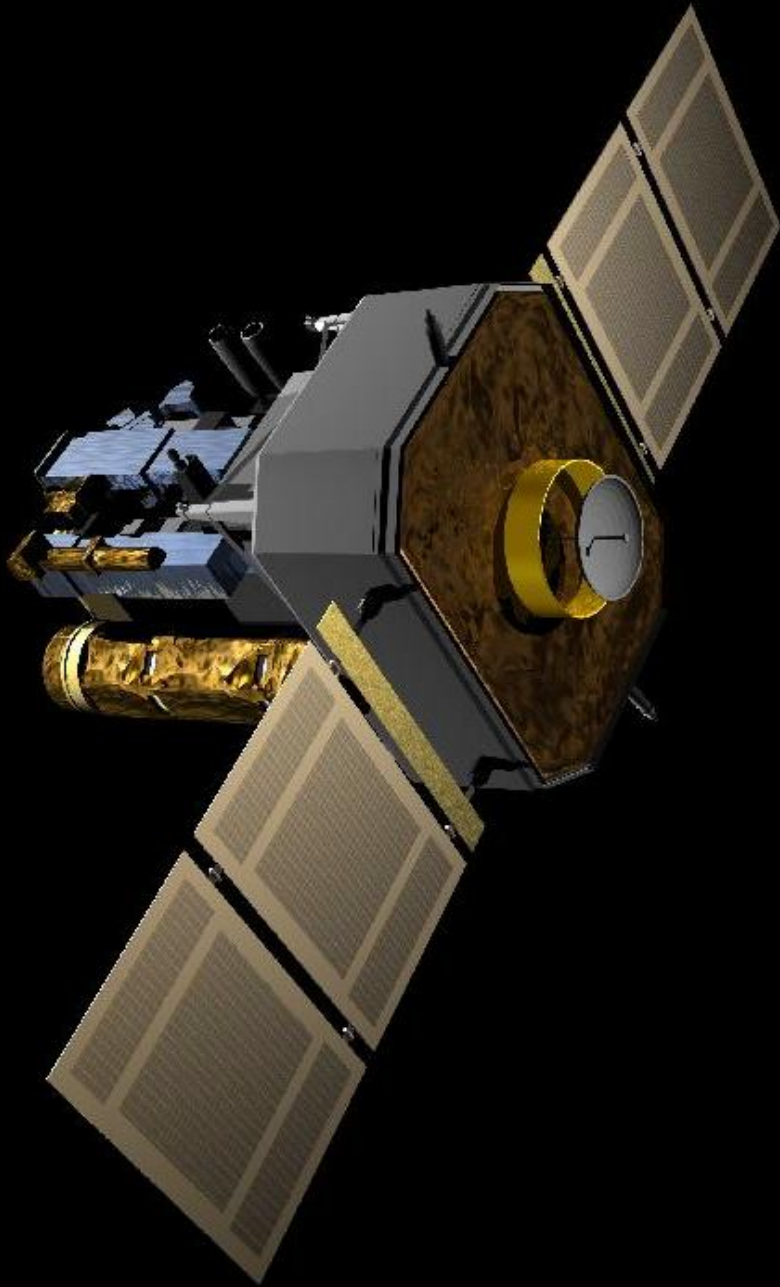
Орбітальна обсерваторія [SOHO](#) (Solar and Heliospheric Observatory): запуск - грудень 1995 р., початок роботи – травень 1996 р. (відслідковування появи сонячних плям, спалахів, корональних викидів, прогнозування їх динаміки в межах кількох діб).

Орбітальна обсерваторія [ACE](#) (Advanced Composition Explorer): запуск - серпень 1997 р., обладнана інструментами для вивчення сонячного вітру, оцінює інтенсивність плазмових магнітних хмар за 1-1,5 год. до початку магнітної бурі на Землі.

Два однакові апарати [STEREO \(Solar Terrestrial Relations Observatory\)](#): запуск - жовтень 2006 р. Головне завдання – спостереження з протилежних боків за активністю Сонця, вивчення корональних викидів маси, зародження плям на обох півкулях одночасно.

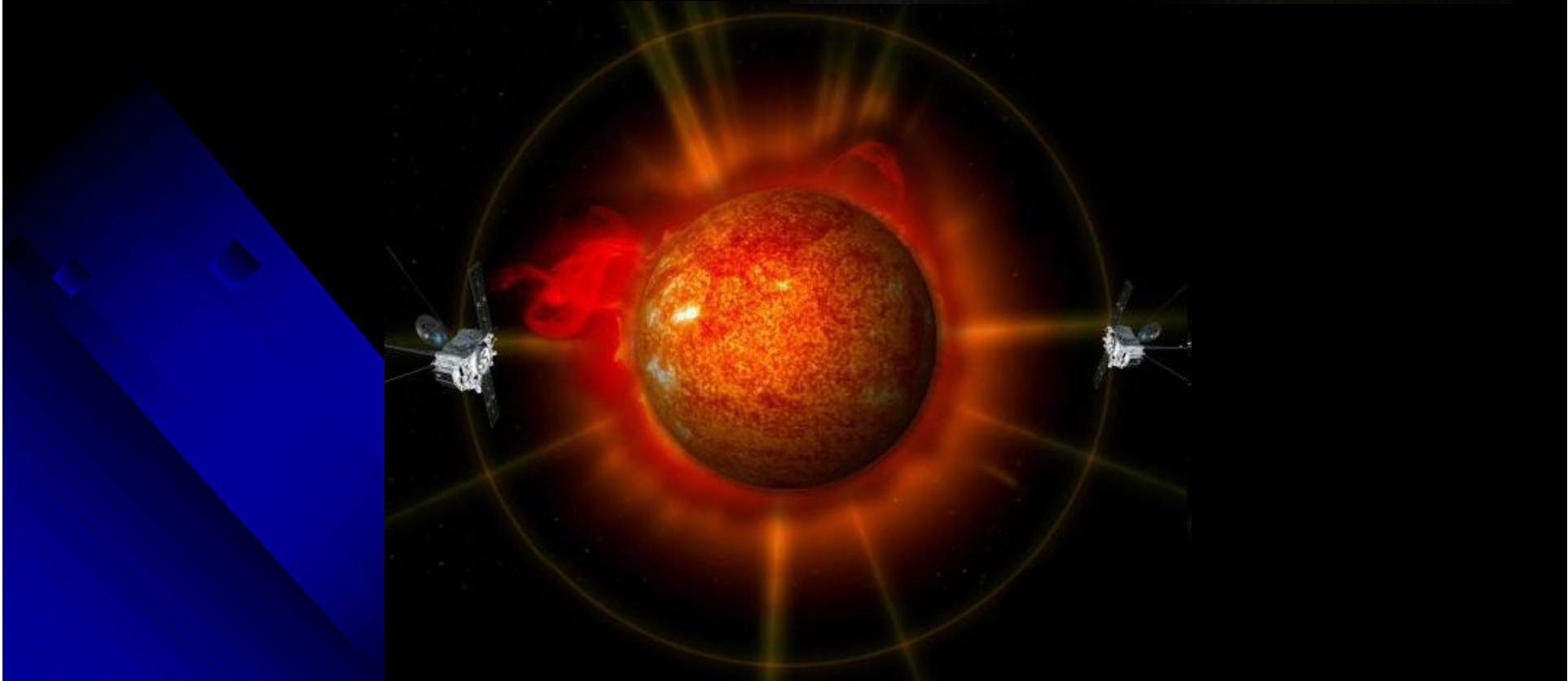


SOHO (Solar and Heliospheric Observatory)



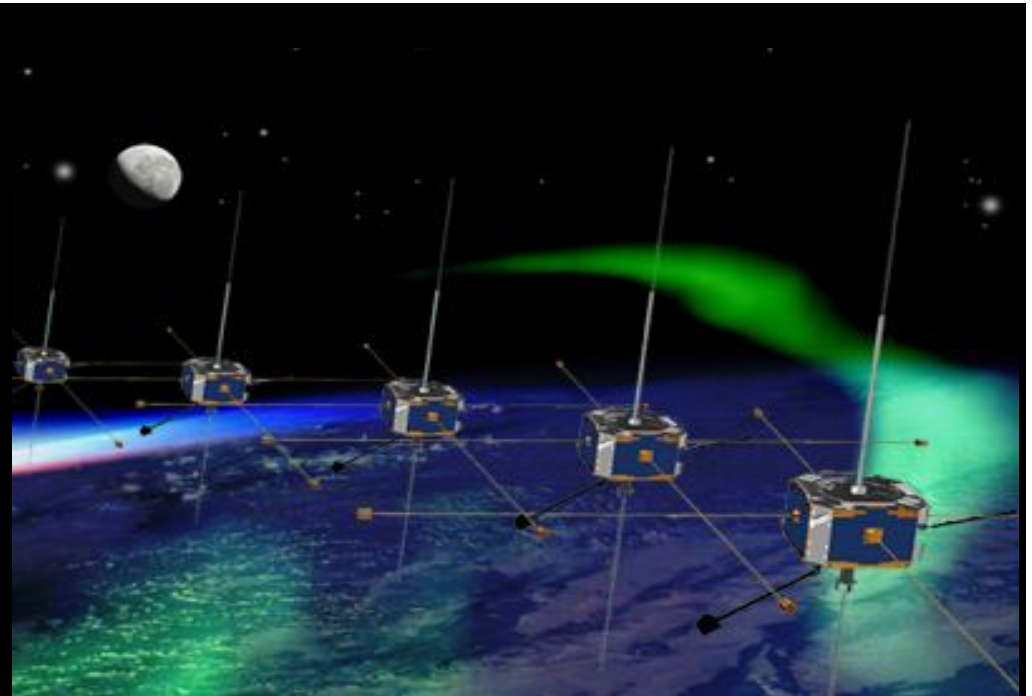
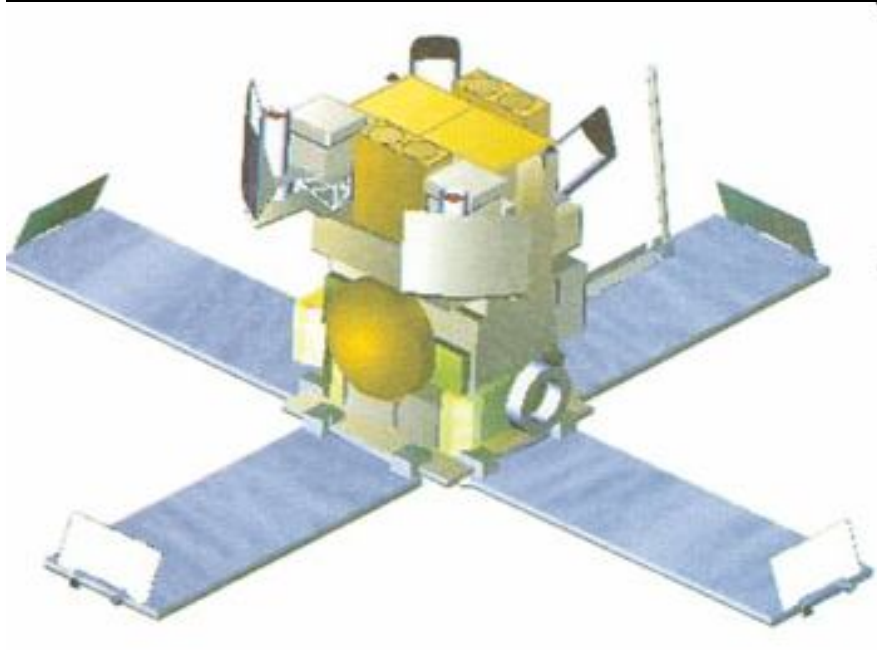
ACE (Advanced Composition Explorer)

STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory)



Система (квартет) супутників [Cluster](#): запуск - 1997-2001 рр.; дослідження сонячного вітру, змін у магнітосфері Землі.

Система (квінтет) супутників [THEMIS](#): запуск – 2007 р.; дослідження локальних суббур в магнітосфері Землі, особливостей виникнення та перебігу полярного сйва.



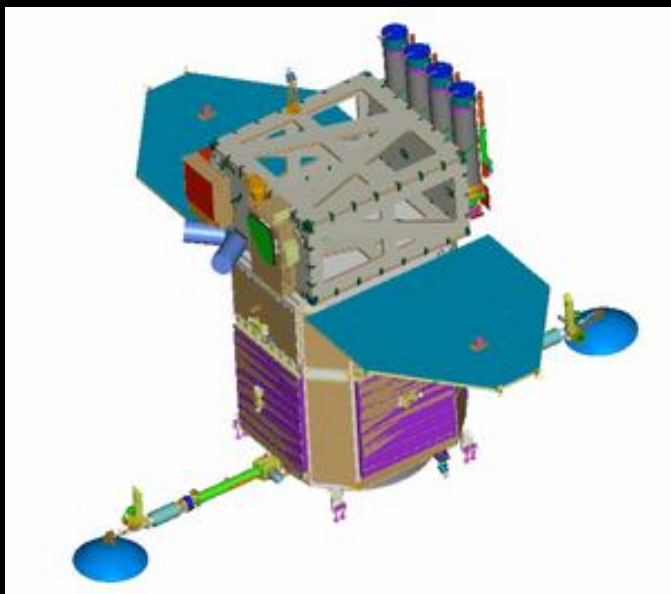
Обсерваторія сонячної динаміки (**Solar Dynamics Observatory, SDO**) – орбітальна обсерваторія NASA для вивчення Сонця - запущена в рамках програми "Living With a Star".

Метою даної програми є отримання наукових знань, необхідних для ефективного вирішення аспектів сонячно-земних зв'язків, які безпосередньо впливають на життя і суспільство.

Основним завданням SDO є з'ясування впливу Сонця на Землю та навколоземний простір шляхом вивчення сонячної атмосфери у малих масштабах часу з великою роздільною здатністю та на багатьох довжинах хвиль одночасно.

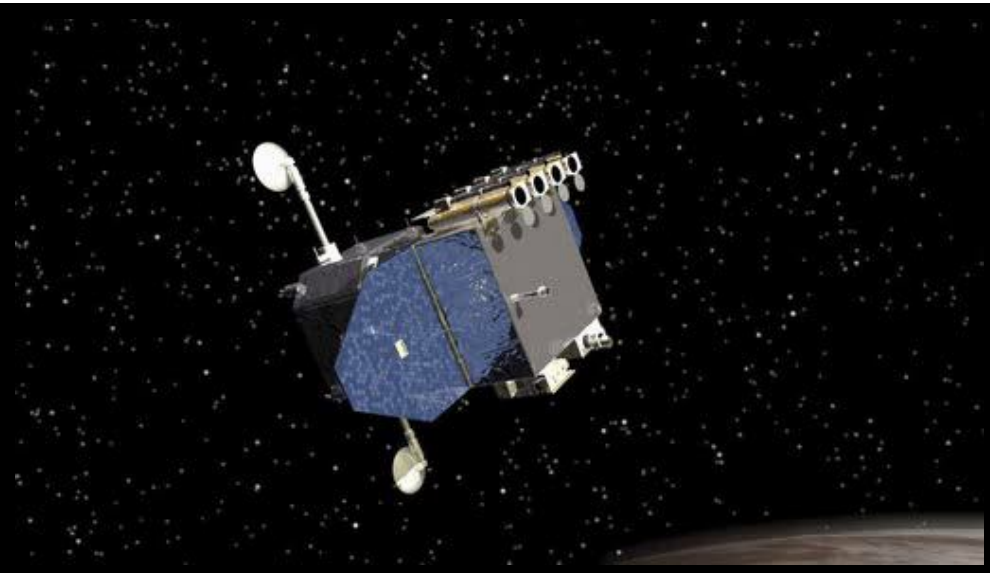
11 лютого 2010 року в 10:23 за стандартним східним часом на ракеті-носії Атлас V з допомогою комплексу SLC-41 з космодрому на мисі Канаверел SDO було успішно запущено в космос.





SDO містить набір інструментів, які мають забезпечити повніше розуміння процесів сонячної динаміки.

- Вимірювання межі ультрафіолетового випромінювання Сонця;
- Вимірювання доплерівських зсувів, обумовлених швидкими коливаннями речовини по всьому видимому диску;
- Висока роздільна здатність фіксації магнітного поля по всьому видимому диску;
- Фотозйомка хромосфери та внутрішньої корони при різних температурах;
- Фіксація періодичності сонячної активності



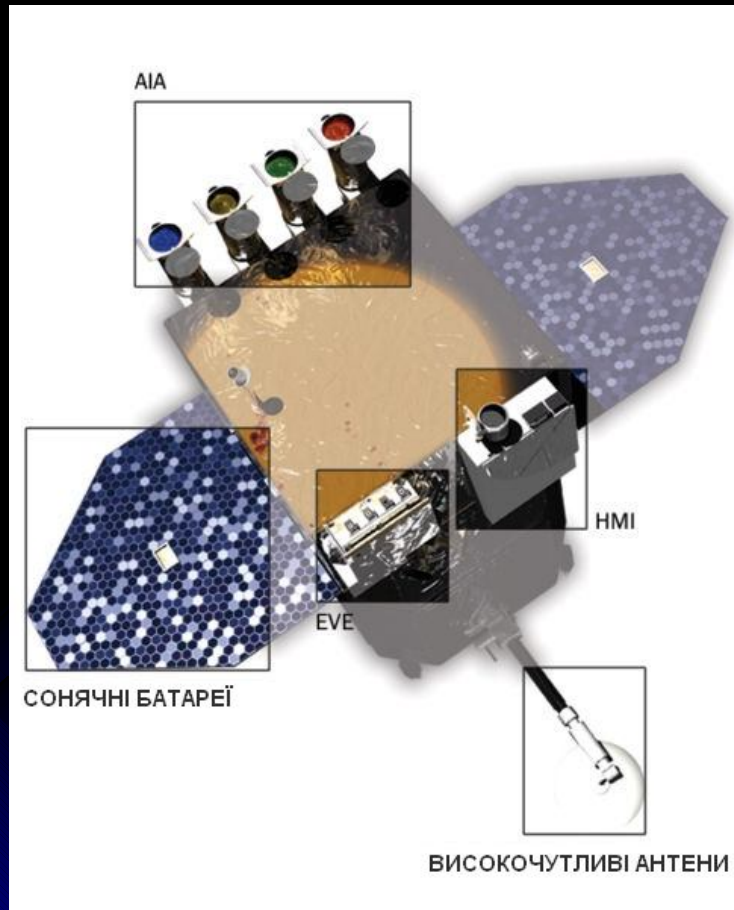
Solar Dynamics Observatory - це зорієнтований на Сонце напівавтоматичний космічний апарат, який дозволяє практично постійно вести спостереження за зорею.

Параметри орбітальної обсерваторії:

- Розміри: 4,5 м X 2,22 м X 2,22 м.
- Вага апарата становить 3100 кг (інструменти – 300 кг).
- Площа сонячних батарей 6,6 кв.м.
- Похила геостаціонарна орбіта була обрана таким чином, щоб апарат міг вести безперервні спостереження за Сонцем. Орбіта також забезпечує високу швидкість передачі даних –

постійна швидкість передавання даних із супутника на

Основні модулі SDO



1. HMI (Helioseismic and Magnetic Imager)

Магнітометр HMI розширює можливості інструменту SOHO / MDI постійним охопленням повного диска з більш високою просторовою роздільною здатністю векторної магнітограми.

2. AIA (Atmospheric Imaging Assembly)

Телескоп AIA відображає сонячну атмосферу на різних довжинах хвиль для виявлення змін на поверхні.

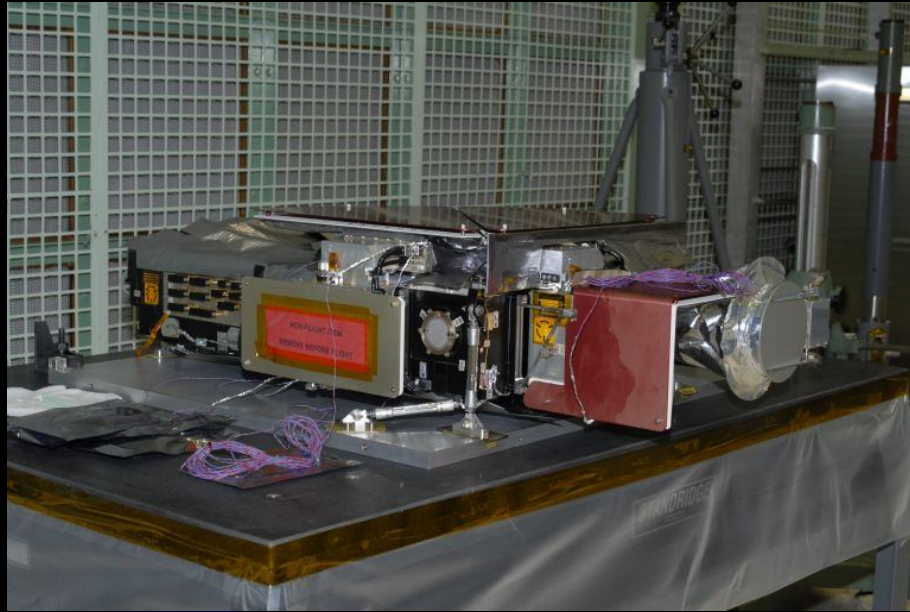
Дані включають зображення Сонця на десяти довжинах хвиль кожні 10 секунд.

3. EVE (Extreme Ultraviolet Variability Experiment)

Детектор фіксує жорстке ультрафіолетове випромінювання з високою роздільною здатністю.

EVE вимірює сонячну ультрафіолетову спектральну освітленість щоб зрозуміти варіації чинників, які впливають на клімат Землі і навколоземний простір.

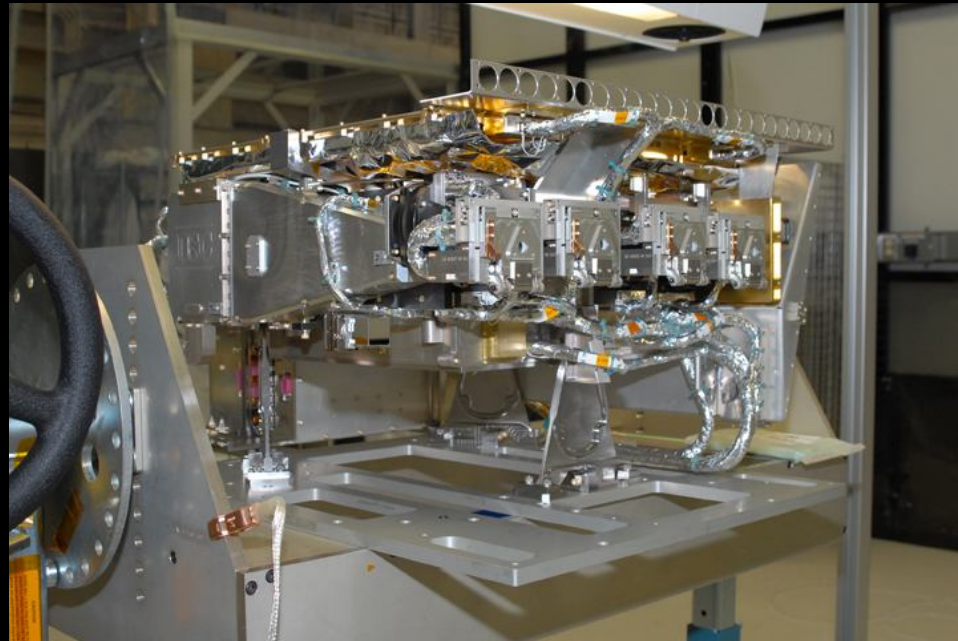
HMI



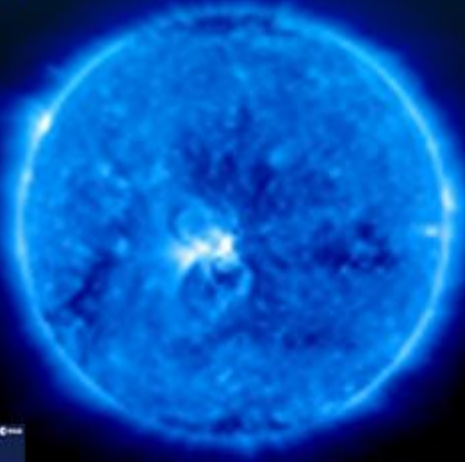
AIA



EVE

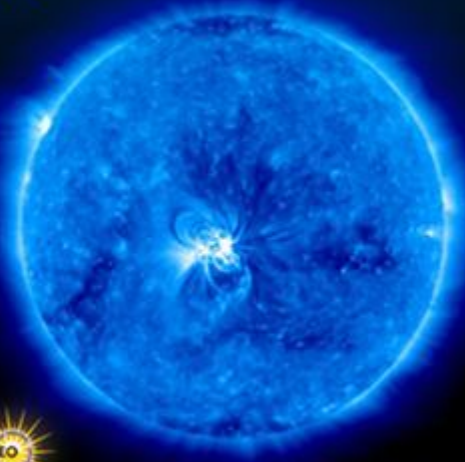


4x



SOHO
SOHO/EIT

2x



STEREO/SECCHI



SDO/AIA

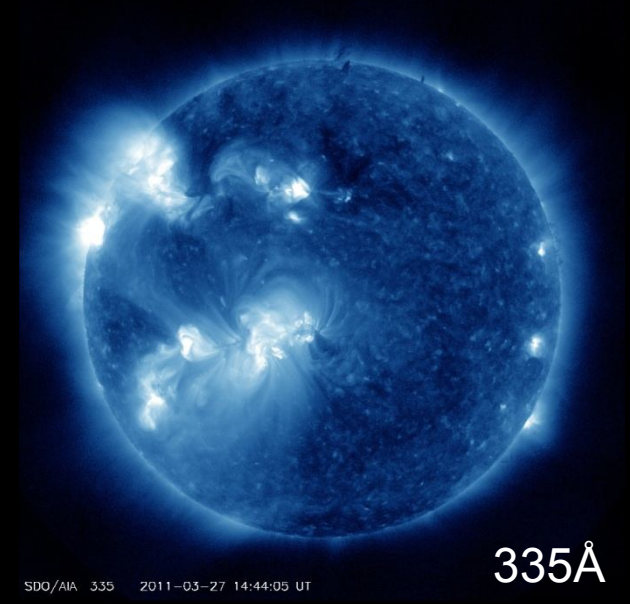
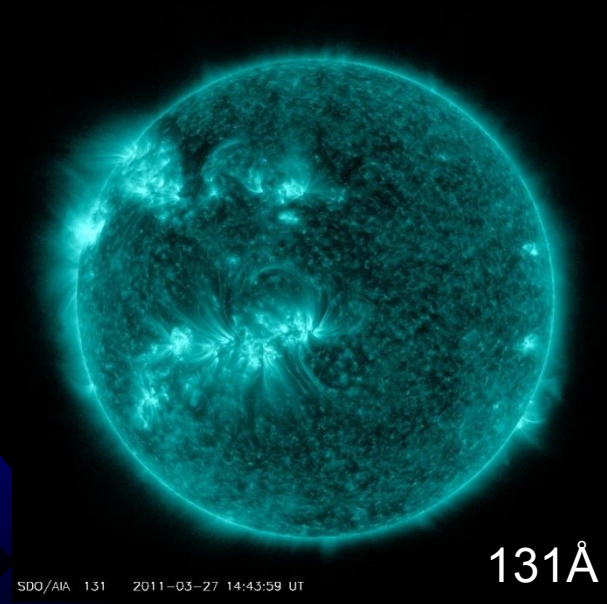
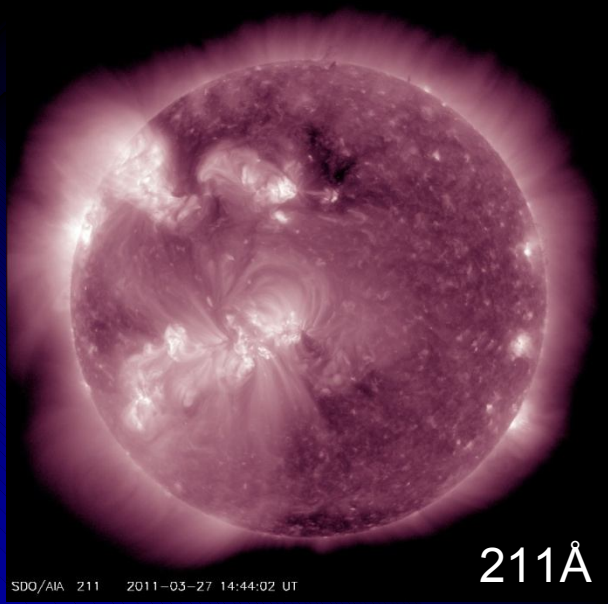
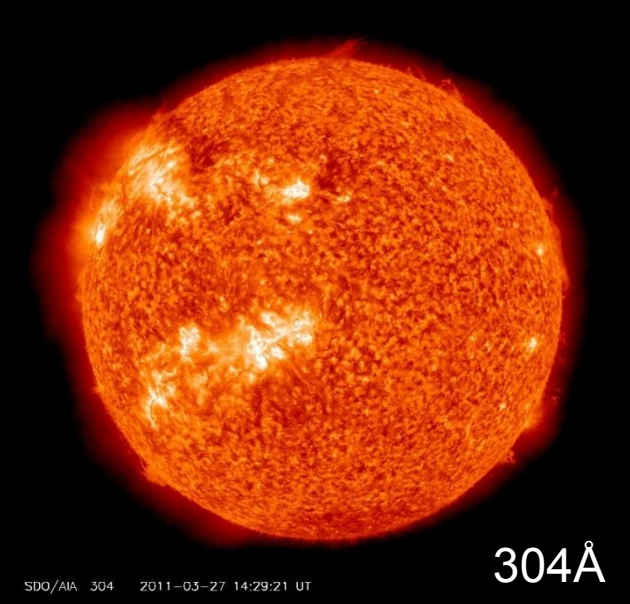
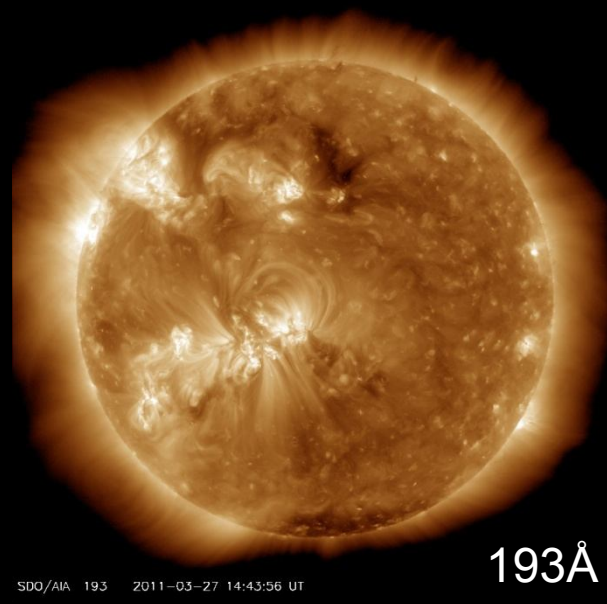
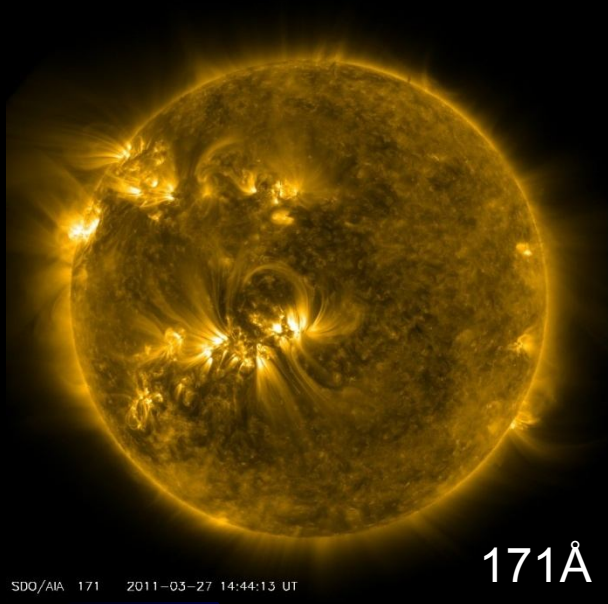
Можливості роздільної здатності орбітальних обсерваторій SOHO, STEREO і SDO

Модуль SDO "AIA" (картинка справа) має в два рази вищу роздільну здатність, ніж STEREO (картинка посередині) і в 4 рази вищу роздільну здатність, ніж SOHO (картинка зліва).

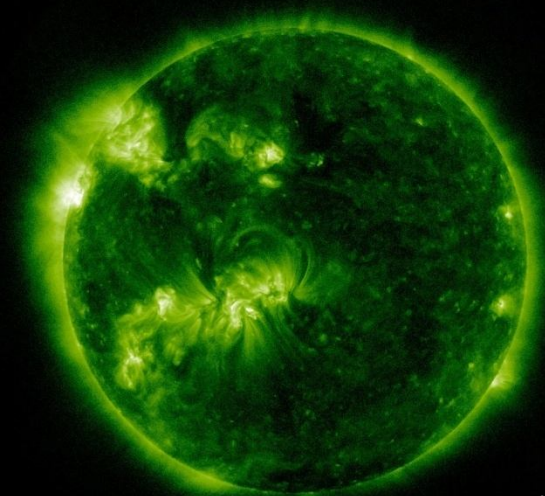
SDO робить одне зображення в секунду.

В кращому випадку STEREO робить зображення кожні 3 хвилини, а SOHO - кожні 12 хвилин.

Зображення на різних довжинах хвиль, зроблені модулем AIA

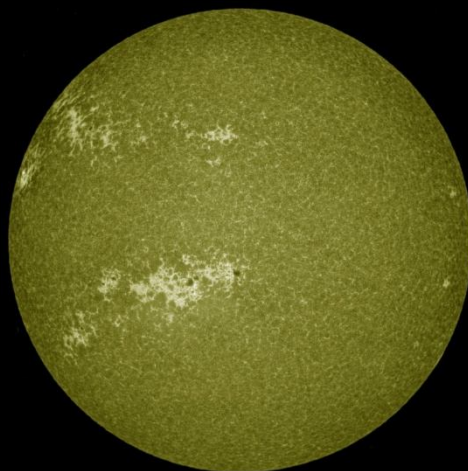


Зображення на різних довжинах хвиль, зроблені модулем AIA



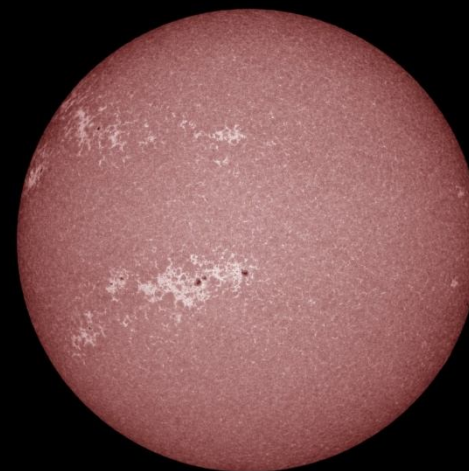
SDO/AIA 94 2011-03-27 14:44:03 UT

94Å



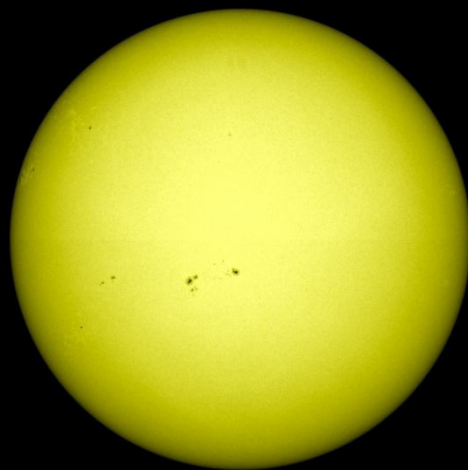
SDO/AIA 1600 2011-03-27 14:29:06 UT

1600Å



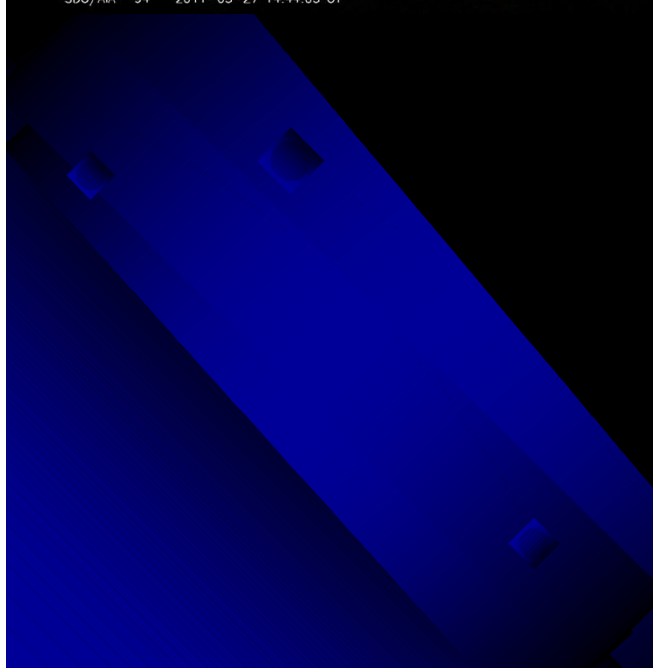
SDO/AIA 1700 2011-03-27 14:29:20 UT

1700Å



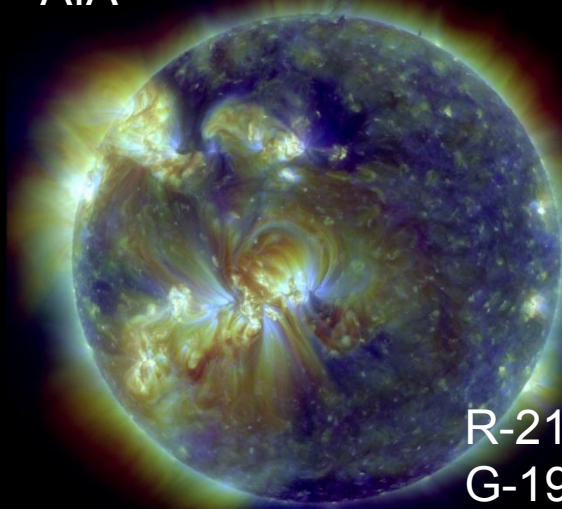
SDO/AIA 4500 2011-03-27 14:00:08 UT

4500Å



Результати накладання зображень

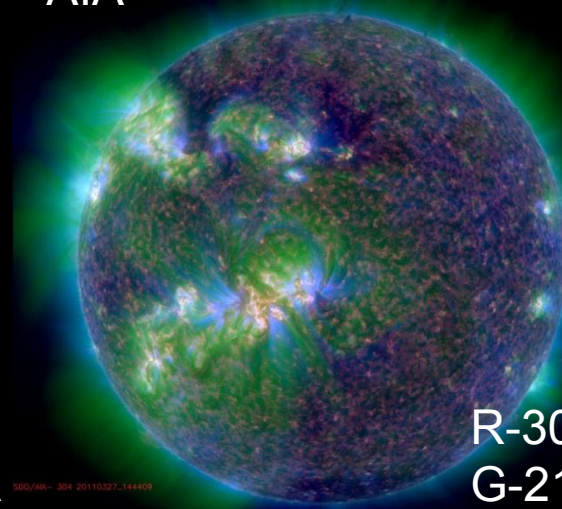
AIA



R-211Å
G-193Å
B-171Å

SDO/AIA - 211 20110327_144402
SDO/AIA - 193 20110327_144356
SDO/AIA - 171 20110327_144402

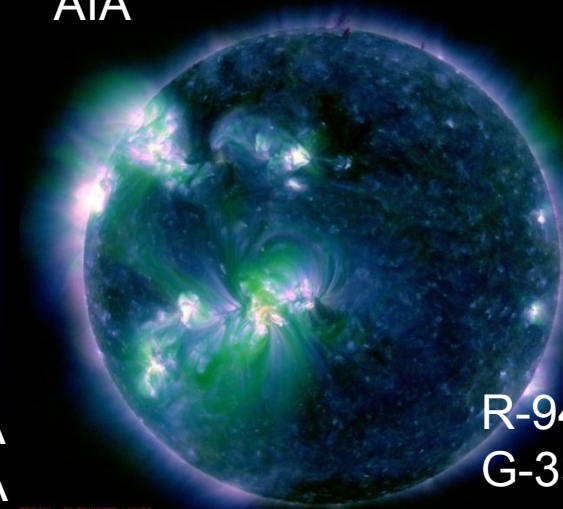
AIA



R-304Å
G-211Å
B-171Å

SDO/AIA - 304 20110327_144409
SDO/AIA - 211 20110327_144402
SDO/AIA - 171 20110327_144402

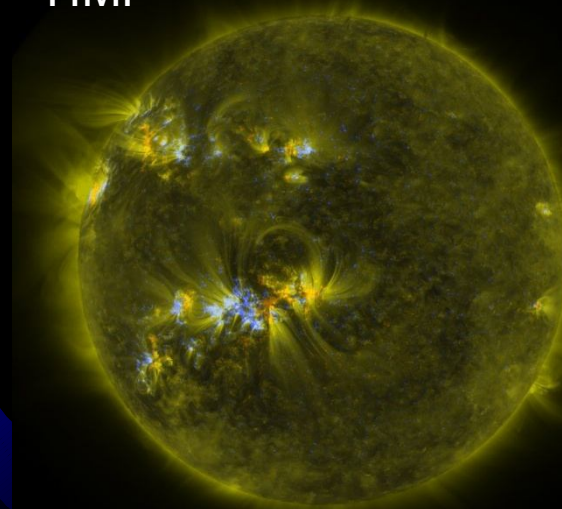
AIA



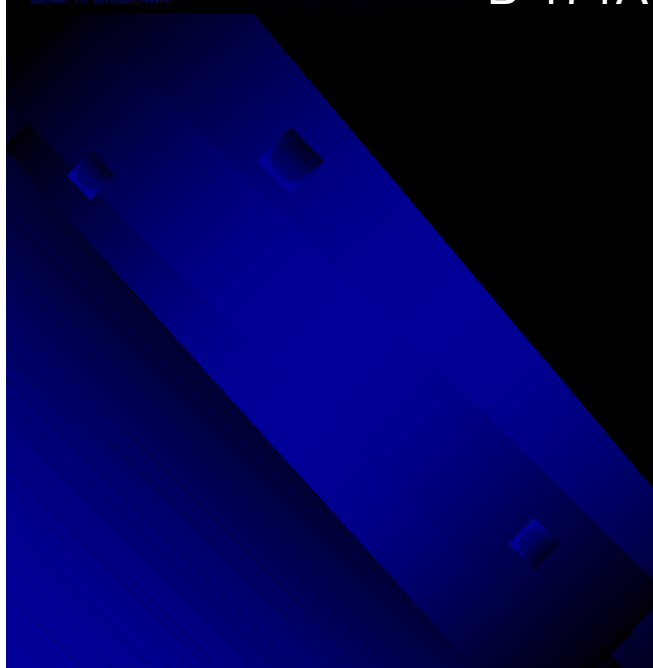
R-94Å
G-335Å
B-193Å

SDO/AIA - 94 20110327_144403
SDO/AIA - 335 20110327_144409
SDO/AIA - 193 20110327_144406

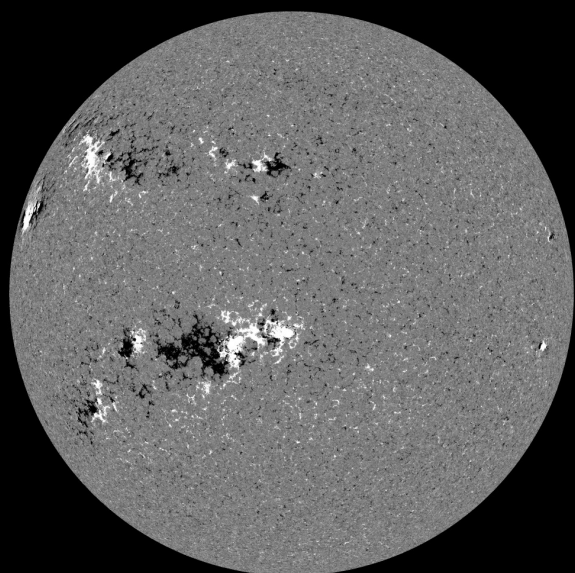
HMI



SDO/HMI 2011-03-27T12:51:32.400

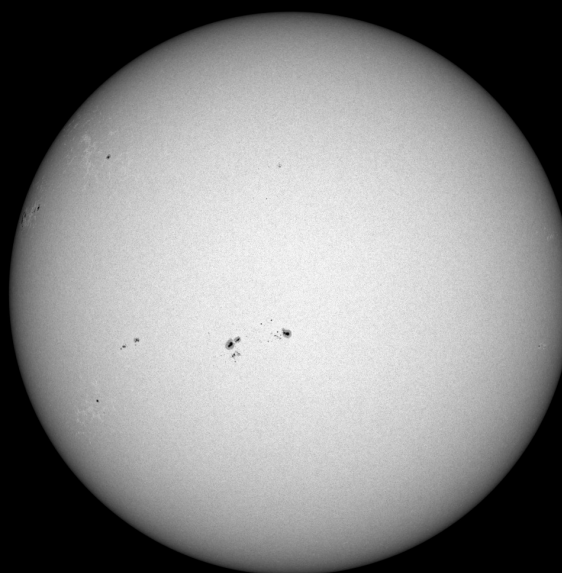


HMI Magnetogram
(магнітограма)



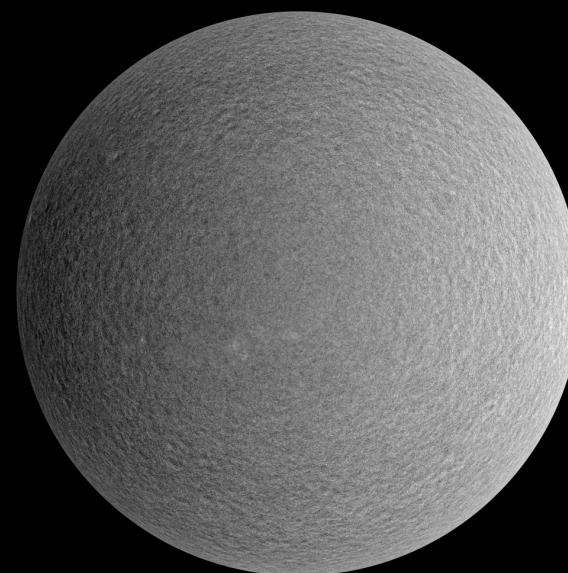
SDO/HMI Quick-Look Magnetogram: 2011.03.27_14:41:15_TAI

HMI Intensitygram
(інтенсивність магнітного поля)



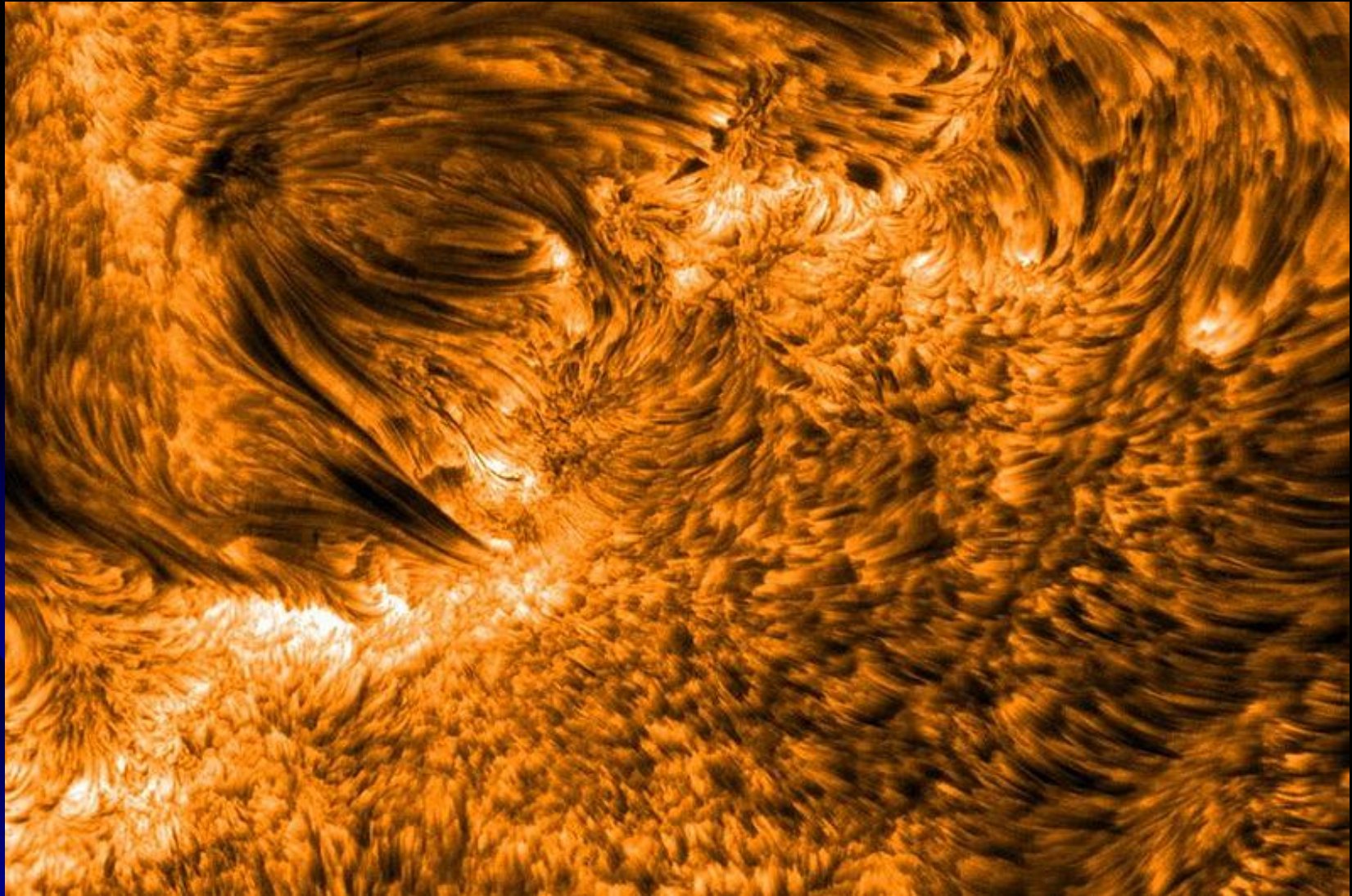
SDO/HMI Quick-Look Continuum: 2011.03.27_14:41:15_TAI

HMI Dopplergram
(доплерівський зсув)



SDO/HMI Quick-Look Dopplergram: 2011.03.27_14:41:15_TAI

Спікули – основні елементи тонкої структури хромосфери – стовби світлого газу діаметром ~ 1000 км, які піднімаються з нижньої хромосфери з швидкістю ~ 20 км/с; час життя близько 5-10 хв.

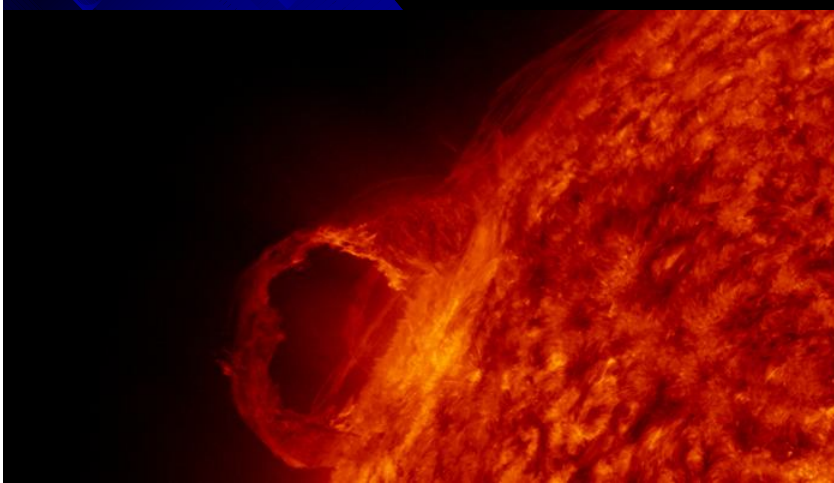
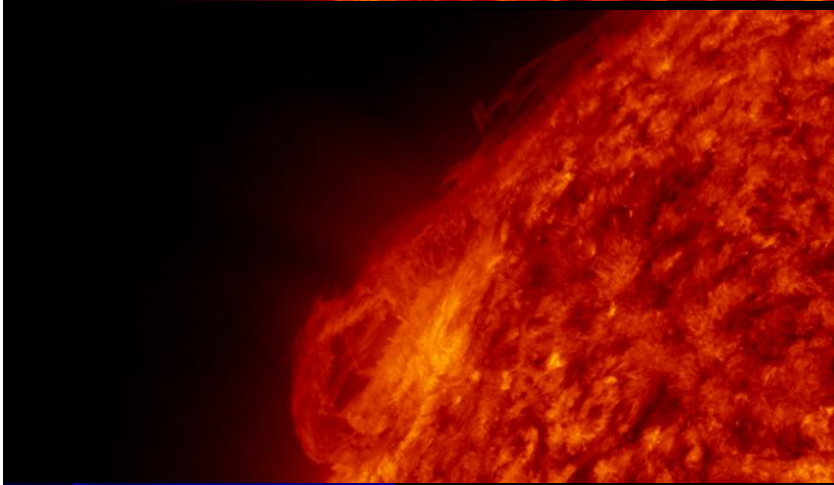
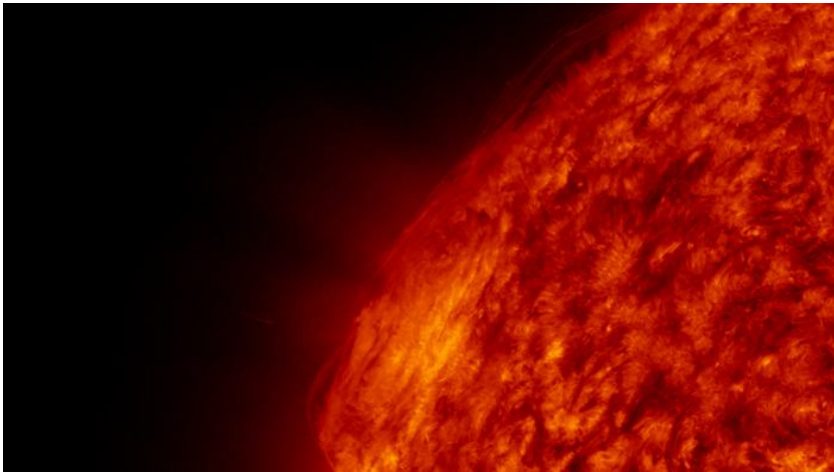



Протуберанець

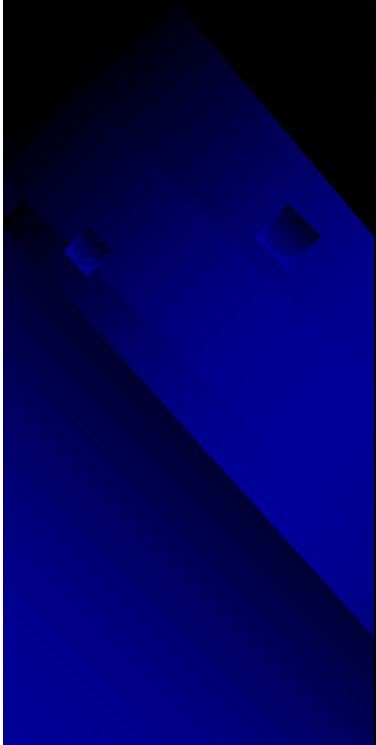
AIA

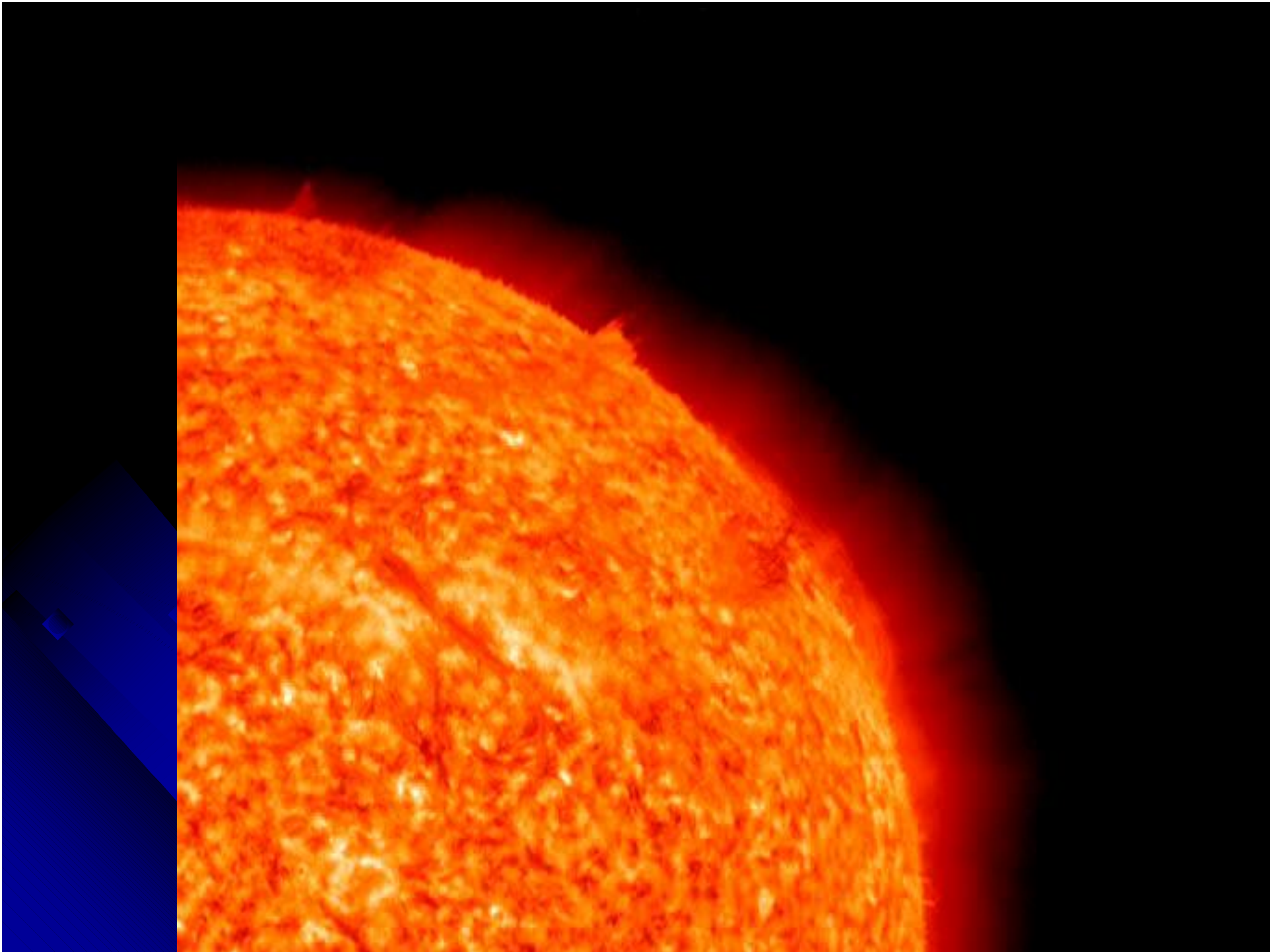
304 Å

March 30,
2010



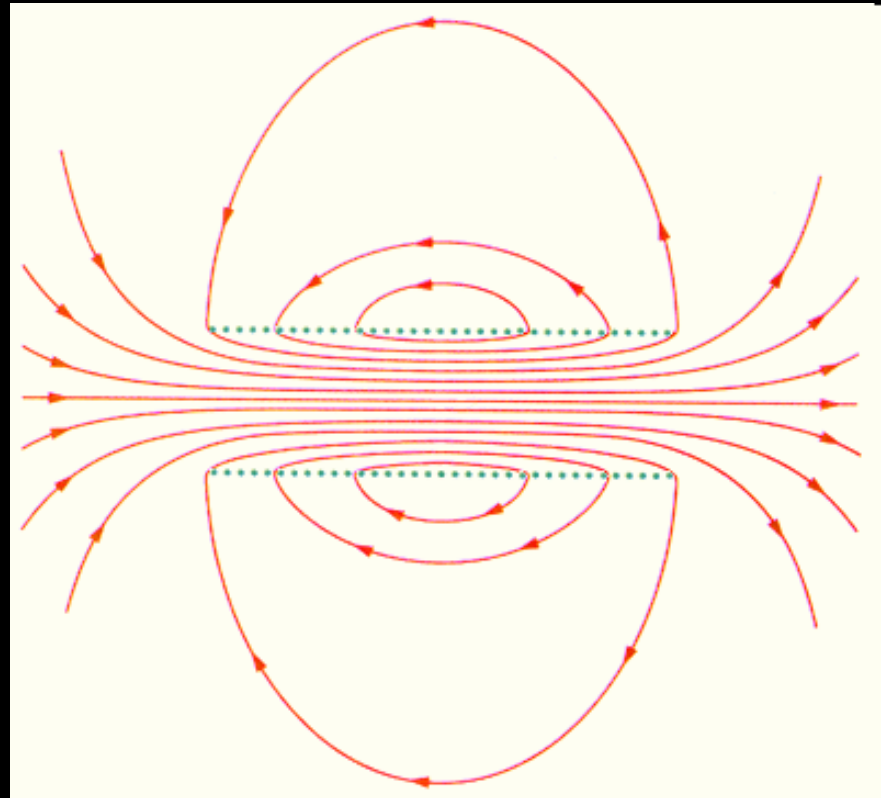
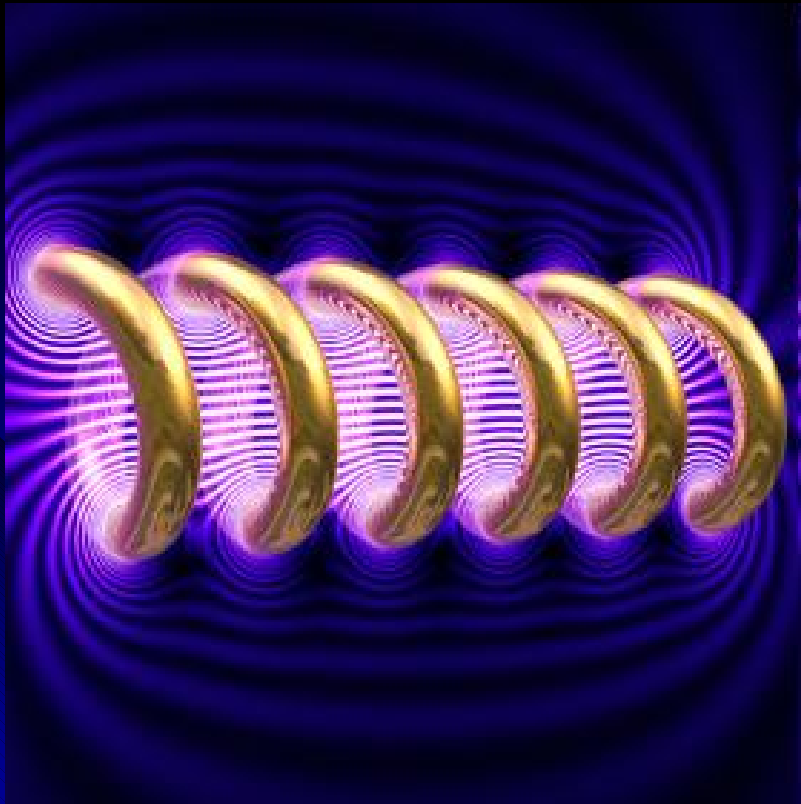
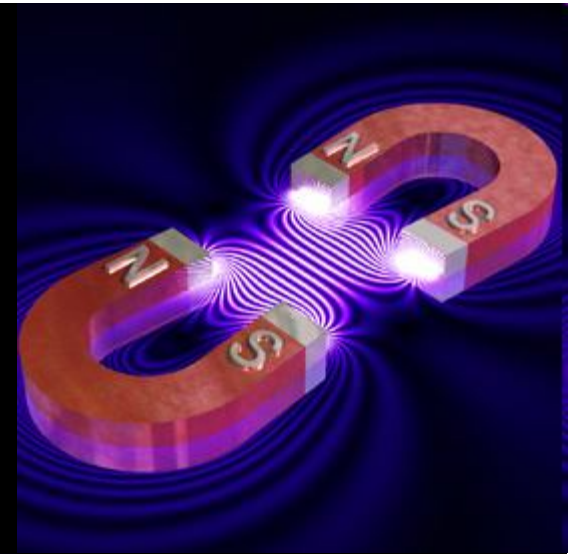
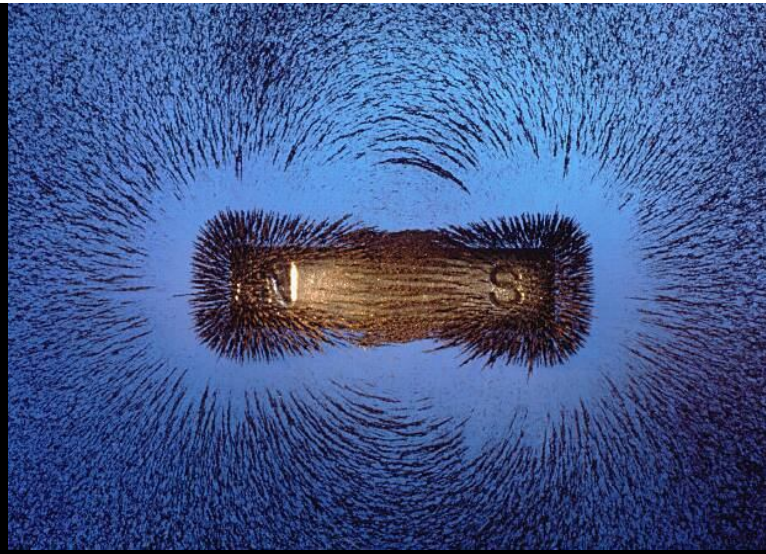
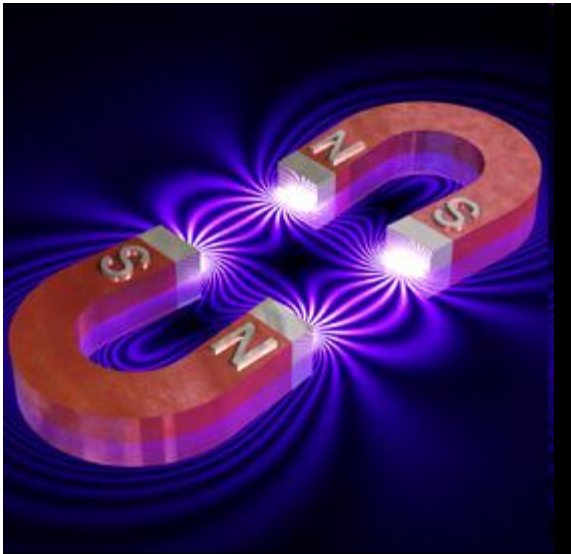
Approx. size of Earth → 

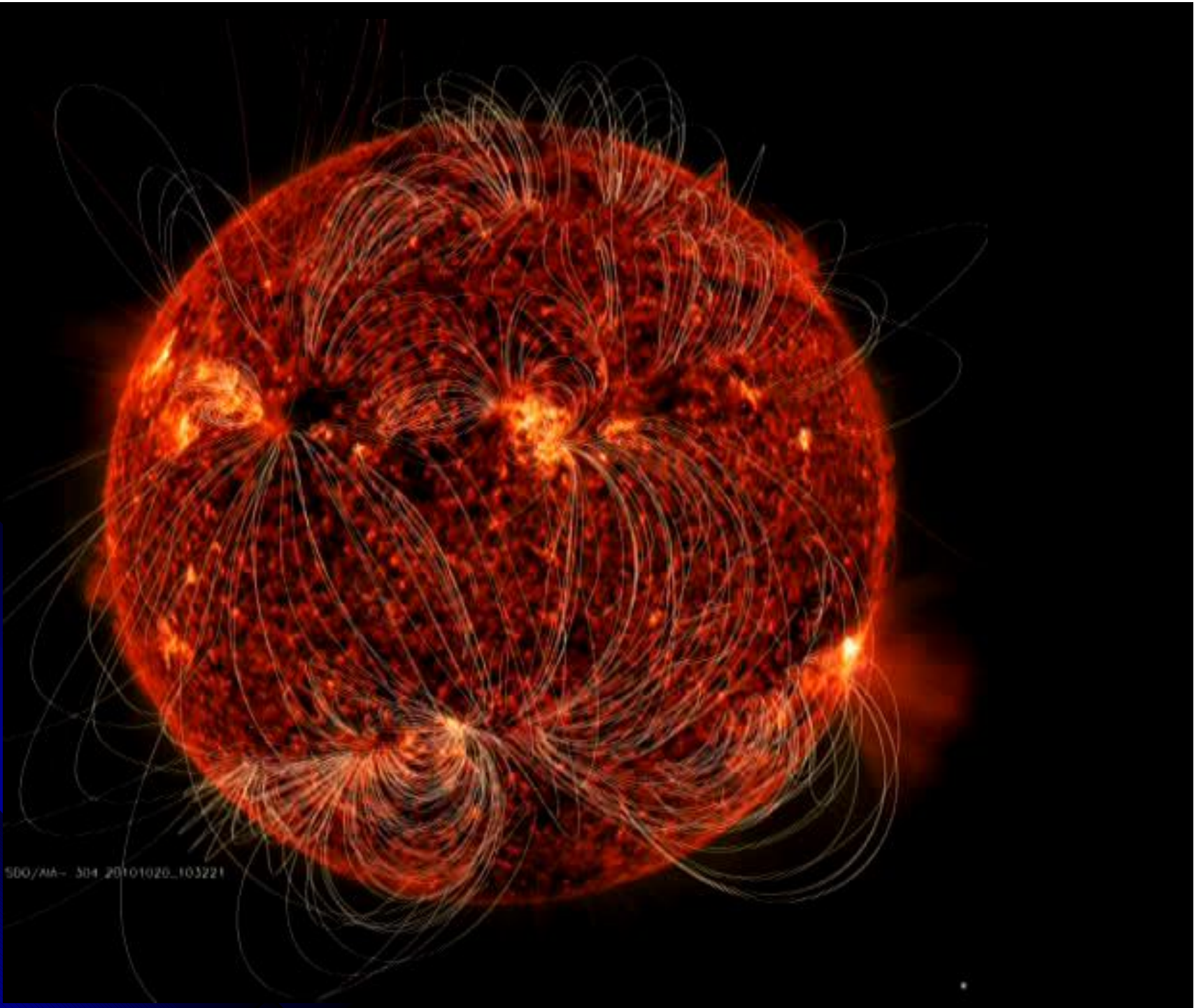






SDO/AIA 304 2011-01-26 00:21:09 UT





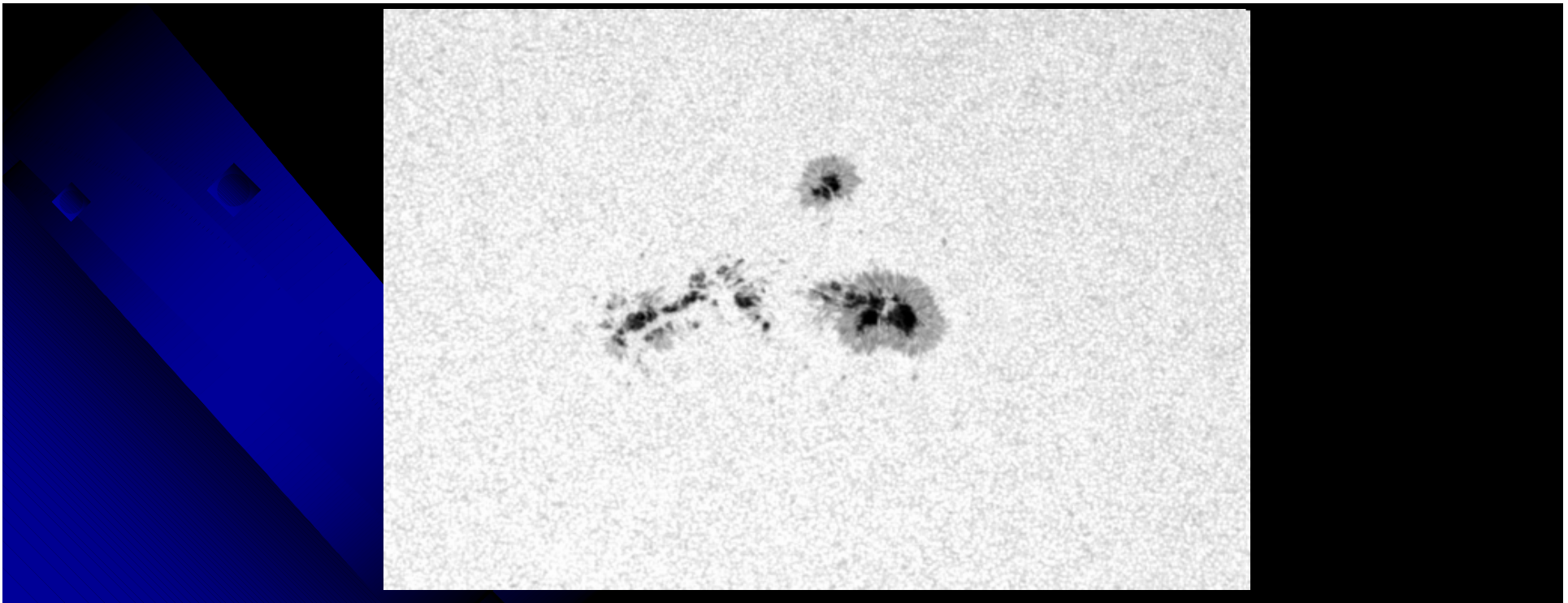
SDO/MA - 304_20101026_103221

Сонячні плями – темні області на Сонці, температура яких нижча приблизно на 1500 К порівняно з навколишніми ділянками фотосфери.

Сонячні плями є областями виходу у фотосферу сильних магнітних полів.

Потемніння фотосфери обумовлене придушенням магнітним полем конвективного руху, і, як наслідок, зниженням потоку переносу теплової енергії в цих областях.


Кількість плям на Сонці (та пов'язане з нею так-зване число Вольфа) — один з головних показників сонячної магнітної активності.



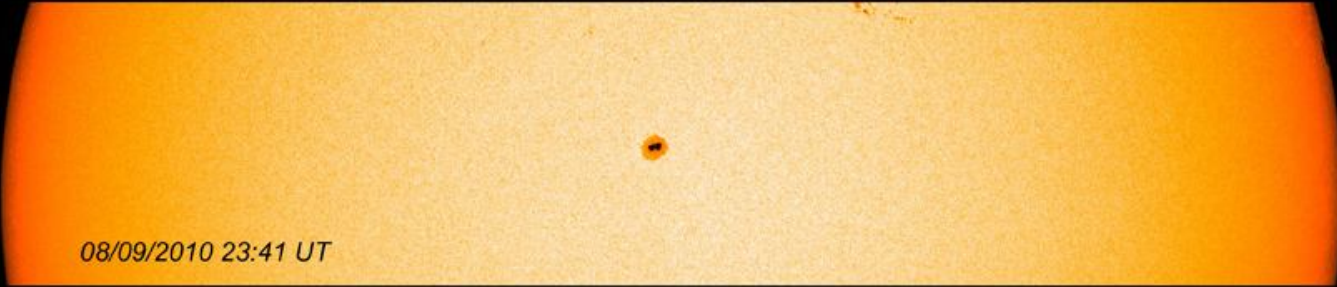
white light HMI instrument
8 – 10 серпня, 2010
Розділення сонячної плями



08/08/2010 23:57 UT



08/09/2010 10:40 UT

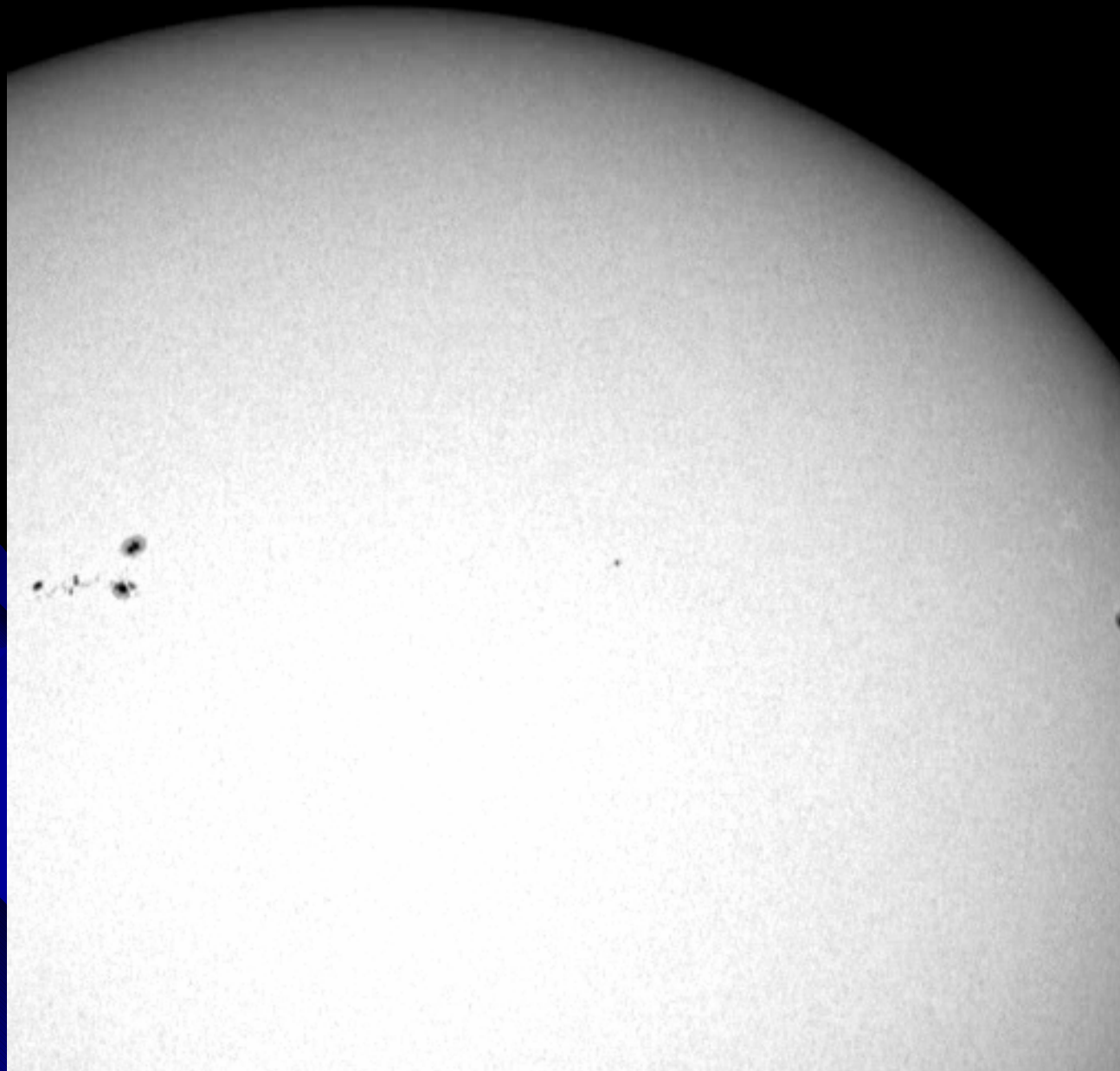


08/09/2010 23:41 UT



08/10/2010 23:00 UT

25-27 жовтня, 2010, НМІ
Еволюція сонячних плям



Розвиток сучасних енергетичних технологій, а також засобів зв'язку, зокрема супутникового, необхідність їх надійної та чіткої роботи, вимагає достовірної інформації про процеси, які відбуваються на Сонці. Крім того, найближча до нас зоря суттєво впливає на процеси життєдіяльності біологічних організмів.

Саме тому докладне вивчення процесів на Сонці, їх пояснення та прогнозування завжди залишатиметься актуальними та важливими завданням сучасної науки

У підсумку зазначимо, що науково-технологічний прогрес вимагатиме у найближчі роки виведення на орбіту нових космічних обсерваторій (наприклад, готується запуск телескопу імені Джеймса Вебба), тому можна прогнозувати значну кількість цікавих та важливих астрофізичних відкриттів.



Використані матеріали:

1. <http://sdo.gsfc.nasa.gov>
2. <http://sdo.lebedev.ru>
3. <http://www.astronomy.ru>
4. <http://en.wikipedia.org>
5. <http://galspace.spb.ru>
6. Копик А. "Предсказуема ли космическая погода?" // Новости космонавтики.- 2005.- №3.
7. Петрукович А., Зеленый Л. У природы есть и космическая погода // Наука и жизнь.- 2001.- №10.
8. Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. О некоторых статистических взаимосвязях солнечных, межпланетных и геомагнитосферных возмущений в период 1976-2000 годов. // Космические исследования.- 2003.- №6.

**Окрема подяка студенту групи СП-11
Олександру Бахуринському
за співпрацю у підготовці матеріалу
доповіді**

**Дякую всім присутнім -
за увагу та подальше обговорення доповіді :)**

