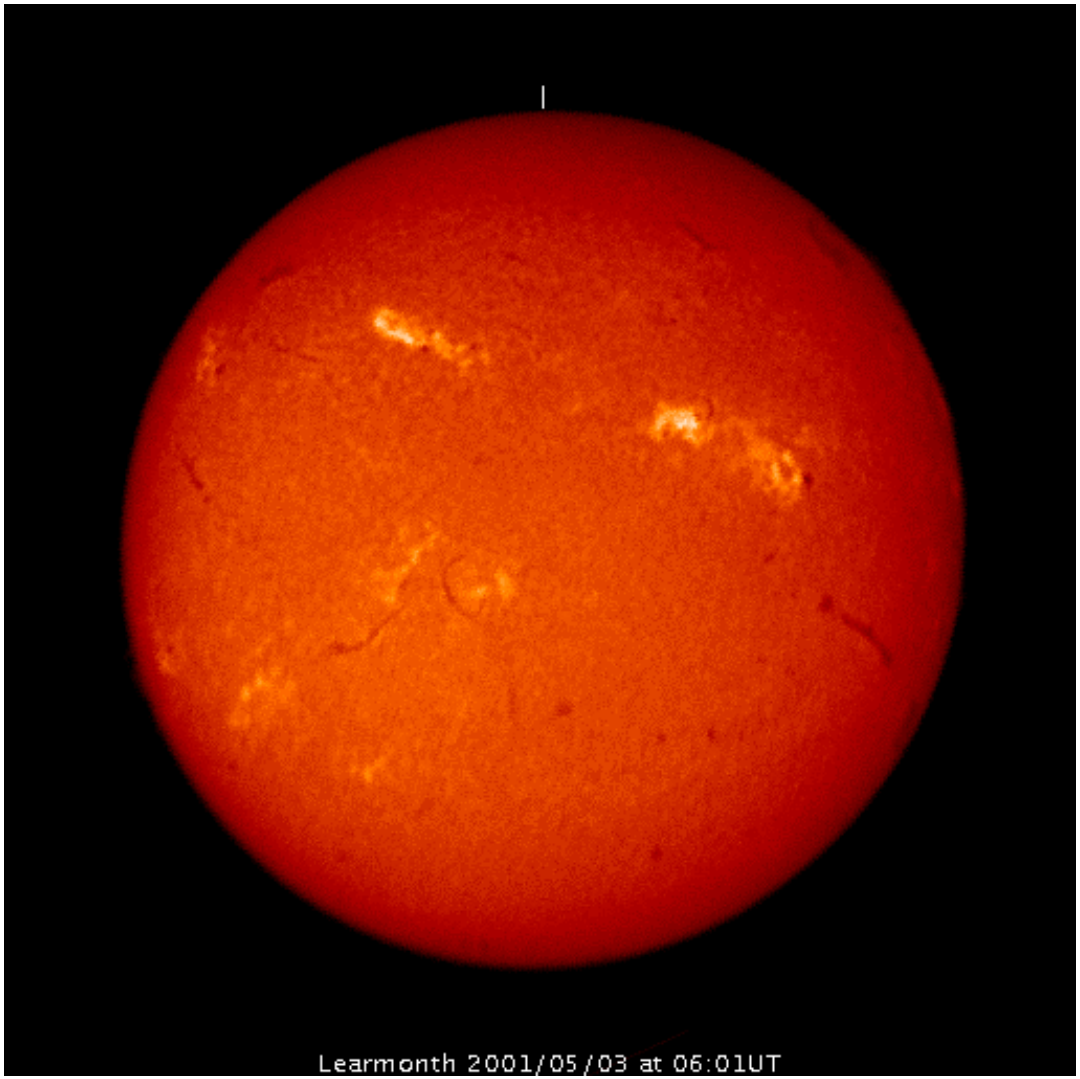
השמש



השמש

הפרק מיועד לתלמידים בכל הרמות ולמורים
הפרק כולל סרטונים. כדי לראותם ייתכן ויהיה צורך להפעיל פקד ActiveX

לקריאה משלימה ולתרגולים

פרק זה מבוסס על פרק ו' בספר
מדריך להכרת השמים, ד"ר יגאל פת-אל, הוצאת קוסמוס טלסקופים
http://cosmos.co.il/wfile/catalog/books.htm

למידע על מיקום השמש בשמים, מועדי זריחה, שקיעה, דמדומים ועוד:
http://education.org.il/edication/sun.htm

השמש היא כוכב

- השמש היא כוכב והיא מרכזה של מערכת השמש שלנו
- לשמש מקור אנרגיה פנימי משלה המפיק אנרגיה מתהליכים של היתוך גרעיני המתרחשים במרכז השמש שמם הטמפרטורה מגיעה לכ-16 ממיליון מעלות קלווין
- על פני השמש הטמפרטורה מגיעה לכ-5700 מעלות קלווין. האנרגיה שפולטת השמש הוא מקור האנרגיה שבזכותו קיימים חיים על כדור הארץ
- את כוכבי הלכת ויתר גרמי השמים במערכת השמש אנו רואים בזכות אור השמשהמוחזר מהם

משפחת השמש

השמש מצויה במרכז מערכת השמש ולמעלה מ-99% ממסת מערכת השמש מצויה בשמש במערכת השמש גופים רבים:

8 כוכבי לכת – אלה הגופים הגדולים ביותר במערכת השמש לאחר השמש

כוכבי לכת ננסיים – בינם כלולים פלוטו, קרס וגופים רבים בחגורת קויפר

ירחים – סביב 6 מכוכבי הלכת סבים ירח אחד או יותר

אסטרואידים – גופים קטנים הנעים סביב השמש, מרביתם בחגורה המצויה בין מאדים לצדק

שביטים – גופים העשויים בעיקר קרח מים ובו כלואים גזים ואבק. השביטים מצויים או בעננת אורט או בחגורת קויפר

אבק – שאריות מהעננה ממנה נוצרה מערכת השמש או תוצרים של התנגשויות

פלסמה – חומר מיונן שרובו המכריע נפלט מהשמש

לווינים מלאכותיים מעשה ידי אדם

השמש – נתונים פיזיקליים

- מסת השמש 1.99×10^{33}גרם והיא גדולה פי 333 אלף ממסת כדור הארץ
- רדיוסה של השמש הוא 6.96×10^{10} ס"מ (בקו המשווה)פי 109 מרדיוס כדור הארץ
- השמש היא כמעט כדור מושלם ונפחה גדול פי 1.3 מיליון מנפח כדור הארץ
- צפיפותה הממוצעת של השמש היא 1.4 גרם לסמ"ק, מעט יותר מצפיפות המים, אולם צפיפותה במרכז גבוהה הרבה יותר. הצפיפות במרכז מתקבלת על ידי מודלים המניחים מה הלחץ השורר במרכז השמש ומה הטמפרטורה שם, לפיהם צפיפותה המחושבת של השמש במרכז היא כ-160 גרם לסמ"ק.
- מהירות הבריחה מפני השמש היא 617.7 ק"מ לשנייה, פי 55 ממהירות הבריחה מפני כדור הארץ.
- תאוצת הכוכב בקו המשווה של השמש היא 274 מטר לשנייה^2, פי 28 מזו על כדור הארץ. כל גוף ישקול על פני השמש פי 28 מאשר ישקול על כדור הארץ.
- הספק קרינת השמש הוא 3.85×10^{26} וואט

השמש – נתונים פיזיקליים

- השמש סבה סביב צירה. אולם בגלל היותה גוף שאינו קשיח, מהירות הסיבוב שלה משתנה בהתאם למרחק מקו המשווה.
- משך הסיבוב של השמש סביב צירה בקו המשווה היא 25.05 ימים. מהירות זו מקבילה למהירות של 7190 ק"מ לשעה או 2 ק"מ לשנייה

- בקטבים, שם החומר דחוס יותר, משלימה השמש סיבוב סביב צירה אחת ל-34.4 ימים

- השמש גם סבה סביב מרכז הכובד של מערכת השמש. מיקומו של מרכז הכובד של מערכת השמש תלוי במיקום של כוכבי הלכת ביחס לשמש והוא משתנה. לעתים הוא מצוי בתוך השמש ולעתים הוא מצוי מחוץ לשוליה. לצופה בכוכב אחר, השמש תיראה כמבצעת ריקוד מורכב מאוד סביב נקודה כלשהי.

השמש בגלקסייה

- השמש מצויה במרחק של כ-26 אלף שנות אור ממרכז הגלקסייה
- השמש נעה סביב מרכז גלקסיית שביל החלב ומשלימה סיבוב אחת ל-220 מיליון שנה.
- מהירותה סביב מרכז הגלקסיה היא כ-220 ק"מ לשנייה
- השמש נעה גם ביחס לכוכבים בסביבתה. מהירותה ביחס אליהם היא 20 ק"מ לשנייה

הרכב השמש

- השמש מוגדרת ככוכב סדרה ראשית צהוב מטיפוס G2v גיל השמש מוערך בכ-4.6 מיליארד שנים
- בגלל הטמפרטורות הגבוהות בשמש, החומר המצוי בשמש מיונן ברובו המכריע במצב צבירה הקרוי - פלסמה. רק קרוב לפני השמש, שם הטמפרטורה מגיעה לכמה אלפי מעלות "בלבד", אפשר למצוא אטומים שלמים בהם אטומים של מימן והליום
- השמש מכילה בעיקר מימן (73.46%) והליום (24.85%) ושברירי אחוזים של מתכות (בעגה האסטרונומית, כל היסודות למעט מימן והליום קרויים "מתכות"). בעיקר –

חמצן (0.77%)
פחמן (0.29%)
ברזל (0.16%)
ניאון (0.12%)
חנקן (0.09%)
סיליקון (0.07%)

אנרגיית השמש

- השמש מפיקה את האנרגיה שלה על ידי היתוך גרעיני במרכזה ההיתוך הגרעיני במרכז השמש מתאפשר הודות ללחץ העצום השורר במרכזה ולטמפרטורה הגבוהה השוררת שם.
- עיקר ההיתוך הגרעיני הוא הליך בו התנגשויות של פרוטונים (גרעיני מימן) יוצרות גרעיני הליום. בתהליך משתתפים 6 גרעיני מימן ובסופו הופכים 4 פרוטונים לגרעין הליום אחד ו-2 פרוטונים הממשיכים את התהליך. גרעין ההליום שוקל פחות מ-4 הפרוטונים והפרש המסה הופך לאנרגיה בהתאם לנוסחה $E=MC^2$
- בחלק מהתהליכים בשמש מעורבבים גם גרעיני פחמן ופרוטונים. גם בתהליכים אלה תוצר הלוואי העיקרי הוא הליום הנוצר מ-4 פרוטונים שהשתתפו בתהליך, אך נוצרים גם גרעיני יסודות אחרים – חמצן וחנקן. לכן תהליך זה קרוי – תהליך CNO
- האנרגיה הנוצרת בתהליך מאזנת את כבידת השמש ולכן השמש מצויה בשווי משקל. אולם, בתהליכים נוצרים גם חלקיקי ניטרינו, שכמעט ואינם מתנגשים בחלקיקים אחרים ולכן הם נושאים חלק מהאנרגיה הנוצרת בתהליך הגרעיני מבלי לסייע באיזון הכבידה

חישוב שטף קרינת השמש

הקרינה הרציפה בתחום האור הנראה מגיעה מהפוטוספירה. אזור זה מאופיין בקרינה רציפה ובה קווי בליעה הנגרמים על ידי בליעה של פוטונים בחומרים המצויים בפוטוספירה. לפי עקרון הקרינה של גוף שחור, אנו יכולים לסמן את שטף הקרינה הנפלט מהשמש כ- L_O ואז:

$$L_0 = 4\pi r^2 \sigma T^4$$

כאשר החלק הראשון של האיבר הימני מבטא את פני השטח של השמש והחלק השני את שטף האנרגיה הנפלט מיחידת שטח לפי קבוע סטפן בולצמן, כאשר השטף תלוי בטמפרטורה. את שטף הקרינה L_E המגיע לכדור הארץ אנו יכולים למדוד. כאשר המרחק לשמש, R ידוע, אנו יכולים למצוא את שטף הקרינה המגיע מהשמש (בהינתן החזר קרינת השמש מאטמוספירת כדור הארץ, A):

$$L_E = \frac{4\pi r^2 \sigma T^4}{4\pi R^2 (1-A)} \Rightarrow \frac{r^2 \sigma T^4}{R^2 (1-A)}$$

ומכאן

$$L_E = \frac{L_0}{4\pi R^2 (1-A)}$$

חישוב טמפרטורת השמש

את הטמפרטורה של הפוטוספירה (טמפרטורה אפקטיבית) אפשר לחשב על פי העיקרון של קרינת גוף שחור, לפיו אורך הגל בו נפלט השטף המירבי של הקרינה מתכונתי לטמפרטורה$^{-1}$ (חוק וין). לכן, בהינתן שאורך הגל λmax שבו נפלטת שיא הקרינה הוא באורך גל של 500 נאנו מטר, אפשר לחלץ את טמפרטורת השמש לפי:

$$\lambda_{\max} = \frac{C}{T}$$

כאשר הקבוע C הוא $2.9x10^6 nm^oK$

$$5x10^2{}_{nm} = \frac{2.9x10^{6\cdot^0}K \cdot nm}{T}$$

ונקבל ש-T היא 5860 מעלות קלווין

קבוע השמש

קבוע המתאר את שטף האנרגיה של השמש ושווה ל- 1.36×10^6 ארג לשנייה לס"מ מרובע. קבוע השמש עשוי להשתנות עד כדי 0.5% בגלל פעילות מגנטית של השמש ובעיקר משתנה במקביל למחזוריות בת 11 שנים של פעילות השמש.

מעבר הקרינה בשמש

- הטמפרטורה במרכז השמש היא כ-16 מיליון מעלות קלווין ואילו בשפתה 5860 מעלות קלווין.

- ההבדל הגדול בטמפרטורה נגרם בגלל שהפוטונים הנפלטים בריאקציות הגרעיניות במרכז מתנגשים בחומר המצוי בין ליבת השמש לשפתה ומאבדים מהאנרגיה שלהם. בזכות התנגשויות אלו האנרגיה הנוצרת במרכז השמש מאזנת את הכבידה שלה והיא נותרת בשווי משקל

- בריאקציות במרכז השמש נוצרים גם חלקיקי ניטרינו. בגלל אופיים הקוונטי, חלקיקי הניטרינו כמעט ואינם מתנגשים עם החומר המצוי בשמש והם נפלטים החוצה ונושאים עמם מקצת מהאנרגיה הנוצרת בתהליכים בליבת השמש מבלי לסייע באיזון הכבידה

- יש כמה דרכים בהן האנרגיה עוברת מליבת השמש לשפתה:

מעבר קרינה

- על פי החוק השני של תרמודינמיקה, כל גוף חם מבקש להתקרר. הקירור נעשה על ידי העברת האנרגיה שלו לסביבה הקרה יותר, עד להשגת שווי משקל תרמי. אחת הדרכים להתקרר היא על ידי קרינה, כאשר האנרגיה מועברת על ידי קרינה אלקטרומגנטית.
- מעבר אנרגיה הנוצרת במרכז השמש מתאפשר באמצעות קרינה כאשר אטימות החומר היא במידה שפוטונים עוברים מרחק קצר בטרם הם נבלעים או נפלטים חזרה. בדרך זו, פוטונים אנרגטיים מאוד עוברים הרבה התנגשויות. פרק הזמן שפוטון שנוצר בליבת השמש כקרינת גאמא יוצא משכבת הקרינה הוא כ-170 אלף שנים! כאשר מעבר האנרגיה הוא בעיקר על ידי פוטונים, אנו אומרים כי זו שכבה קרינתית.
- בשמש מעבר קרינה מתרחש בעיקר בשכבה שמסביב לליבת השמש שם החומר מיונן ומאפשר מעבר אנרגיה על ידי קרינה.

הסעה

- הסעה היא עוד דרך שבה גוף חם מתקרר על ידי העברת אנרגיה לאזור גבול קר יותר. שתי הדרכים הנוספות הן קרינה והולכה. ההסעה מתאפשרת רק כאשר החומר הוא צמיג דיו המאפשר תנועה של החומר החם לאזורים קרים יותר כך שיאפשר את העברת האנרגיה.

- כאשר מפל הטמפרטורות (ההבדל בין הטמפרטורות בשתי קצוות השכבה) גדול והפלסמה מתנהגת כמו נוזל, האנרגיה מועברת על ידי גושי חומר חמים שנעים מהאזורים הפנימיים החמים יותר לכיוון חוץ, כאשר הם מתקררים הוא נעים פנימה וחוזר חלילה. מעבר הקרינה בדרך זו קרוי – הסעה, כיוון שהאנרגיה מוסעת על ידי זרמי החומר. הסעה יכולה להתרחש גם שהגז הנע מהאזור החם לאזור הקר הוא בעל קיבול חום גדול ולכן הוא לא מאבד חום רב לסביבה ולפיכך יכול לנוע מרחק גדול יותר.

- האיזור ההיסעי בשמש קר יותר מהאזור הקרינתי וחלק מהחומר בו אינו מיונן ואפשר למצוא שם גם אטומי מימן ומפל הטמפרטורות הגבוה שלו מאפשר זרמי הסעה.

מבנה השמש

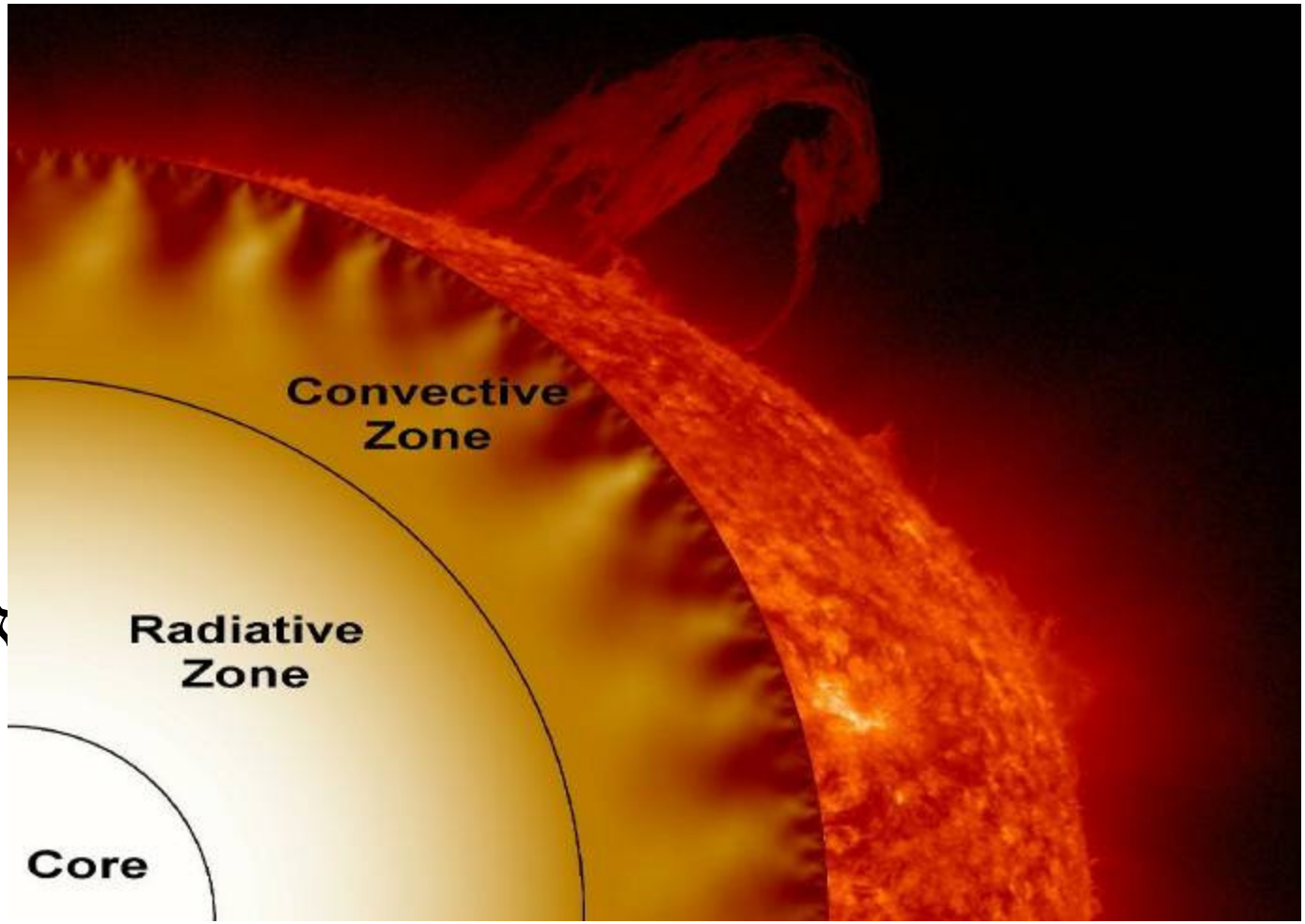
השמש מחולקת לכמה איזורים:

- ליבת השמש – האיזור בו מתרחשים ריאקציות גרעיניות. גודלו כ-20% מרדיוס השמש
- שכבת הקרינה - האיזור בו האנרגיה מועברת על ידי קרינה – מגיע לכ-70% מרדיוס השמש
- שכבה היסעית – האיזור בו מעבר הקרינה חל על ידי הסעה ומגיע לשולי השמש
- פוטוספירה – האיזור ממנו נפלטת הקרינה המגיעה אלינו. טמפרטורה 5860 מעלות קלוין
- כרומוספירה – איזור מעל העטרה שעוביו כ-2000 ק"מ ק"מ, באיזור זה יש פעילות מגנטית רבה ולכן הוא חם יותר בגבולו העליון מאשר הפוטוספירה. קרוי כך בגלל גונו הכתום
- עטרה – הילת השמש המשתרעת עד כמה רדיוסי שמש. גם בה חלות התפרצויות מגנטיות
- הליוספירה – האיזור החיצוני ביותר שבו מצויה הפלסמה המועפת מהשמש ונעה במערכת השמש בהתאם לקויי השדה המגנטי של השלש

מבנה השמש

איזור הסעי

איזור קרינתי

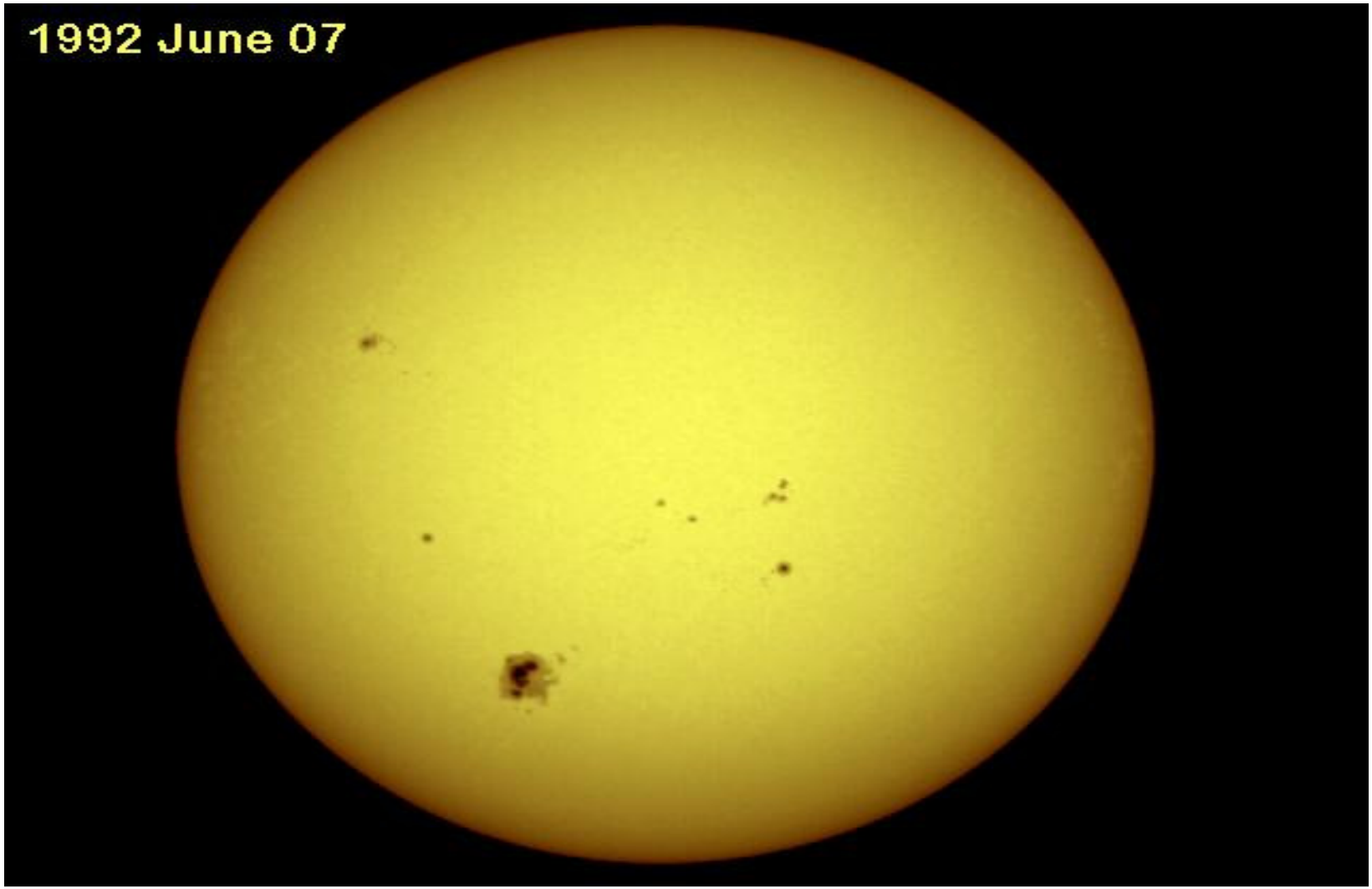


ליבה

הפוטוספירה

- הפוטוספירה היא השכבה המוגדרת כפני השמש. הפוטוספירה קרויה כך כיוון שממנה נפלטים הפוטונים המגיעים אלינו והטמפרטורה שלה מוגדרת כטמפרטורה
- האפקטיבית של השמש בפרט ושל כוכב בכלל. טמפרטורת הפוטוספירה היא של גוף שחור בטמפרטורה של 5860 מעלות קלווין, כאשר צבעה ההוא צהוב-ירקרק, הצבע האופייני לגוף שחור בעל טמפרטורה זהה.
- אי סדירויות בשדה המגנטי של הפוטוספירה גורם לתופעות שונות ובכלל זה כתמי שמש, התפרצויות. מתחת לפוטוספירה מצויה שכבת העברה שבה חומר מוסע אל הפוטספירה, מתקרר ויורד אל השכבות מתחת לפוטוספירה. טמפרטורת הפוטוספירה נמוכה באופן משמעותי מזו של השכבות הפנימיות יותר.
- עוביה של הפוטוספירה כ-500 ק"מ ומעליה מצויה הכרומוספירה.

פוטוספירה

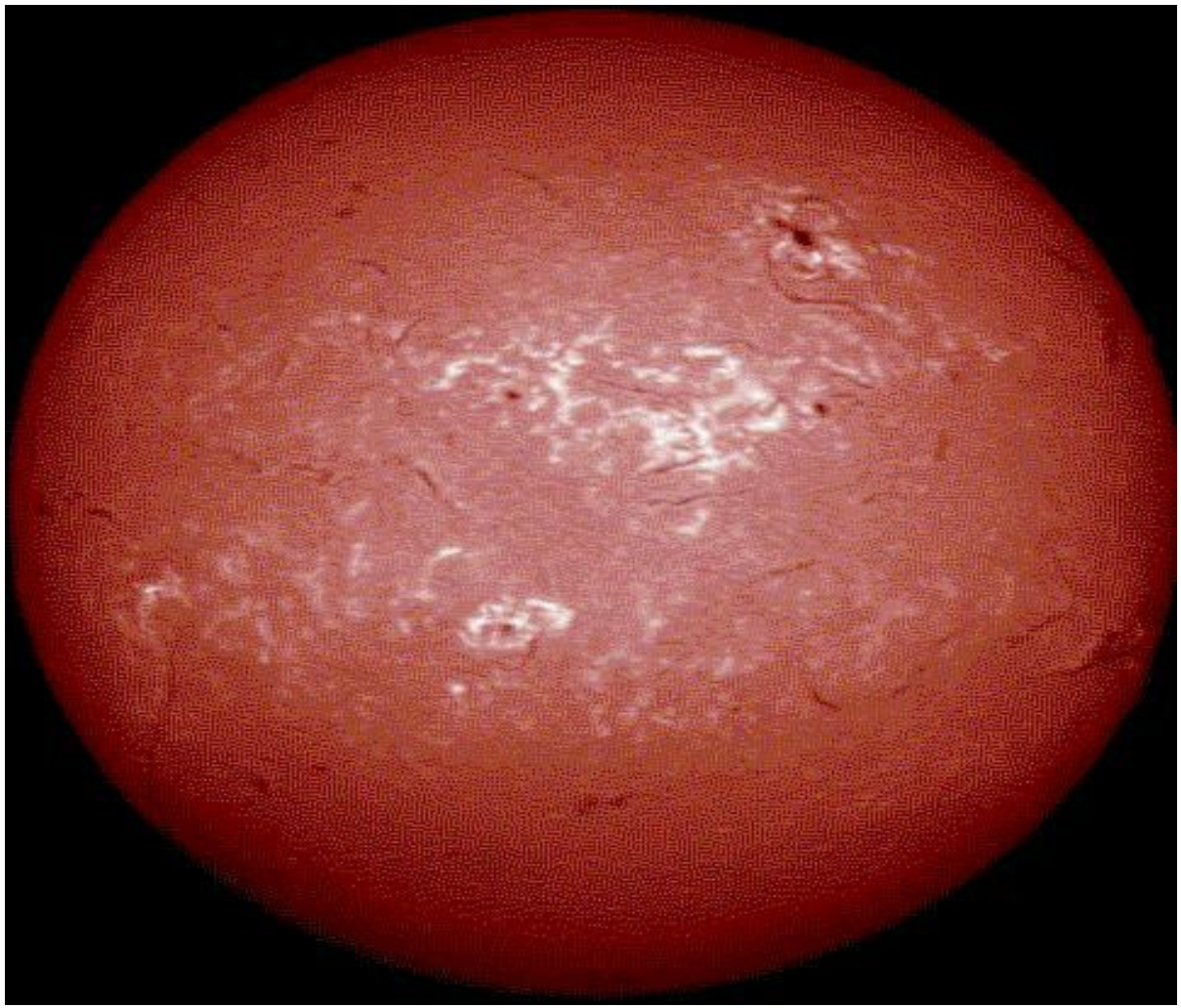


- http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/w920607.jpg

הכרומוספירה

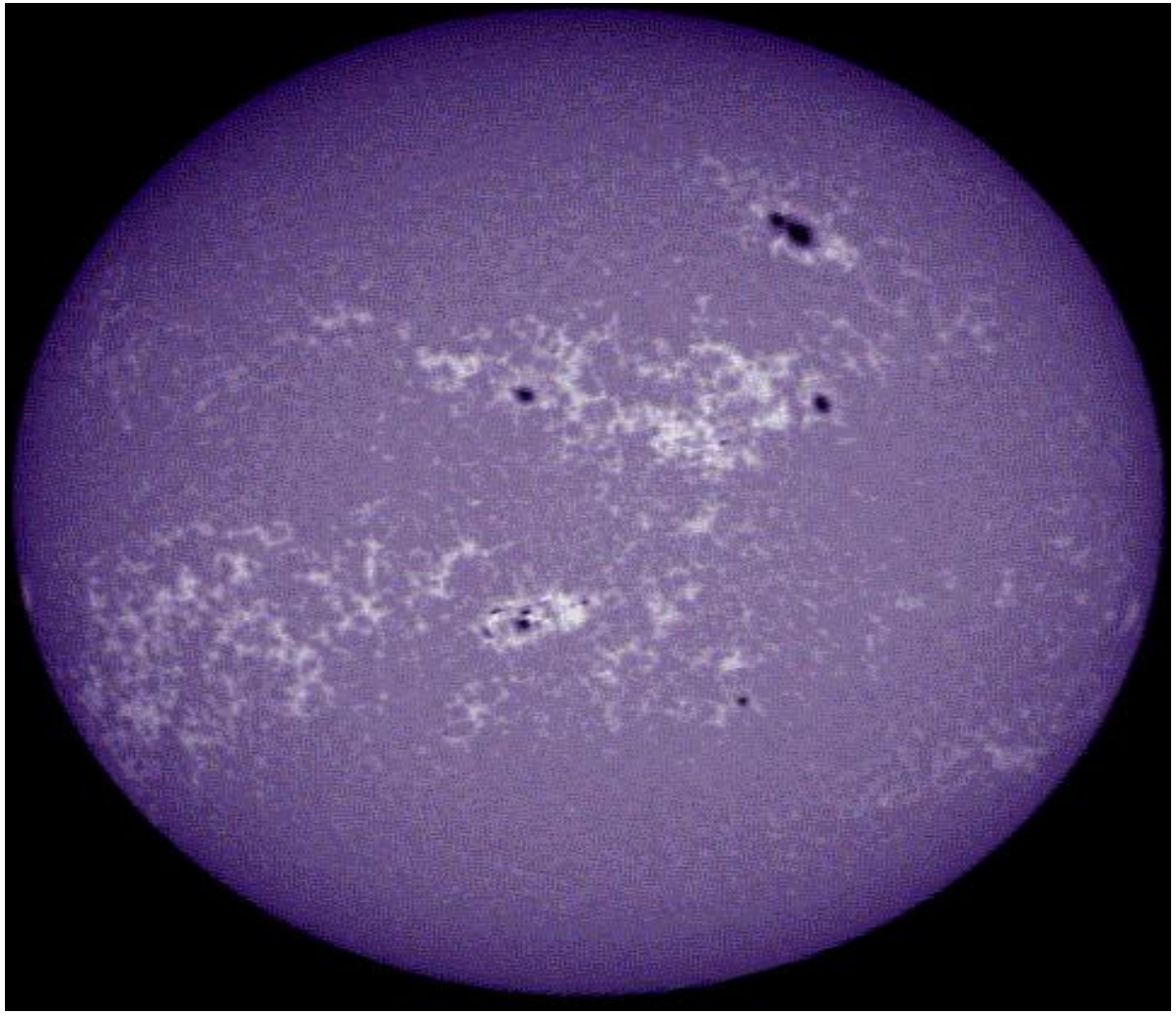
- הכרומוספירה היא החלק התחתון של אטמוספירת השמש, המשתרע מהפוטוספירה עד לגובה של כ-2000 ק"מ. מעל הכרומוספירה מצויה שכבת הגבול בינה לבין העטרה שמה של הכרומוספירה נובע מצבעה האדמדם-חום (כרומו=צבע).
- הכרומוספירה דלילה מאוד. צפיפותה קטנה בכ-10000 פעם ביחס לצפיפות השכבה הפנימית יותר – הפוטוספירה. והיא משתנה מ $2x10^{-7}$ גרם לסמ"ק בגבולה הפנימי עד ל$1.5x10^{-14}$ גרם לסמ"ק בשכבת הגבול העליונה שלה הטמפרטורה של הכרומוספירה יורדת משכבת הגבול עם הפוטוספירה, שם הטמפרטורה 5860 מעלות קלווין, עד לערך של 3800 מעלות קלווין, אולם בסמוך לשכבת הגבול עם העטרה היא עולה לערך של 35000 מעלות קלווין, מה שקרוי – מפל הטמפרטורה ההפוך.
- הכרומוספירה מאופיינת בפליטה של קווי פליטה, בין היתר של מימן באורך גל 656.3 נאנו מטר (קווי Hα). צפייה במסננים המעבירים קווים אלה מאפשרת לראות אירועים החלים בשכבת הכרומוספירה

כרומוספירה (צילום באור גל מימן Ha)



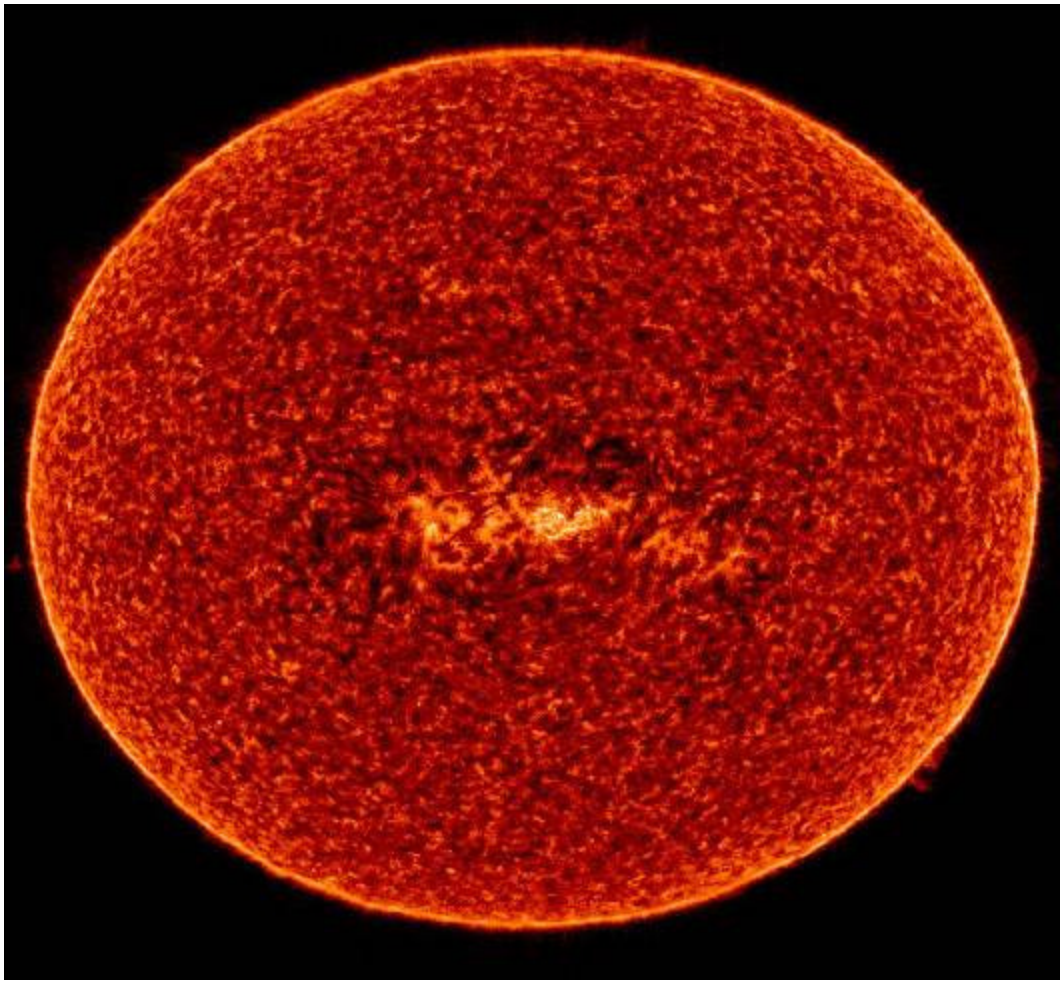
http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/HI6563_fulldisk.jpg

הכרומוספירה – צילום באורך גל CAII 393.4 nm



http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/CAII3934_fulldisk.jpg

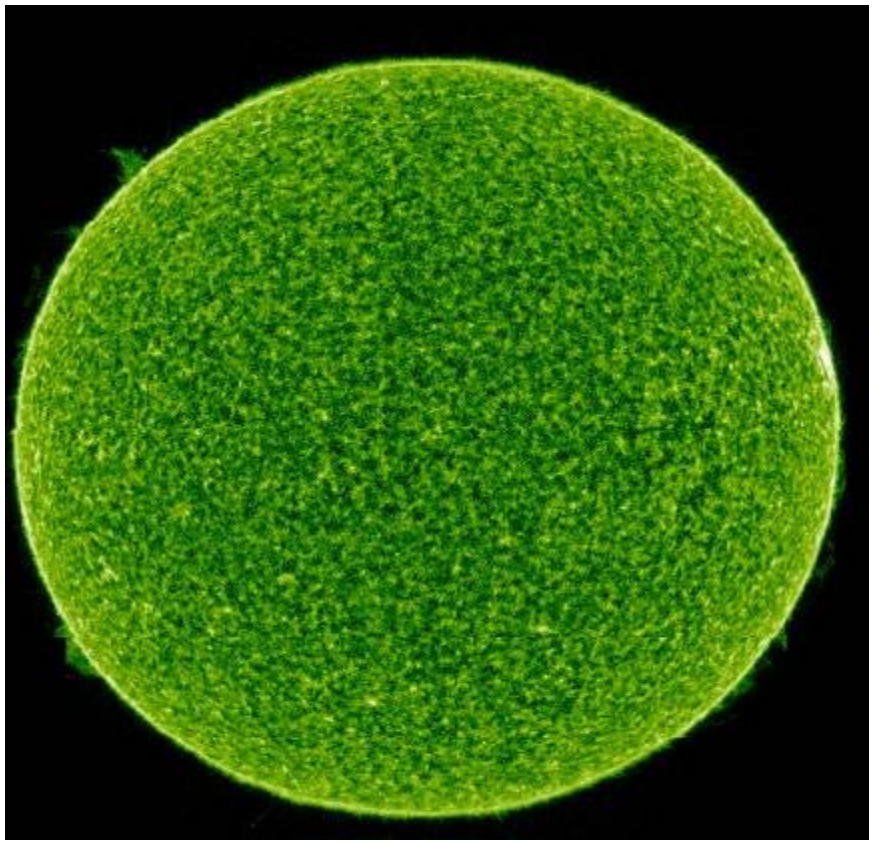
שכבת מעבר – צילום באורך גל SI V מתאים לטמפרטורה של 200000^0K



http://solarscience.msfc.nasa.gov/t_region.shtml

שכבת המעבר. צולם באורך גל של C IV מתאים לטמפרטורה של 100000^0K

- קווים ספקטרליים של C IV, O IV, and Si IV



- http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/sumer_C_IV.jpg

העטרה

- העטרה היא החלק החיצוני של אטמוספירת השמש והיא משתרעת למרחק של כמה קוטרי שמש. גודלה משתנה בהתאם לפעילות המגנטית של השמש.

- הטמפרטורה של העטרה מקבילה לכ-3 מיליון מעלות והיא למעשה מחושבת לפי התפלגות האנרגיה של החלקיקים האנרגטיים המצויים בה, הנורים מהשמש

- התפרצויות בעטרה – לעתים נוצרות בעטרה אי- סדירויות מגנטיות הגורמות להתפרצויות גדולות שבמהלכן נזרק חומר ובמהירות גבוהה מהעטרה CME (Coronal Mass Ejection). סוג נוסף של התפרצויות הן לולאות העטרה

- התפרצויות CME נורים חלקיקים אנרגטיים מהירים לחלל ובין היתר לכיוון כדור הארץ. אינטרקציה של חלקיקים אלה עם השדה המגנטי של כדור הארץ מתעלת אותם לכיוון הקטבים המגנטיים שלו

מפל הטמפרטורה ההפוך

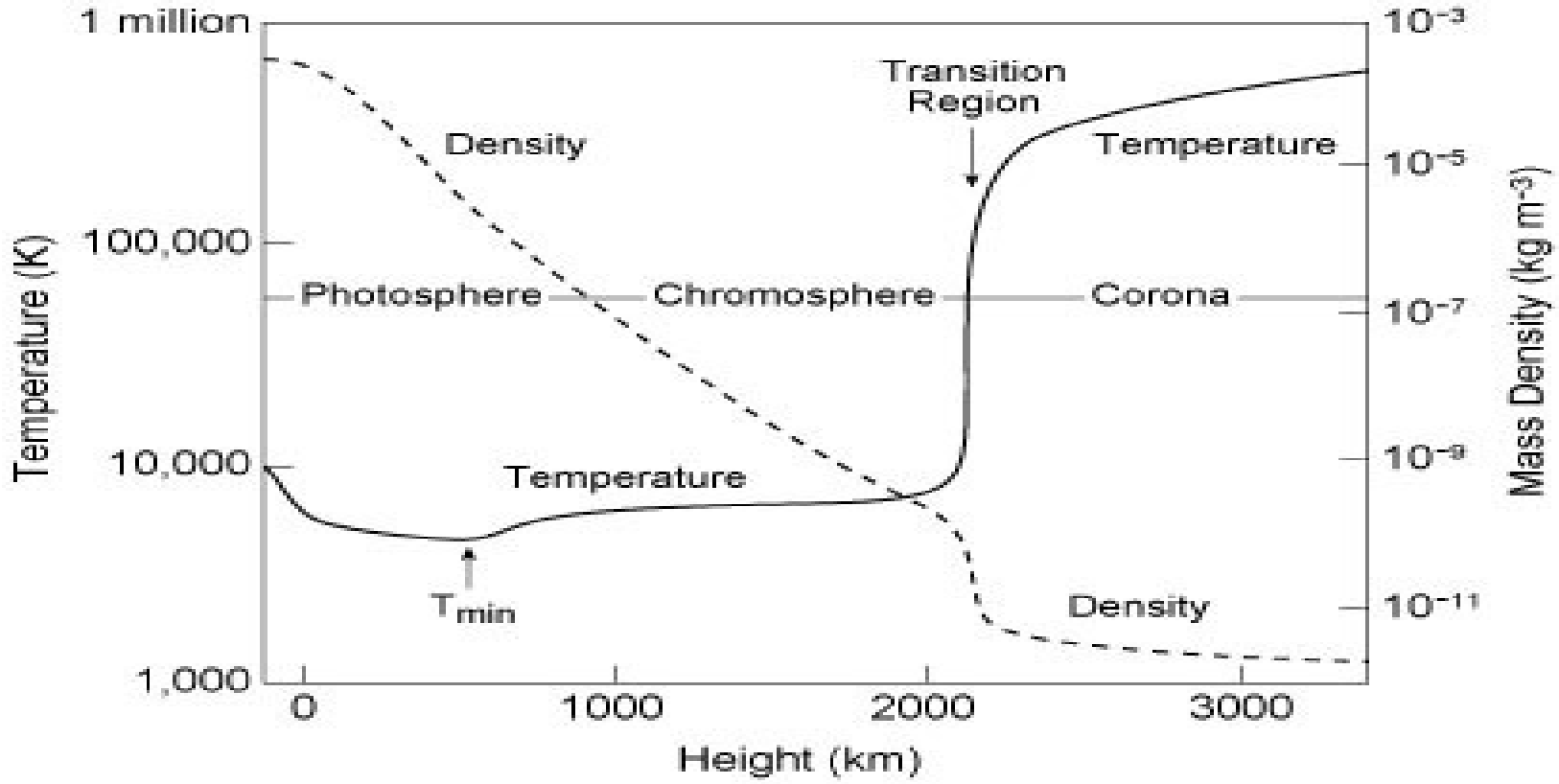
באופן טבעי, היינו מצפים שהטמפרטורה תרד ככל שמתרחקים ממרכז השמש. אכן, הפוטוספירה היא האזור ה"קר" ביותר ביחס לכל השכבות שמתחתיו לכיוון מרכז השמש. גם הכרומוספירה קרה יותר מהפוטוספירה ברובה וגם כאן נשמר העיקרון של מפל טמפרטורה.

אולם, בשכבה העליונה של הכרומוספירה – בשכבת המעבר לעטרה, הטמפרטורה מתחילה לעלות, לכמה עשרות אלפי מעלות ולאחר מכן עולה באופן חד לכיוון העטרה עד לערכים של מיליוני מעלות. העלייה בטמפרטורה של הכרומוספירה מיוחסת לגלים הידרומגנטיים וגלי הלם הנוצרים בפני השמש (גרנולות) הנעים לתוך הכרומספירה.

המנגנון הגורם לעליית הטמפרטורה של העטרה ושכבת המעבר אינו ברור, אך ייתכן והסיבה נעוצה בפלסמה המואצת לאורך קווי הכוח המגנטיים ויוצרת תופעות כגון לולאות עטרה, המעבירות אנרגיה אל השכבות התחתונות של העטרה, כאשר התהליך המדויק עדיין אינו ברור דיו.

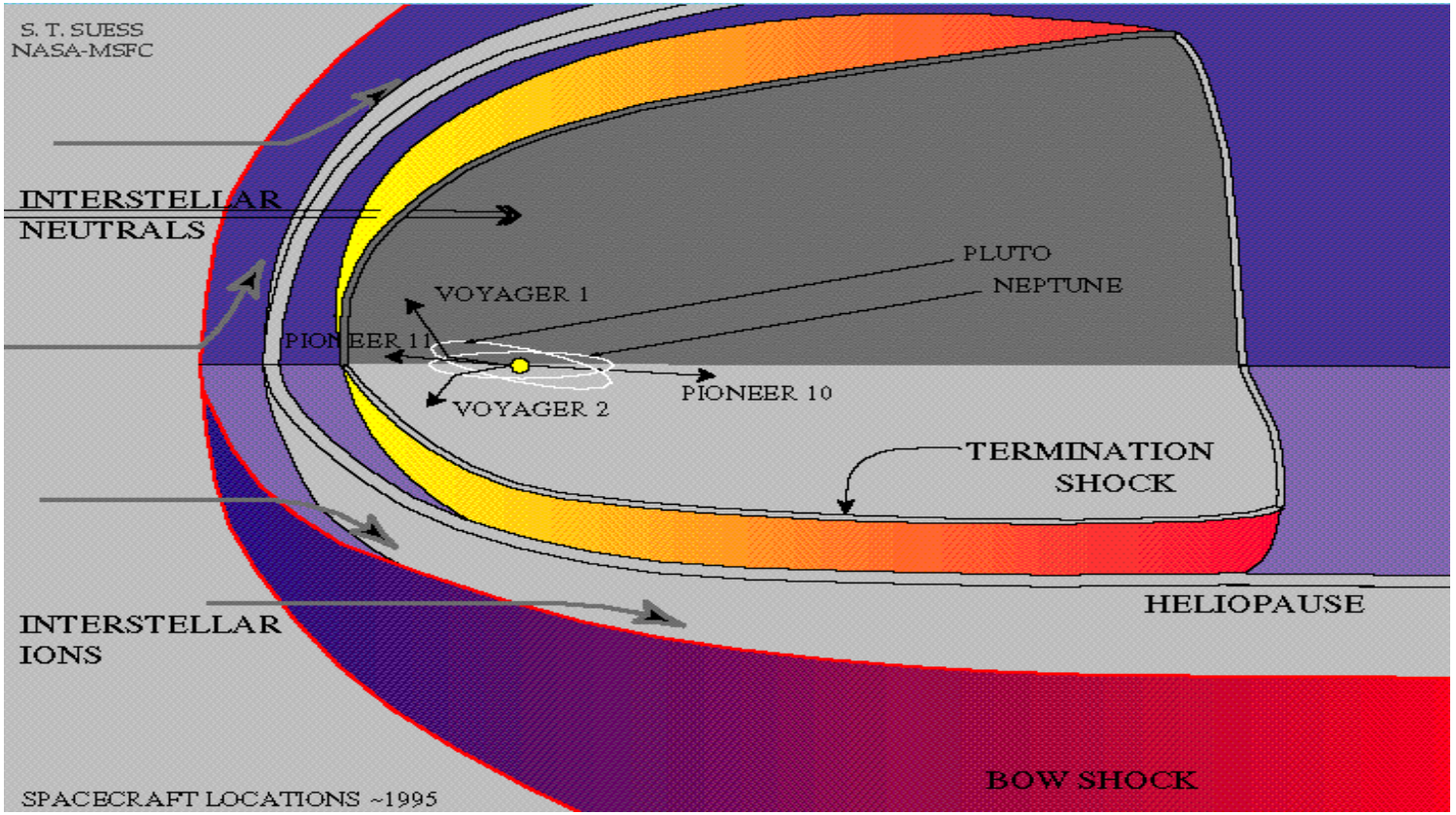
שמש – מפל טמפרטורות

- מפל הטמפרטורות ההפוך מהפוטוספירה לעטרה, וכן שינוי הצפיפות



http://www.egu.eu/inside-egu/divisions-and-present-officers/division-planetary-and-solar-system-sciences/outreach/sun.html

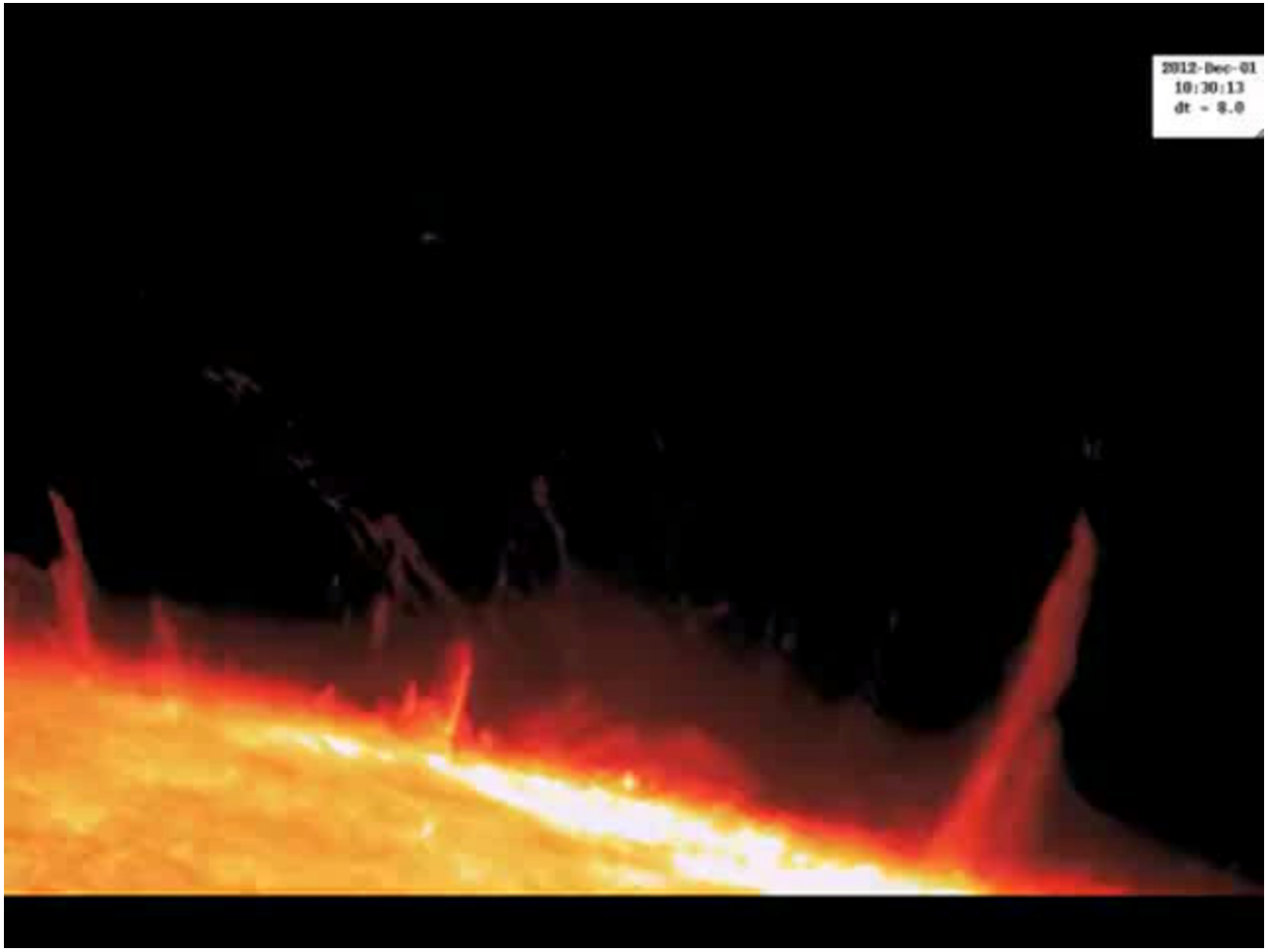
הליוספירה



זו למעשה החלק החיצוני של אטמוספירת השמש. משתרעת למרחק מאות יחידות אסטרונומיות וכוללת את החלקיקים הטעונים המצויים על קווי הכוח של השדה המגנטי של השמש.

- http://solarscience.msfc.nasa.gov/Heliosphere.shtml

פעילות שמש שצולמה על ידי Hinode

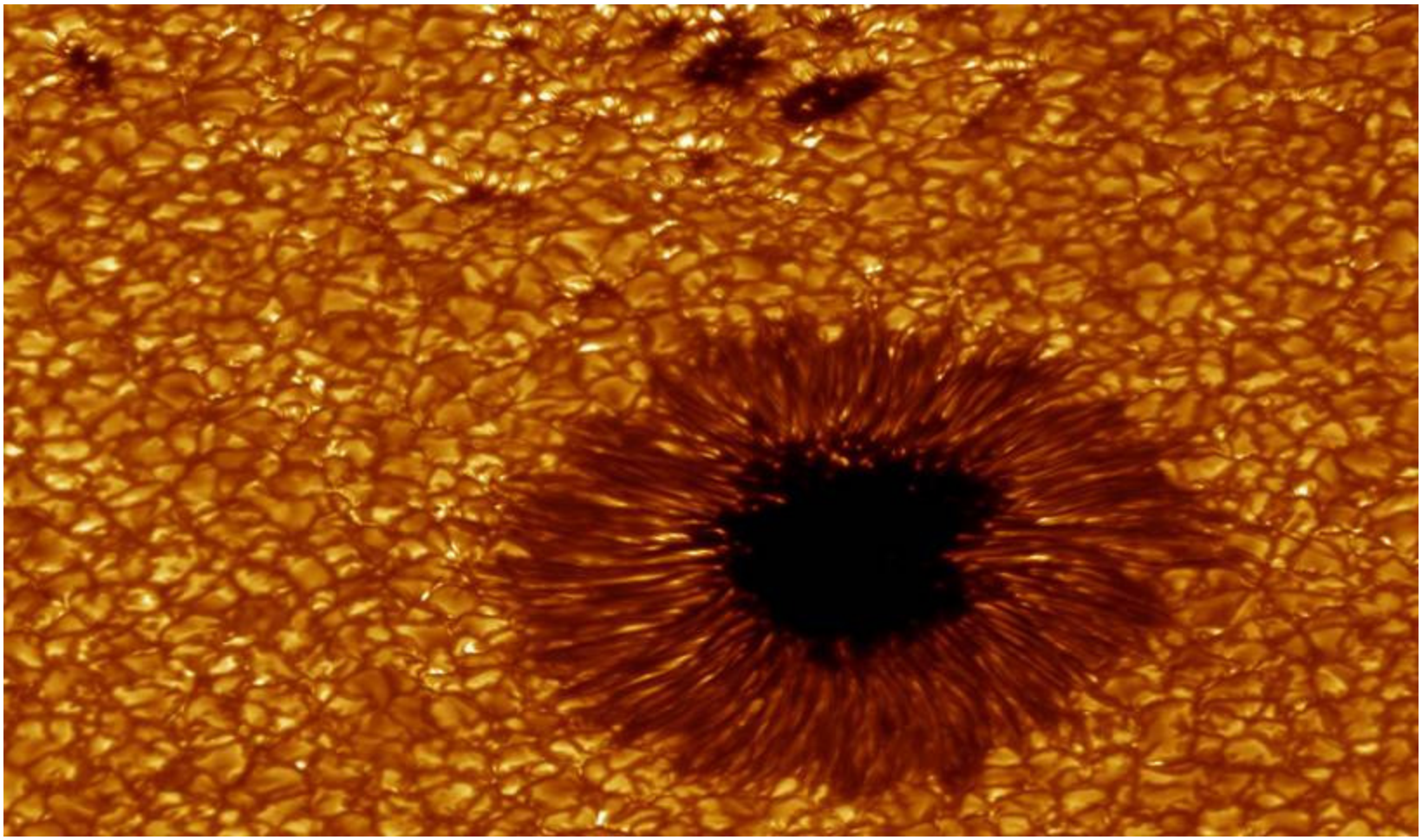


http://www.nasa.gov/multimedia/videogallery/index.html?collection_id=15348&media_id=159067451

כתמי השמש

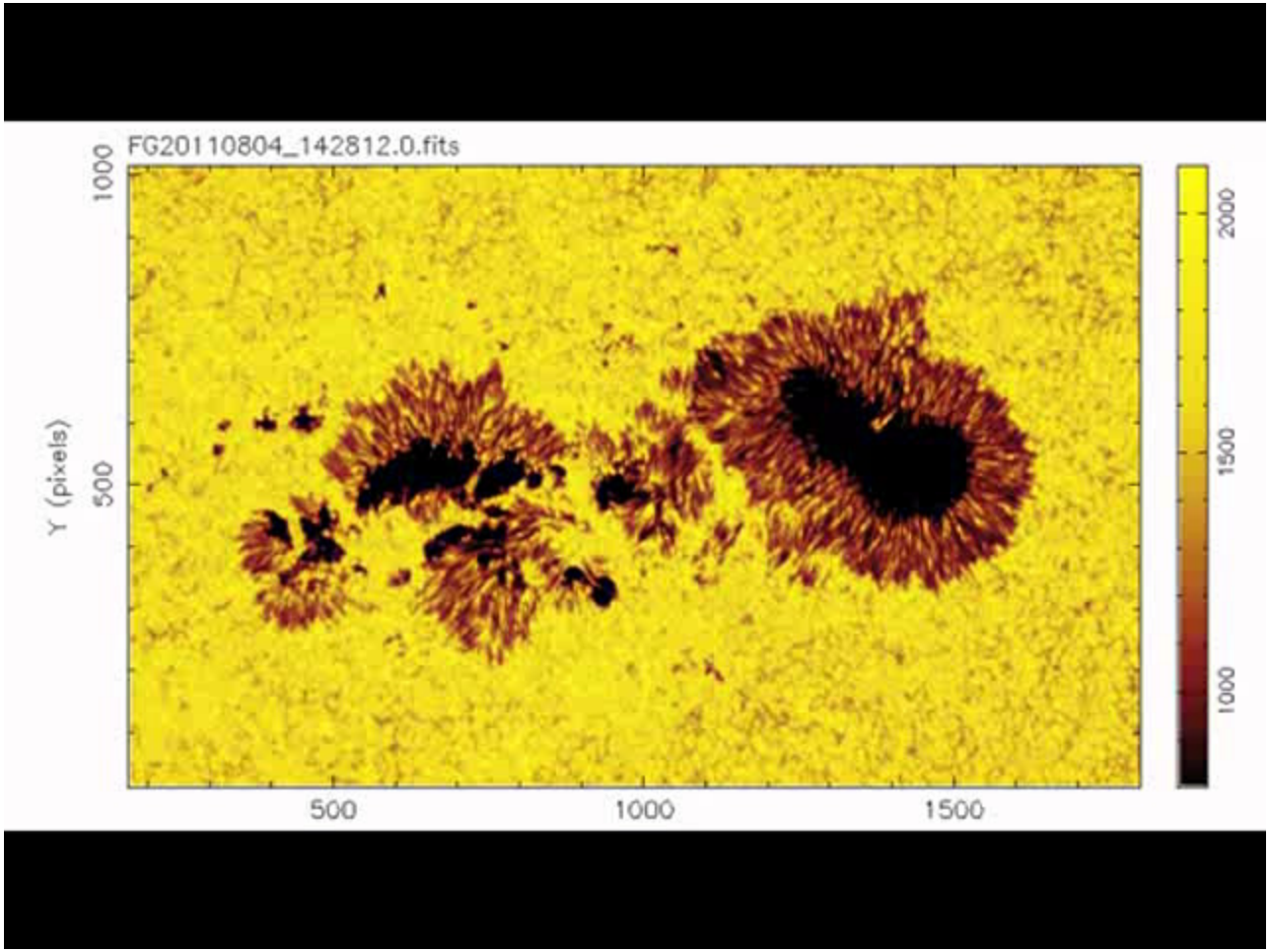
- כתמי השמש הם אזורים של הפרעות מגנטיות על פני השמש (פוטוספירה).
- עוצמת השדה המגנטי שלהם נעה בין 200 ל-300 גאוס. צבעם כהה כי הם קרים יותר בכ-1500 עד 2800 מעלות קלווין מהסביבה ונראים כהים יותר ביחס לסביבה החמה יותר.
- כתמי השמש נוצרים כאשר פלסמה המוסעת משכבות נמוכות יותר מואטת בגלל התנגדות והאטה של הפלסמה על ידי השדות המגנטיים של השמש.
- כתמי השמש מאופיינים במבנה כהה הקרוי צל (אומברה) המוקף באזור בהיר יותר
- הקרוי – חצי-צל (פנאומברה)
- לכתמי שמש מחזור חיים – הם מופיעים על פני השמש, עשויים לגדול או להתחלק ובסופו של דבר הם נעלמים. בדרך כלל הם חיים בין כמה ימים לכמה שבועות.
- מחזור כתמי השמש – הפעילות המגנטית של השמש היא מחזורית. זמן המחזור הוא כ-11 שנה, כאשר לקראת השיא כתמי השמש מתפתחים מכיוון קווי רוחב שבין 20 ל-35 מעלות מקו המשווה ולאחר מכן מתפשטים לכיוון קו המשווה, בדרך כלל עד קווי רוחב המצויים 5 מעלות מקו המשווה

כתם שמש וגרנולות



Swedish 1-m Solar Telescope (SST) operated by the Royal Swedish Academy of Sciences, Göran Scharmer and Kai Langhans, ISP

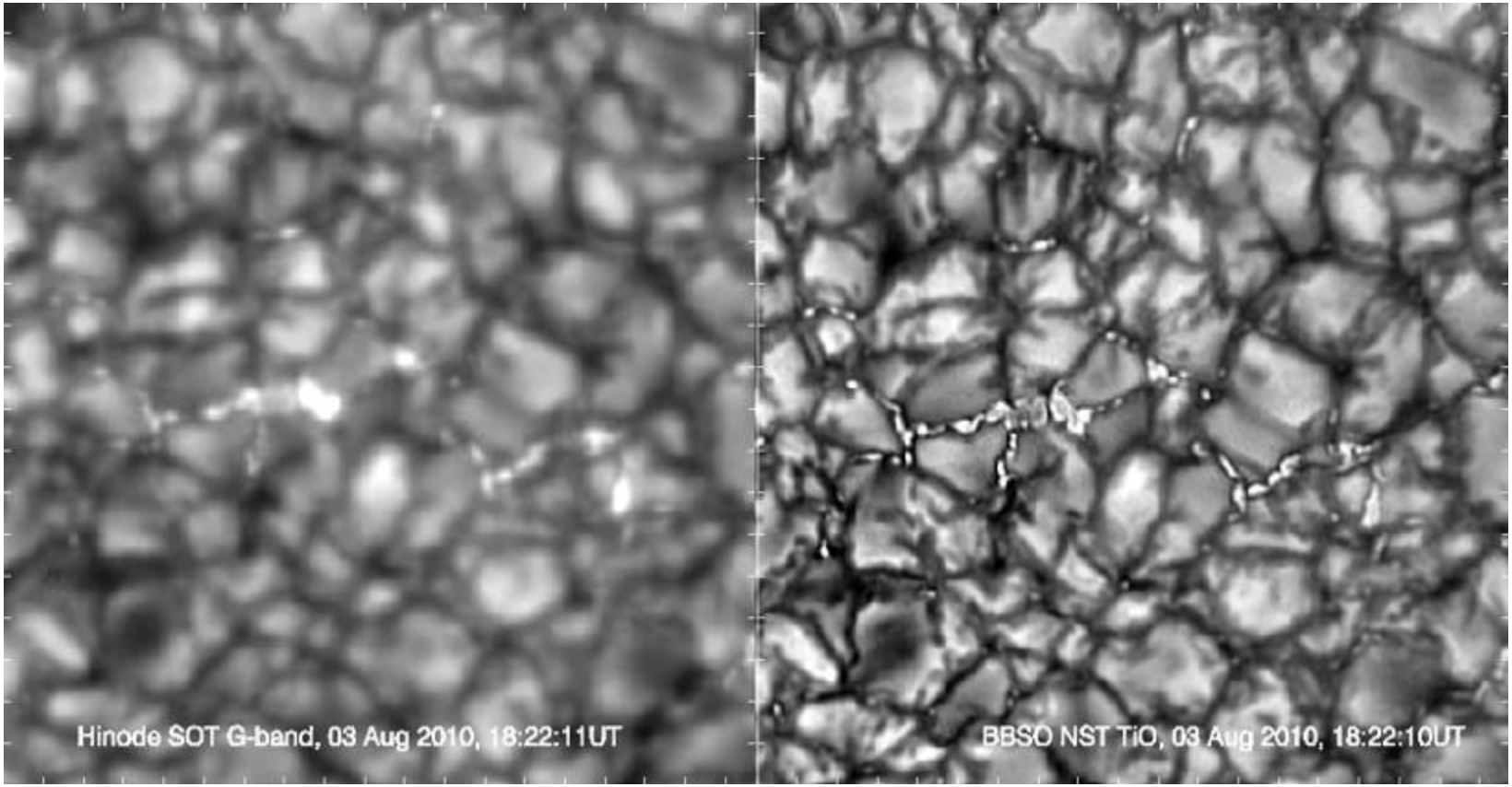
כתמי שמש הינודה



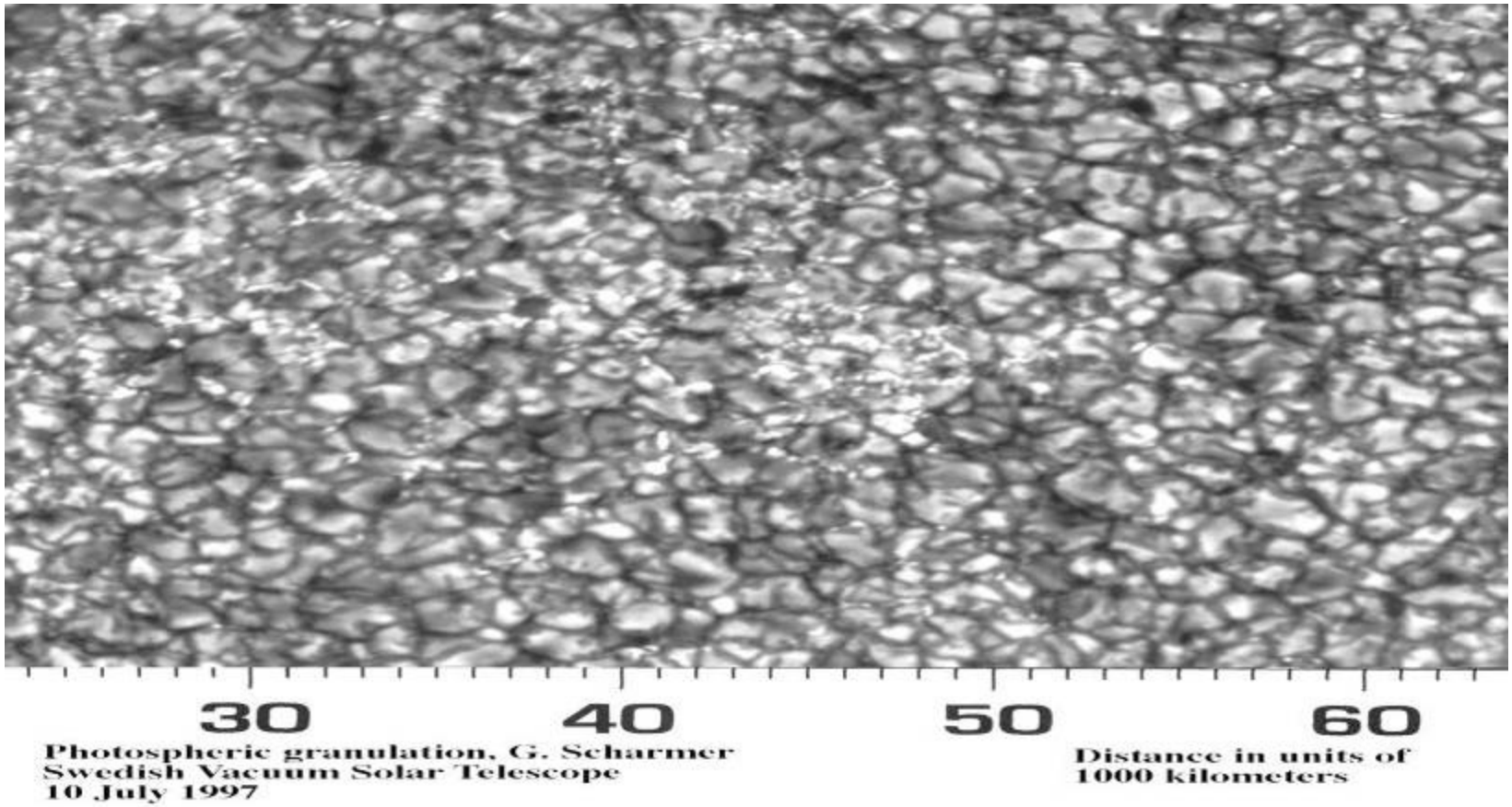
http://www.nasa.gov/multimedia/videogallery/index.html?collection_id=15348&media_id=159067451

גרנולות Hinode

- אזורים לבנים בין הגרנולות – פקולות.
- צילום – Hinode, NASA



גרנולות



.(the Swedish Vacuum Solar Telescope

http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/granules.jpg

התפרצויות ופעילות שמש

התפרצויות שמש הן שחרור אנרגיה הנגרמת כתוצאה מפעילות מגנטית על פני השמש. התפרצויות יכולות להתרחש בפוטוספירה, בכרומוספירה ובעטרה.

סרטון המראה את פעילות שמש במשך 8 ימים

- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=198

צמדי כתמי שמש

- כתמי השמש מופיעים בעיקר בצמדים. במקרה זה, כל כתם הוא קוטב מגנטי מנוגד לזה של רעהו

- הנוכחות של כתמי שמש בפלסמה והקוטביות המנוגדת של קטבי הכתמים, גורמת למעבר של חומר מקוטב אחד לשני.

- בגלל השדה המגנטי של פנה השמש עצמם, המעברים של החומר מקוטב אחד לקוטב שני של צמד בכתמים יהיה בצורה של לולאה המתרוממת מעל פני השטח שבסיסה בקטבים המגנטיים של הכתמים.

מבנה כתמי השמש

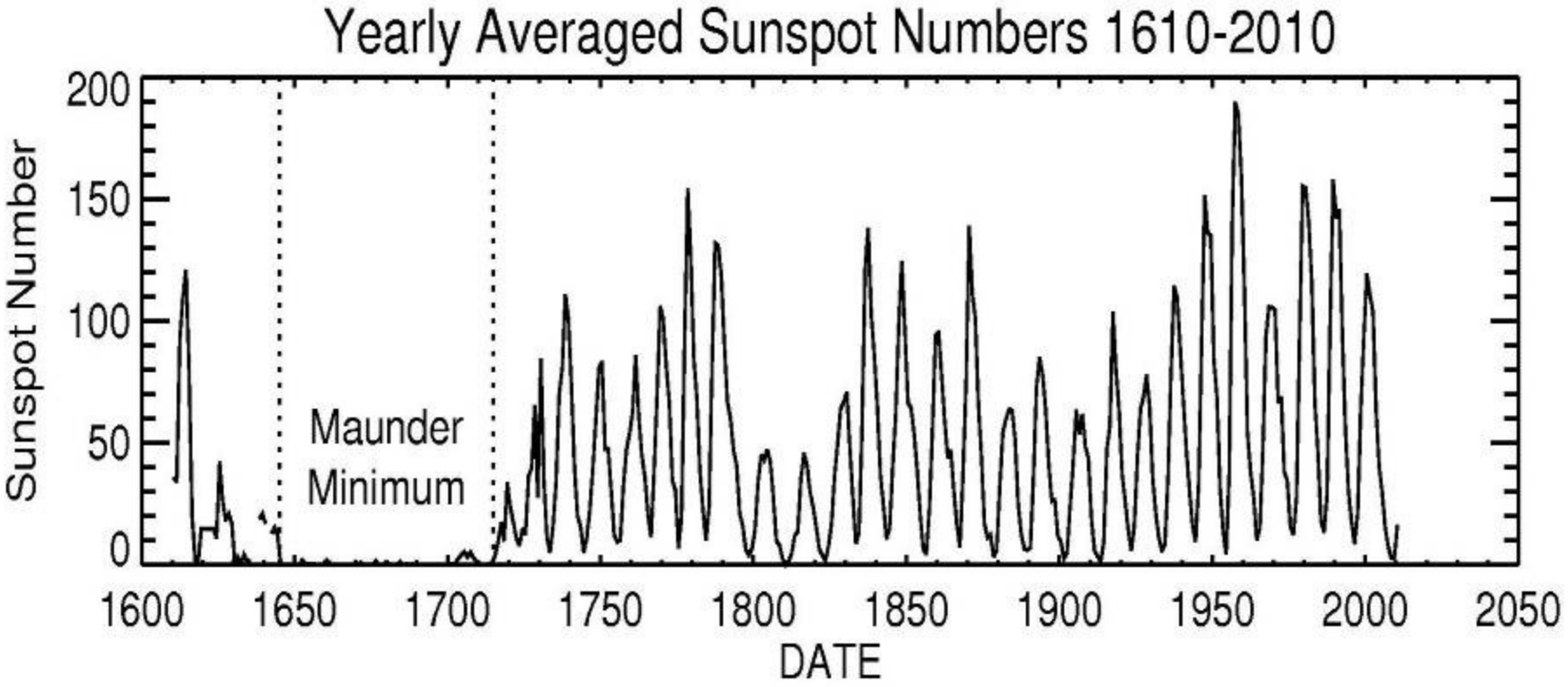
- כתמי השמש מגיעים בדרך כלל בזוגות, כאשר בני הזוג הם בני קוטביות מנוגדת
- כתמי השמש גם נוטים להופיע בקבוצות. גודלו של כתם שמש נע בין 15 ק"מ עד לכ-150000 ק"מ
- האזור הפנימי הכהה הקרוי אומברה, הוא אזור קר ובו קווי שדה המגנטי ניצבים לזה של פני השמש
- האזור החיצוני הבהיר יותר (פנאומברה) הוא בעל פעילות פחותה וקווי השדה המגנטי שלו נטיים פחות עד מקבילים לפני השמש

מחזוריות כתמי השמש

רמת הפעילות של השמש בעת השיא המחזורי אינה אחידה. יש תקופות בהן גם במקסימה של מחזור השמש היתה שקטה והיו מקרים בהם אף כמעט ולא יצפו כתמי שמש. התקופה המפורסמת ביותר היתה במאה ה-17 מה שקרוי – המינימום של מאונדר. גם השיא האחרון שהיה אמור להיות בשנים 2012-2013 מאופיין בפעילות דלה מאוד

מחזוריות כתמי שמש והשפעה על האקלים

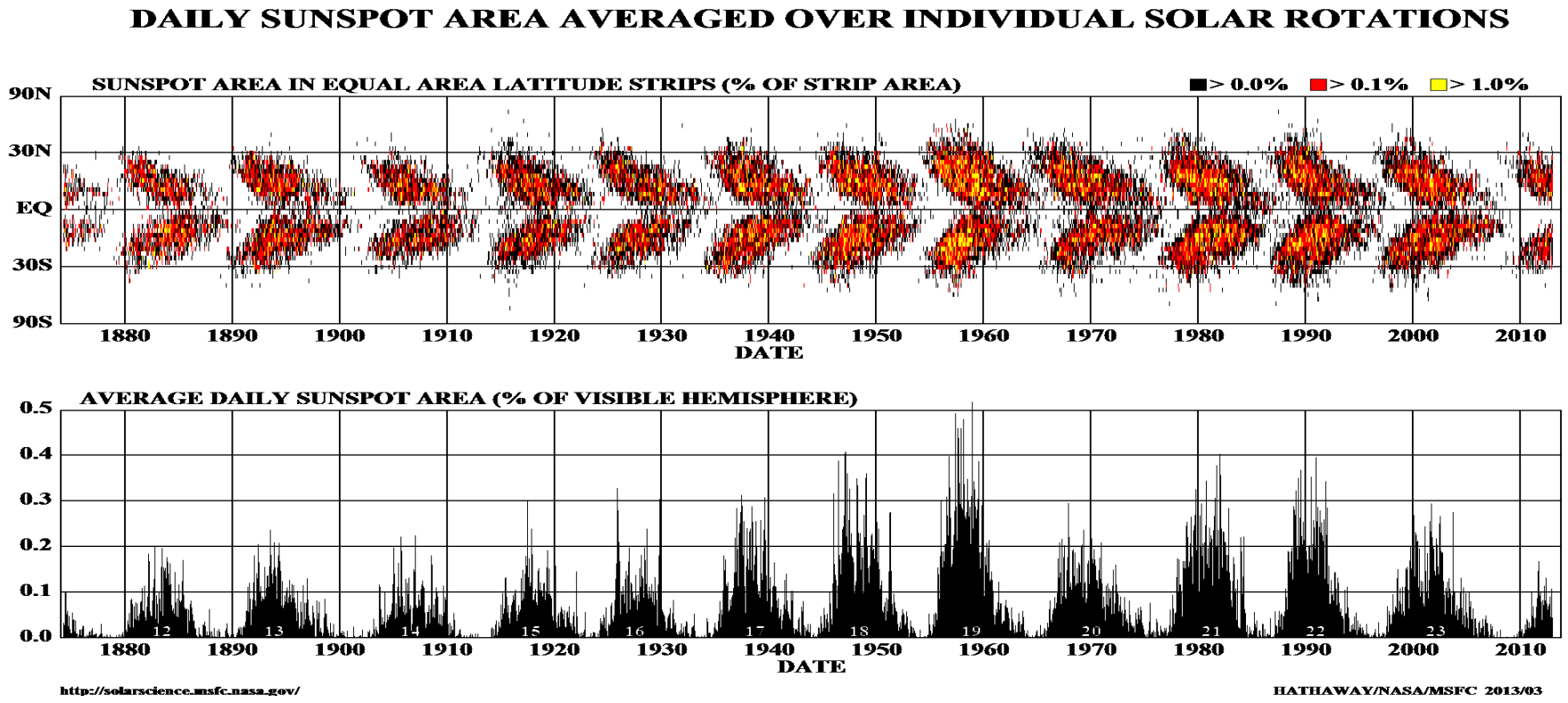
- אין מודל המראה קשר ברור בין מחזוריות כתמי השמש והאקלים, אולם בעת השפל הגדול (שפל מאונדר) במאה ה-17, לווה בתקופת חורף ארוכה מאוד שכונתה – תקופת הקרח הקטנה. בגרף אפשר לראות את מספר כתמי השמש במאות שנים האחרונות. בולט המינימום של מאונדר



- http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_yearly.jpg

מחזוריות כתמי שמש – צורת הפרפר

- מחזור כתמי שמש חל בממוצע אחת -11 שנים. כתמי השמש נוצרים בתחילה בקווי רוחב 30 צפון ו-30 דרום ומתפשטים עד לקווי רוחב המרוחקים כ-5 מעלות מקו המשווה של השמש, כאשר ככל שמספרם יורד בהדרגה לאחר השיא, הם מצויים קרוב יותר ויותר למרכז השמש. התפלגות זו של כתמי השמש ביחס למרחק מהמשווה קרויה – הפרפר, כיוון שהסימטריה של פיזור הכתמים ביחס לקווי הרוחב ביחס לקו המשווה מזכירה כנפי פרפר



- http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml

הסיבות למחזוריות פעילות השמש

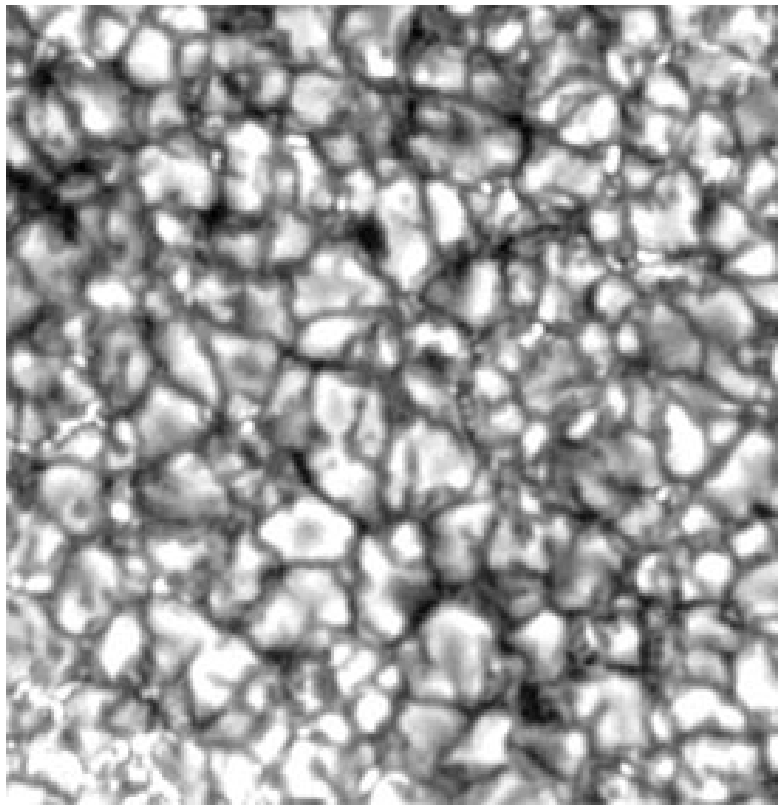
- מניתוח התצפיות שעשו לווינים החוקרים את השמש ובראשם הלווין SOHO נראה כי הסיבה למחזוריות פני השמש הוא הפרעות מגנטיות הנגרמות כתוצאה מסיבוב דיפרניציאלי של השמש הן בקווי הרוחב השונים נעה מהר יותר במשווה מאשר בקטבים) וכן סיבוב דיפרנציאלי מפני השמש פנימה.

- הבדלי מהירות התנועה של הפלסמה בשמש יוצרת עיוותים מגנטיים. עיוותים אלה גדלים בפרקי הזמן האופייניים למחזוריות השמש והתפרקותם היא המנוע לפעילות המגנטית המוגברת של השמש בשיא מחזור הכתמים.

- הסיבות למחזוריות השמש עדיין לא ברורות לגמרי ובכללן הסיבות לכך שלעתים השמש מאופיינת בפעילות מגנטית נמוכה או שפעילות זו אף נעדרת בעת השיא, כמו בתקופה של מאונדר

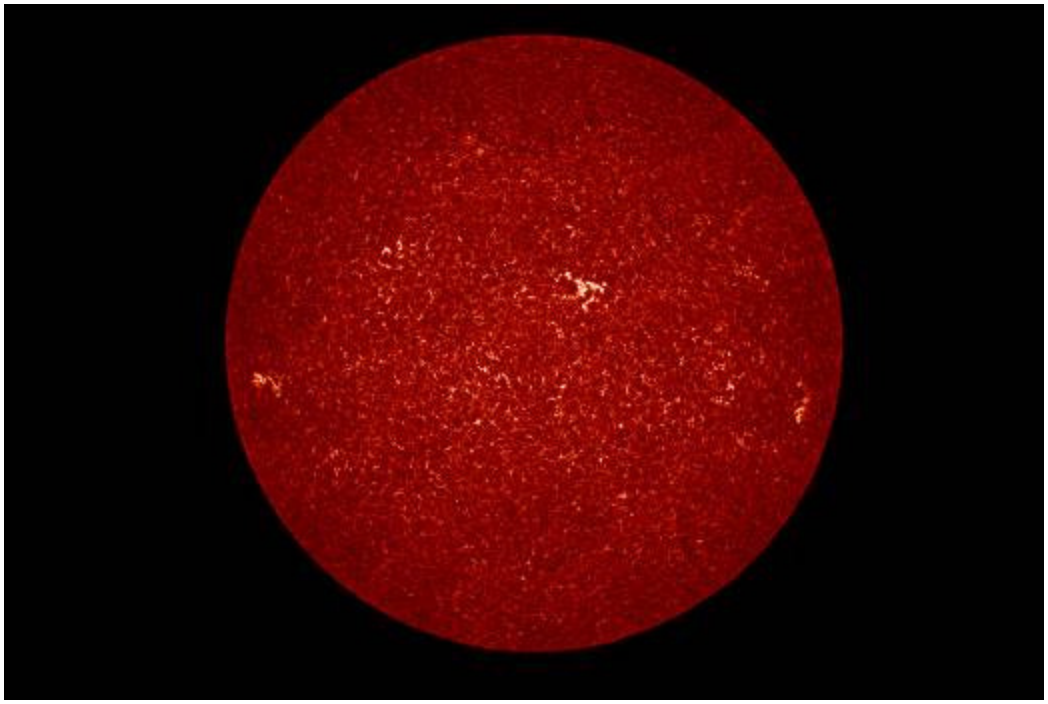
granulae - גרנולות

פני השמש אינן חלקות והפוטוספירה נראית כאוסף של תאים רבים הנוגעים זה בזה. אלו הן הגרנולות שלמעשה הם הקצה העליון של זרמי ההסעה המגיעים לפוטוספירה משכבות נמוכות יותר. לעתים, גרנולה עשויה לגרום להבזק והתפרצות החומר מתוכה. גודל אופייני של גרנולה הוא 400 עד 1000 ק"מ והן אורכות בין 3 ל-10 דקות. החומר בגרנולות נע במהירות של חצי ק"מ לשנייה ומגיע לגובה של כמה מאות ק"מ. (NASA/ESA/ SOHO)



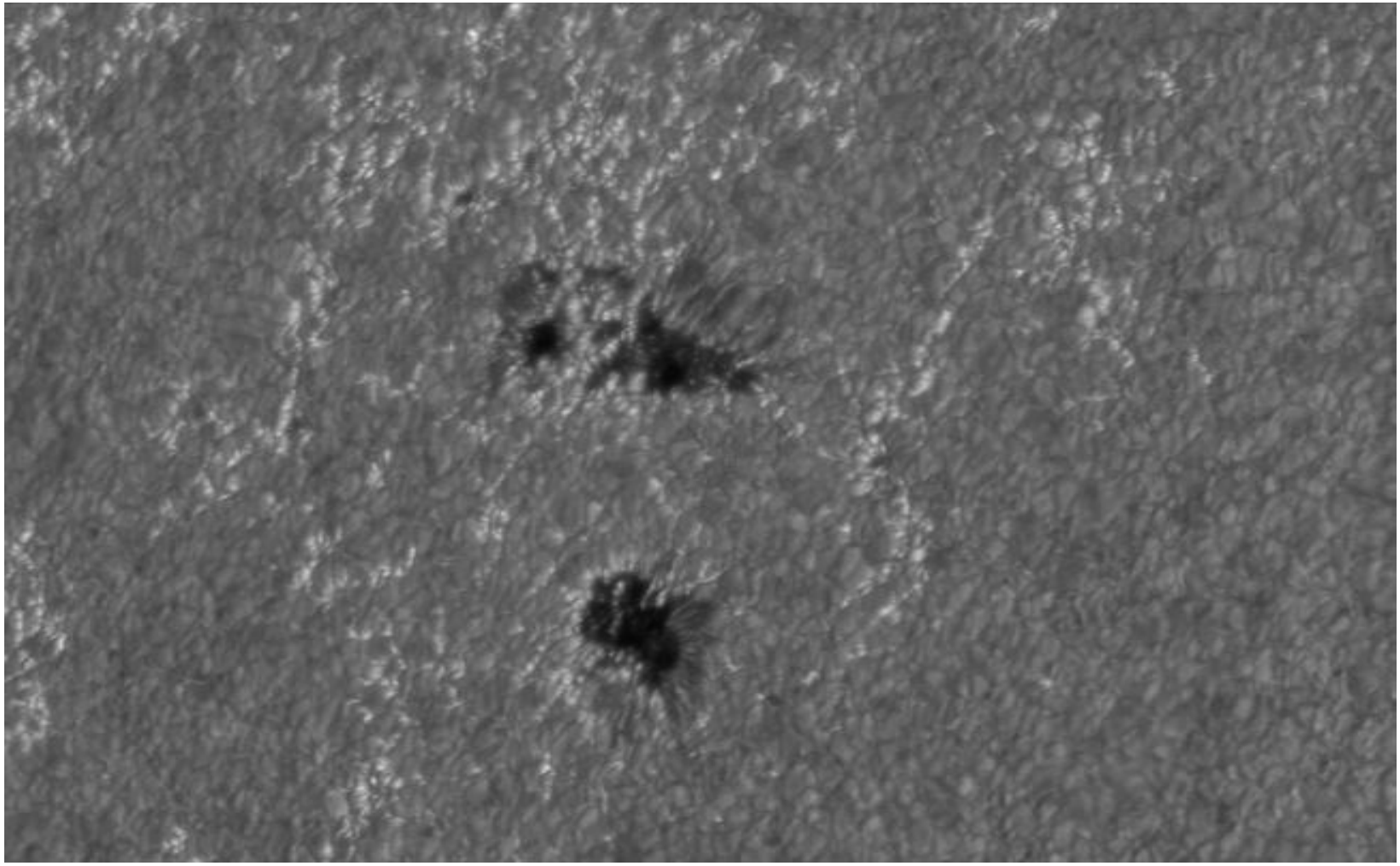
Facula - פקולות

אזורים בהירים מוארכים על פני השמש הנמשכים בין הגרנולות. הפקולות אינן חייבות להופיע סמוך לכתמי שמש אלא גם שעיבוי קווי השדה המגנטי על פני השמש מאפשרים את יצירתם. החומר בפקולות נע במהירות לאורך קווי השדה המגנטי ולכן הוא חם יותר מהסביבה ומסיבה זו הפקולות בהירות יותר. אורכן עשוי להגיע לעשרות אלפי ק"מ ויותר. אפשר לצפות בהן גם מבעד למסנן שמש רגיל, בעיקר כאשר הן סמוכות לשולי השמש, אז הן בולטות יותר בשל אפקט האפלת השולים של השמש. משך החיים האופייני של הפקולות הוא בין דקות בודדות לשעות.



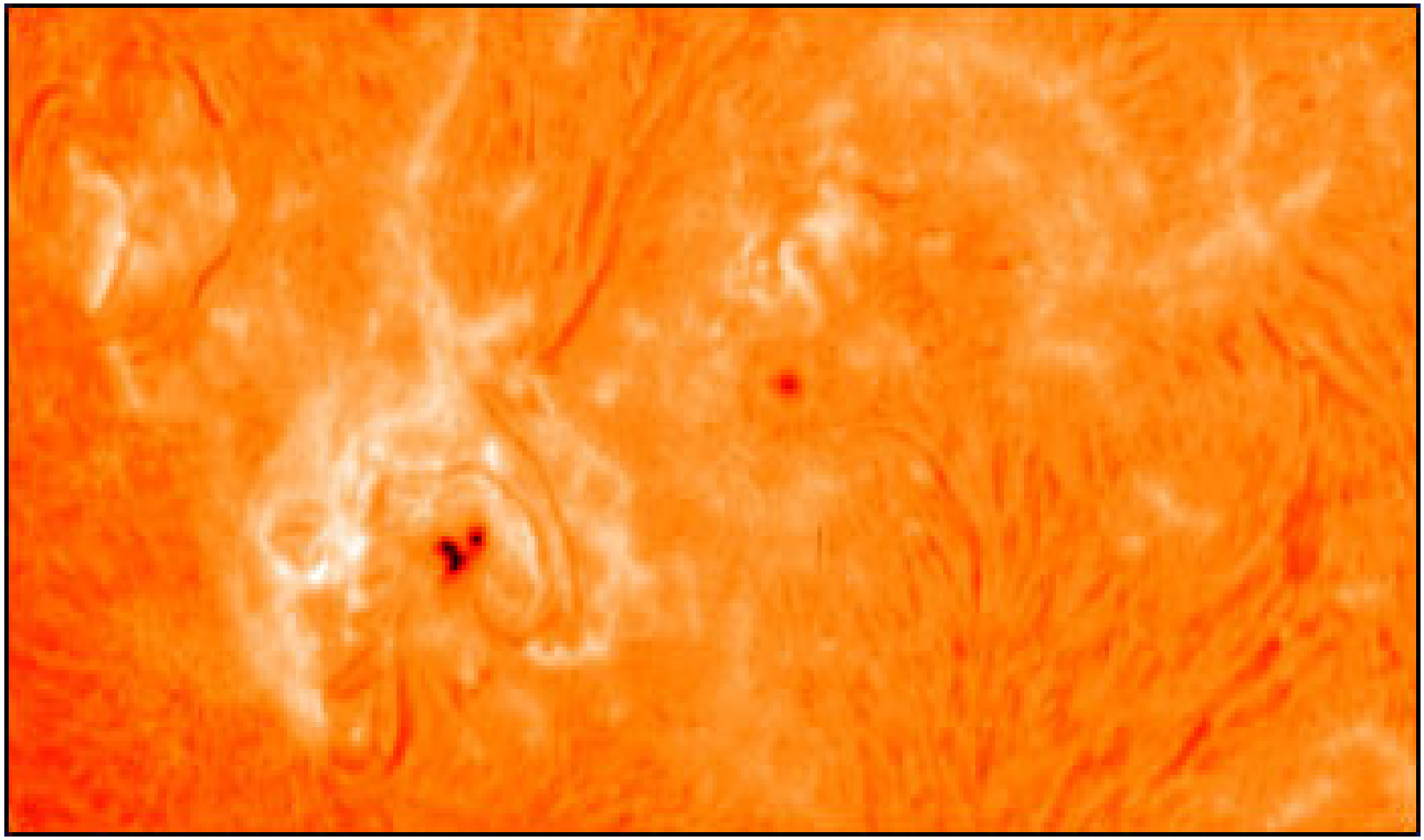
NASA, TRACE

פקולות



- http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/faculae.jpg

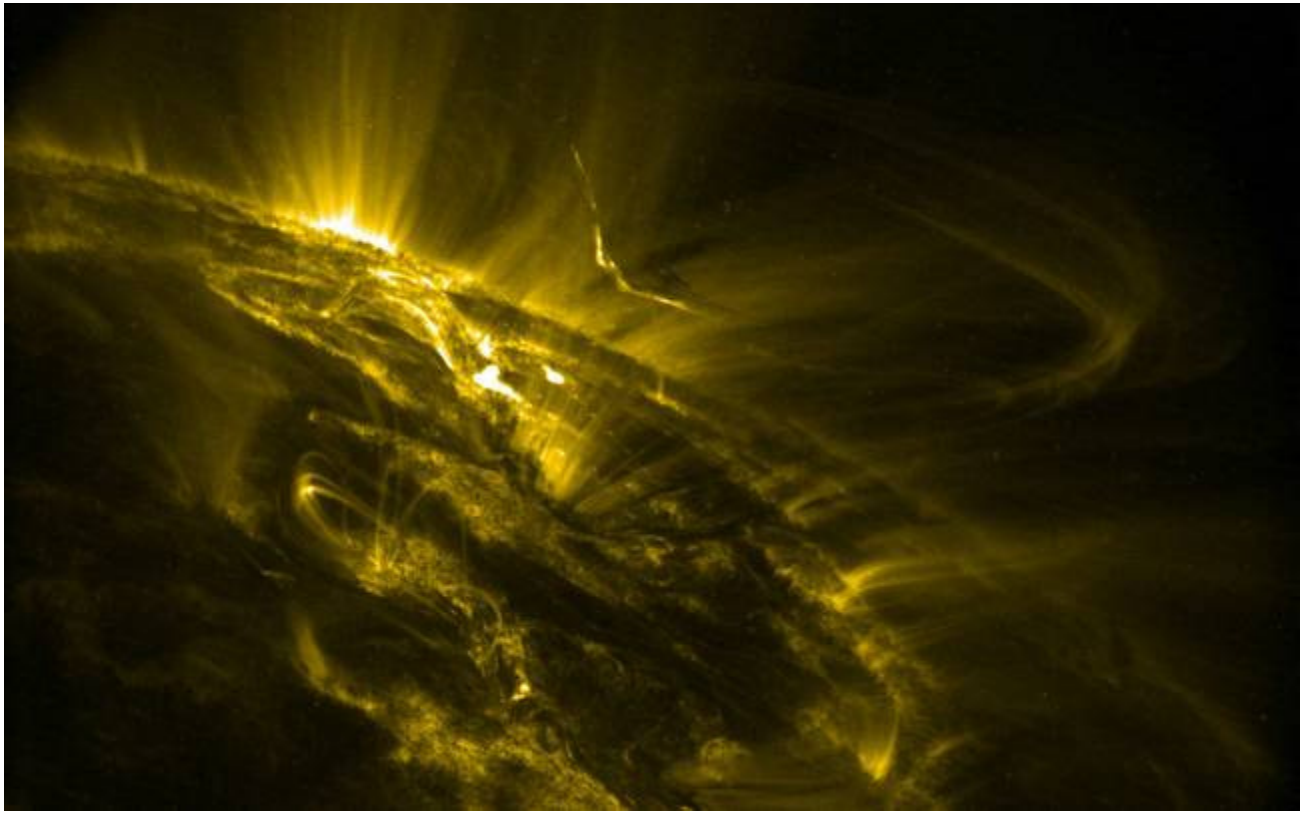
פקולות



http://earthobservatory.nasa.gov/Features/SORCE/Images/faculae_detail.jpg

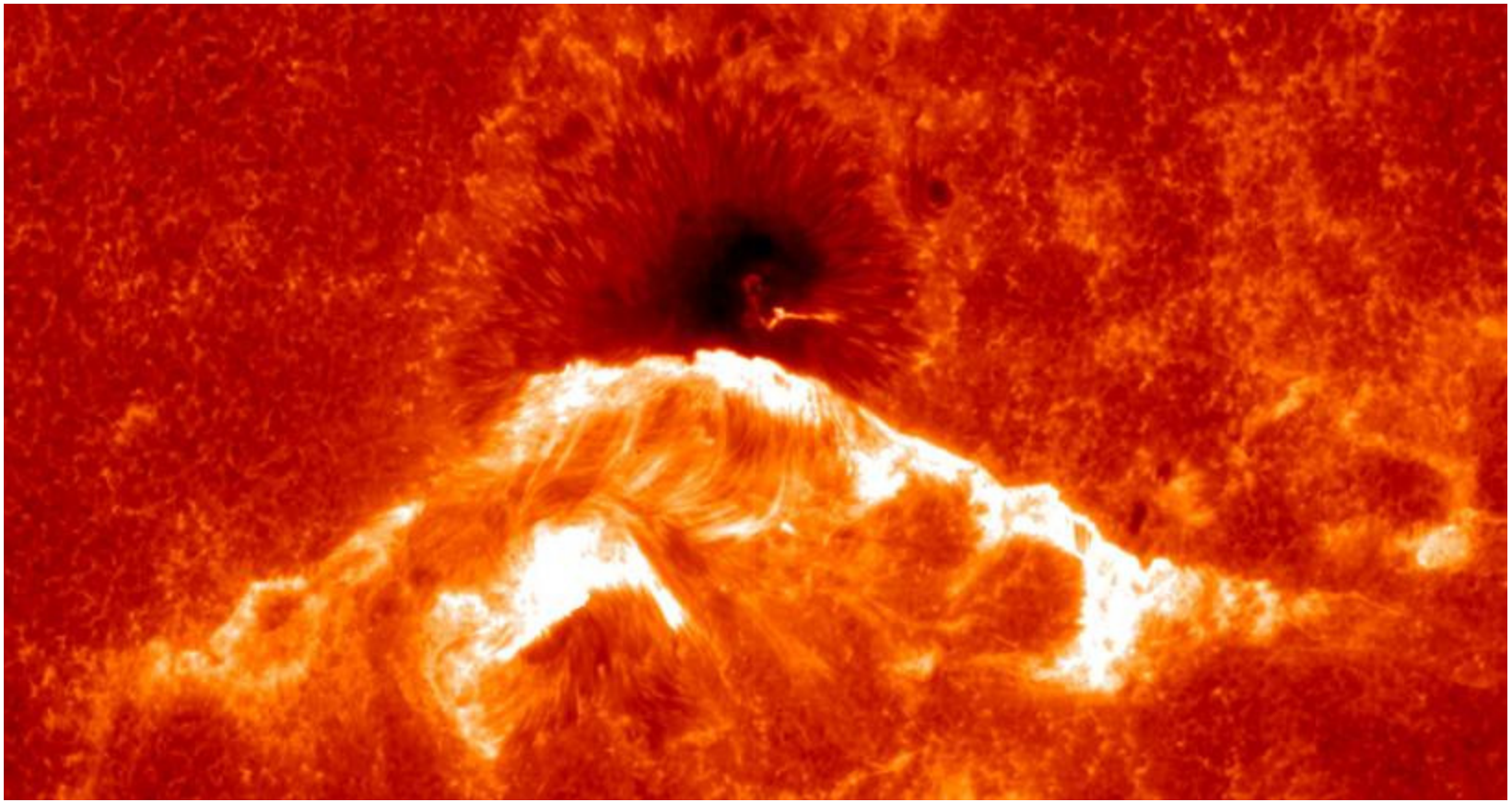
Flares - הבזקים

הבזקים בהירים על פני השמש, שיכולים להופיע גם בעטרה. הבזקים אלה הם חומר אנרגטי שנזרק מפני השמש וקשור בעיקר לפעילות כתמי השמש. החומר הנזרק בעת ההבזק יוצר את הלשוניות (Filaments) המגיעות לגובה רב מגיע לטמפרטורה של מיליוני מעלות והוא מגיע אל כדור הארץ בשטף גדול היוצר את אורות הזוהר הצפוני והדרומי. אורך חיים של התפרצויות כאלה מגיע לכשעתיים. צילום: NASA /TRACE

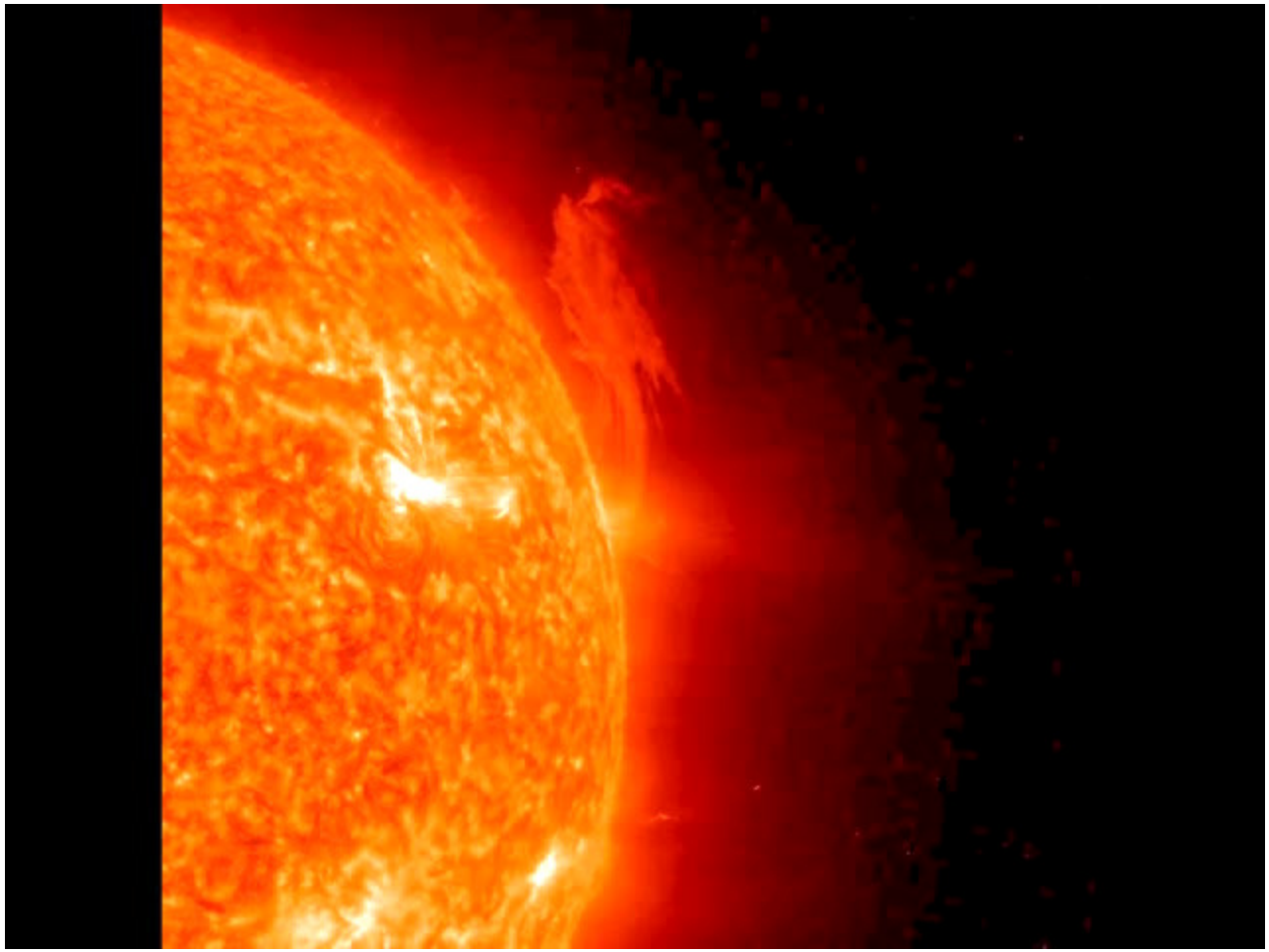


Flare - התפרצות

התפרצות, Flare (NASA TRACE)



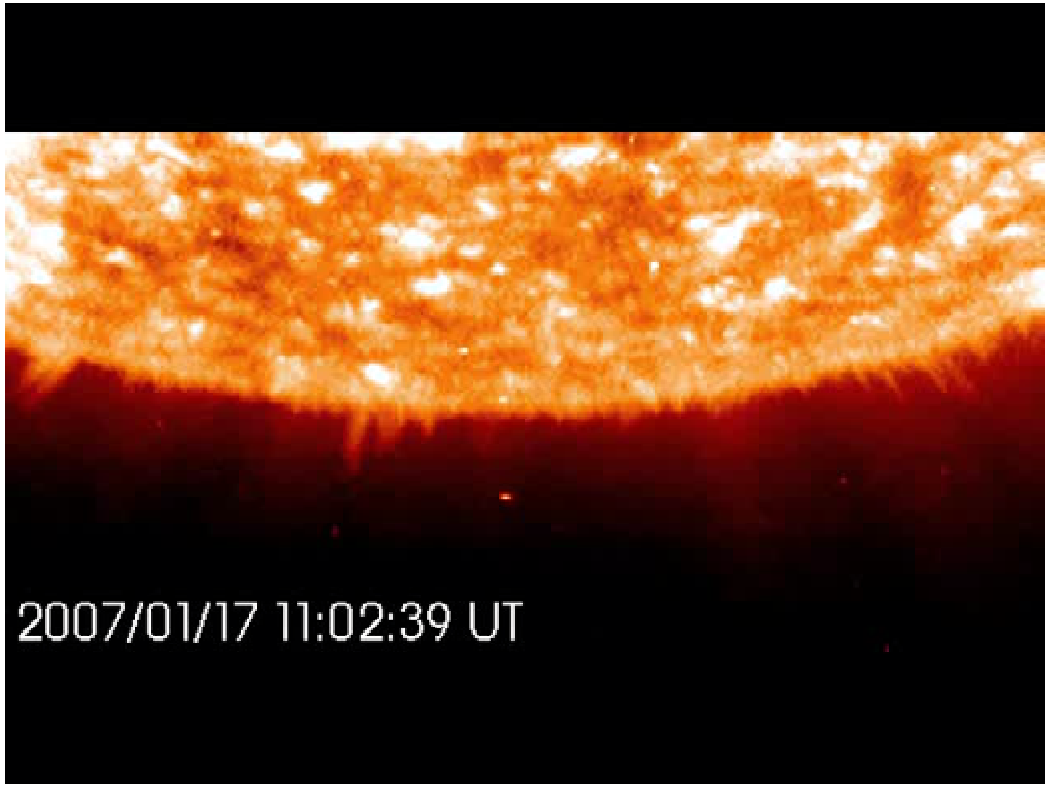
Flare - התפרצות שמש



- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=185

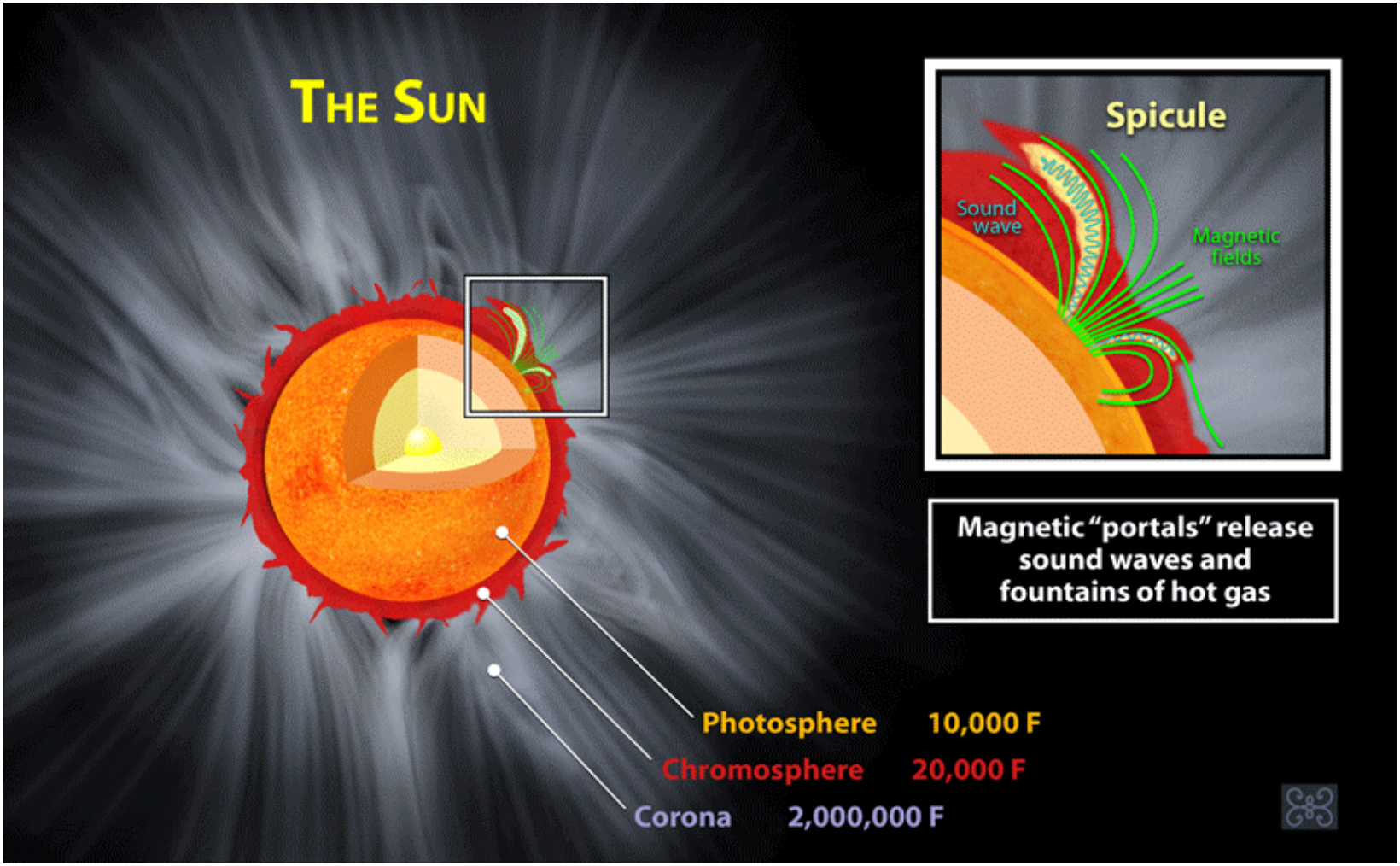
Spicules – חוטים

לשוניות של פלסמה המצויות בשכבה העליונה של הכרומוספירה, הן אורכות עד כמה דקות ומגיעות לגובה של 15 אלף ק"מ מעל פני השמש. מהירות החומר בלשוניות מגיעה לכ-20 ק"מ לשנייה.



http://www.nasa.gov/mov/177871main_eit_20070117_sless_x2.mov

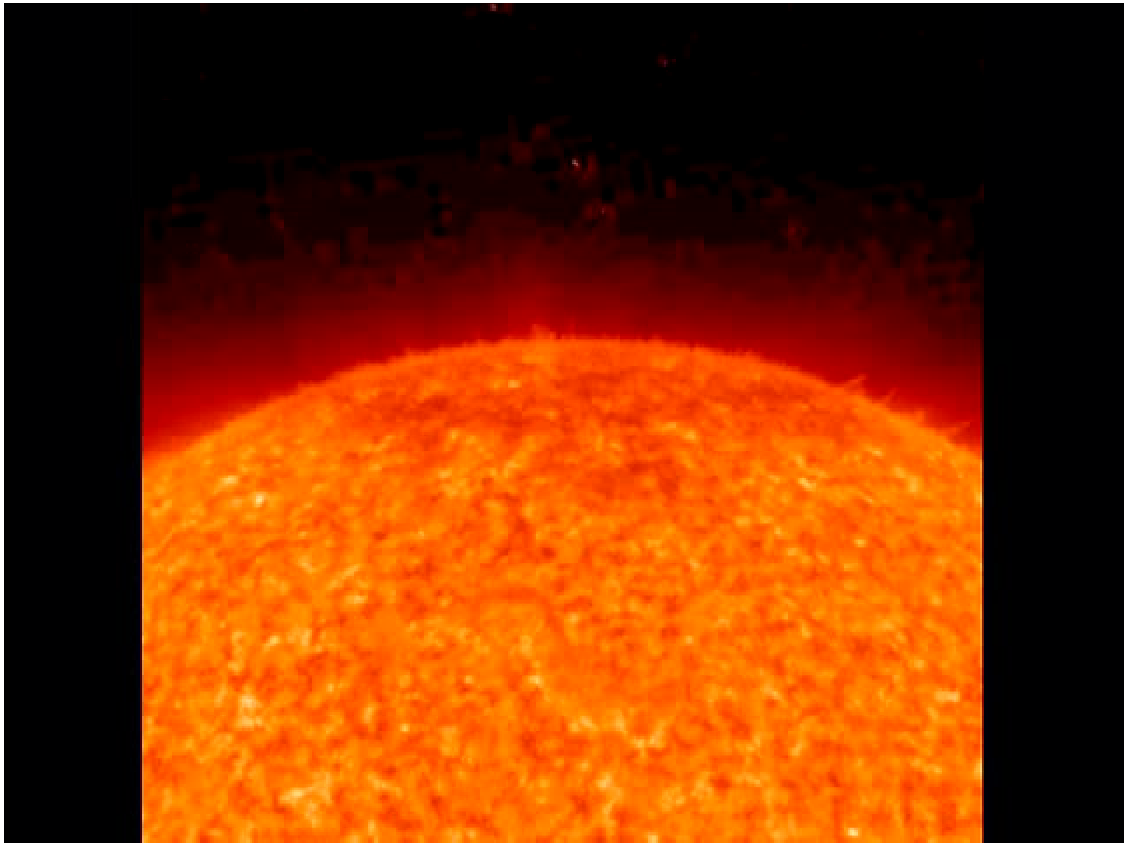
Spicules - חוטים



- http://www.nasa.gov/images/content/178224main_Spicule_800.gif

חוטים Spicules

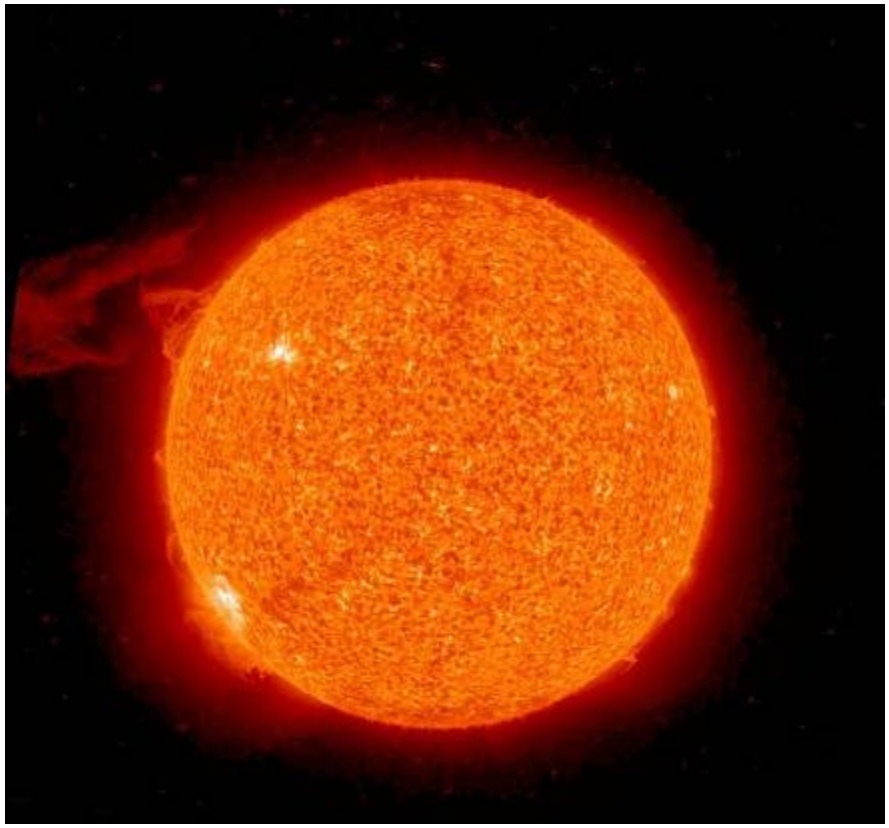
- הפלסמה בסרטון נזרקת לעטרה במהירות של 81 אלף ק"מ לשעה, עד לגובה של 5000 ק"מ. הפלסמה נעה במהירות על קולית כאשר גודל אופייני הוא כ-500 ק"מ. משך החיים שלהן הוא כמה דקות ובכל רגע נתון יש כמאה אלף תופעות כאלה על פני השמש. בצילום הנוכחי הן נראות באור הנפלט מאטומי הליום בטמפרטורה של 60 אלף מעלות קלווין.



- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=70

בליטות Prominence

אזורים של פלסמה קרה יחסית לסביבתה (כ- 10^4 מעלות קלווין), הבולטת אל תוך האזורים האנרגטיים יותר בעטרה. הבליטות מתאפשרות היכן שקווי השדה המגנטי מקבילים יחסית לפני השמש ולכן מונעים את נפילת החומר הקר חזרה לפני השמש. החומר בבליטות נע בין שני הקטבים של השדה המגנטי המקומי של פני השמש.

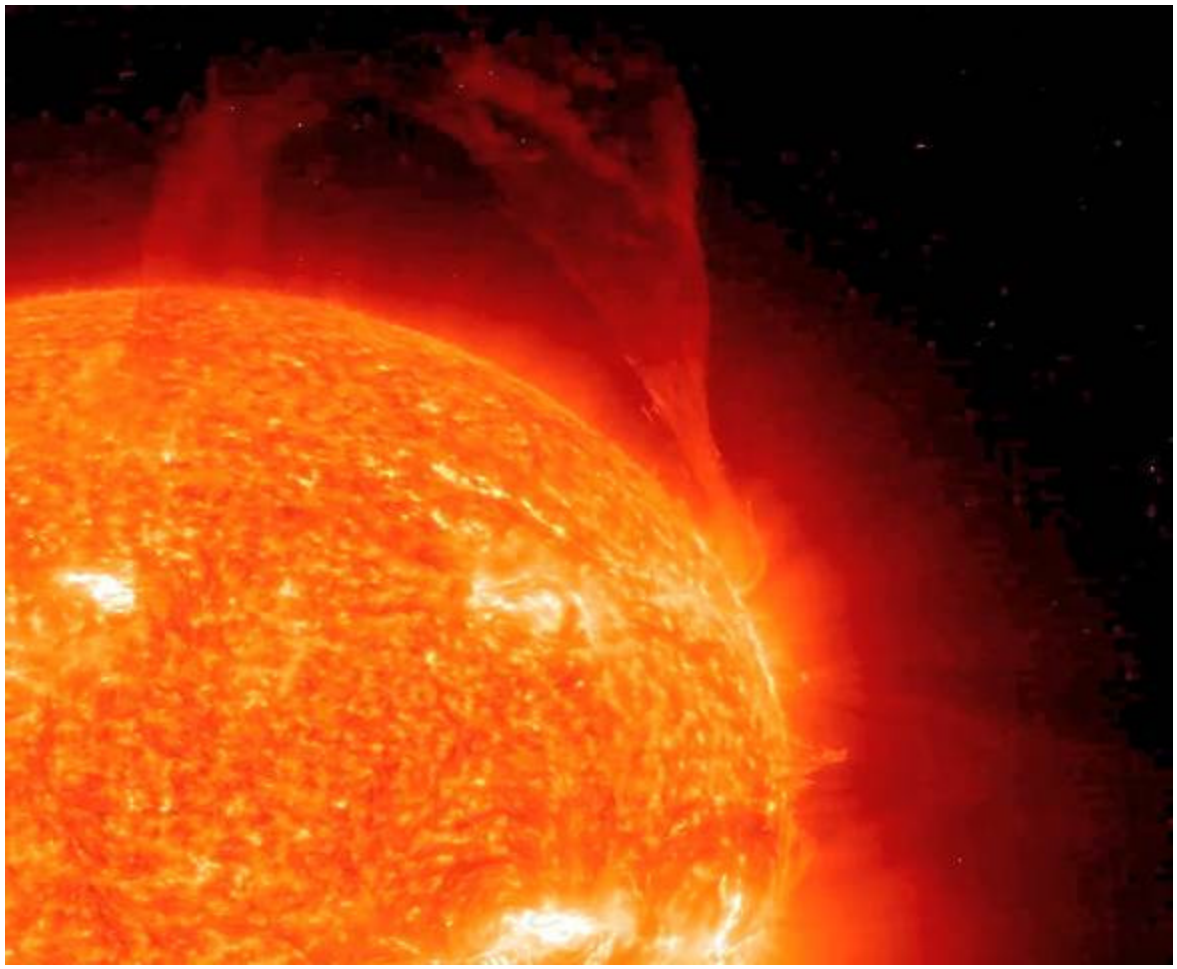


צילום: NASA/EAS/SOHO

בליטות

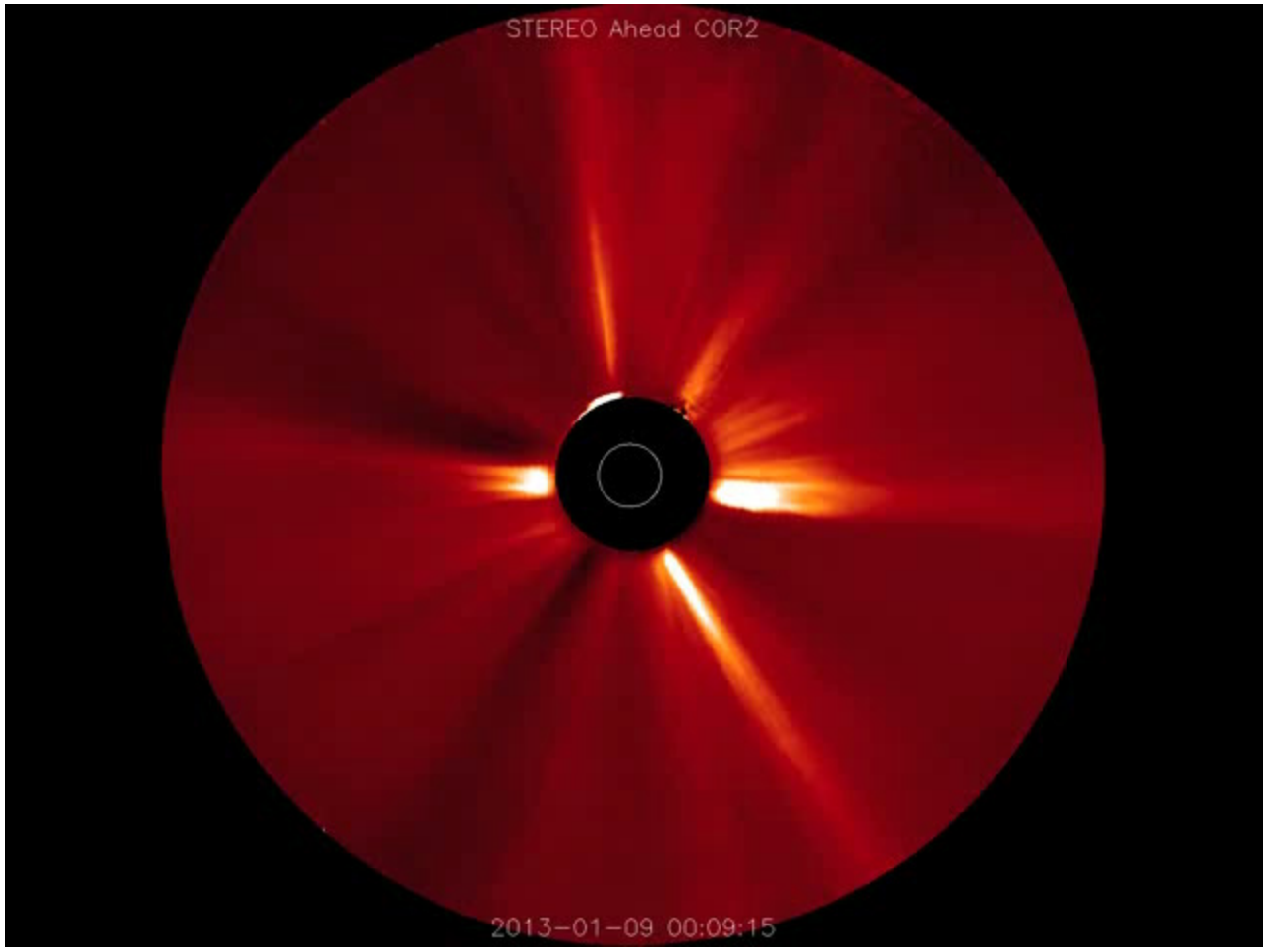
- צולם על ידי HAO בהר מאונה לואה, הוואי

Prominences - בליטות



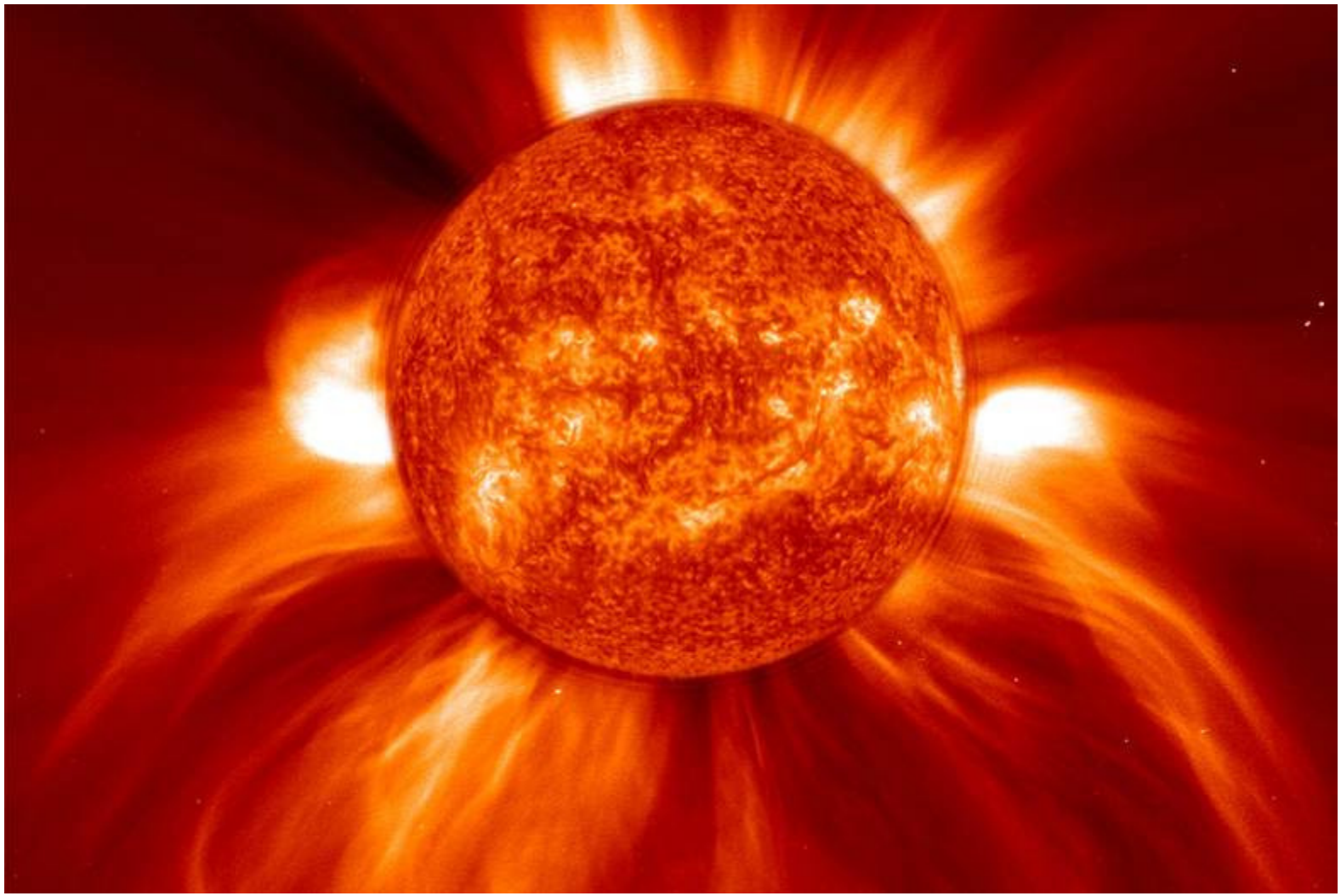
- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=187

התפרצות מסה בקורונה - CME



- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=208

CME – SOHO (NASA/ESA)

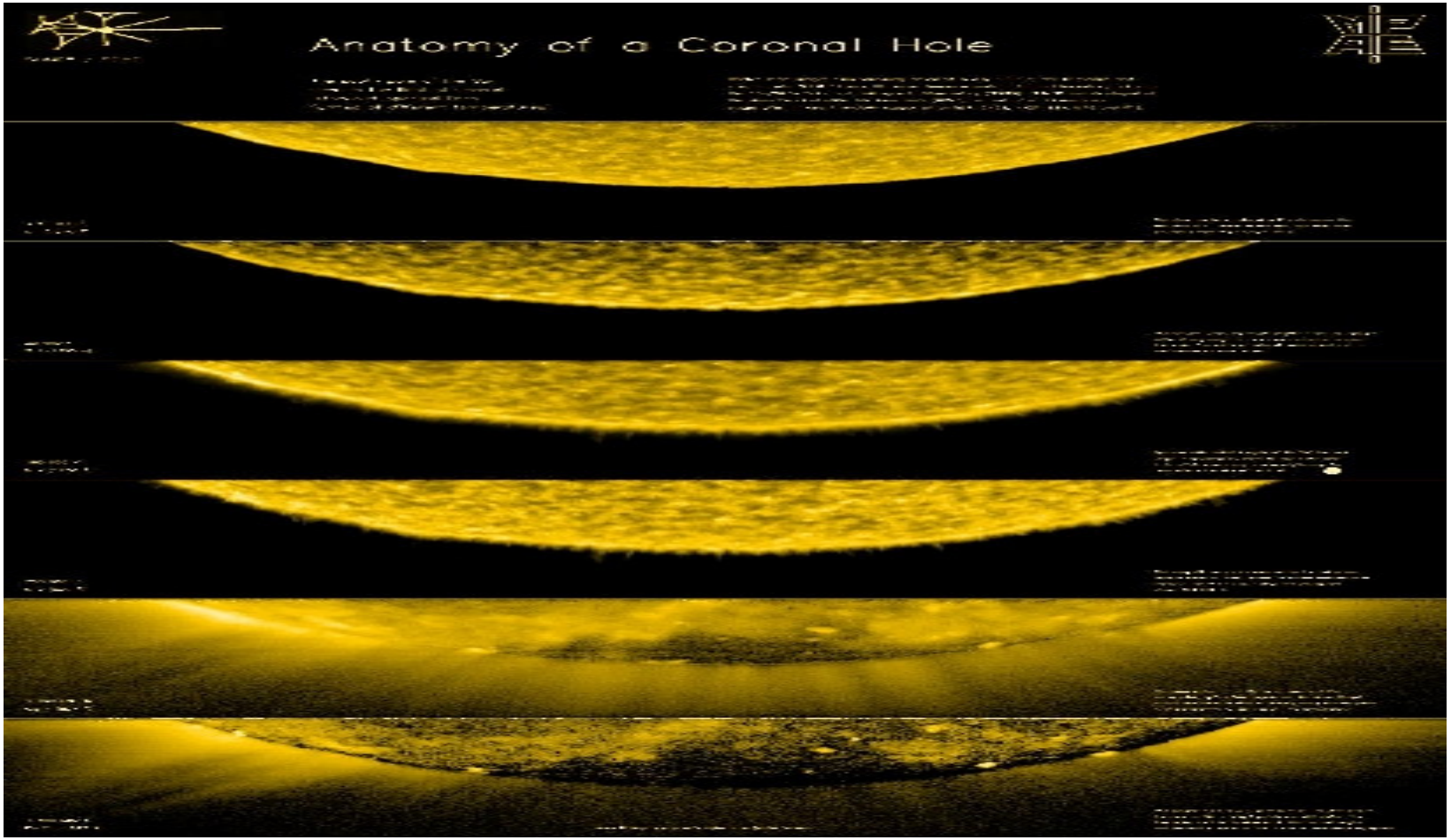


חורים בעטרה Coronal holes

אזורים המצויים בדרך כלל סמוך לקטבים המגנטיים של השמש, בהם קווי הכוח המגנטי של השמש יוצרים מעין משפך. חומר הנזרק מאזורים אלה נע בחופשיות יחסית מפני השמש החוצה במהירות גבוהה. קווי השדה המגנטי של חורי העטרה אינם סגורים והם פתוחים מפני השמש והלאה.

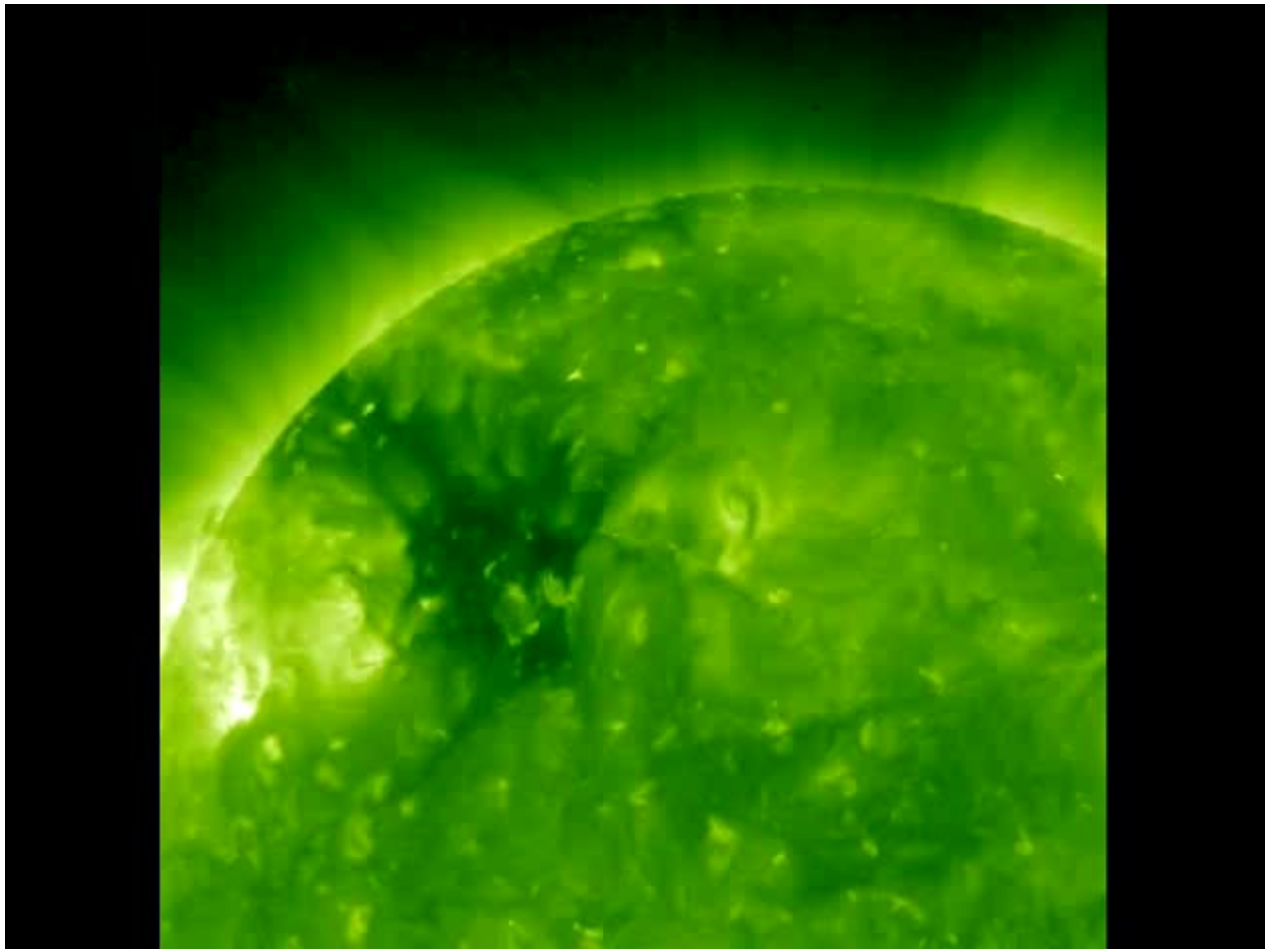
בעת שפעילות השמש גבוהה, יכולים להייווצר חורים בעטרה מעל אזורים בהם יש קוטב אחד, בו יש ריכוז של קווים של השדה המגנטי. באזורים בהם יש חורי עטרה צפיפות הפלסמה קטנה מהסביבה ולכן הם קרים יותר מאשר הסביבה ונראים ככתמים כהים בצילומים בעיקר בתחום ה-X.

חור בקורונה



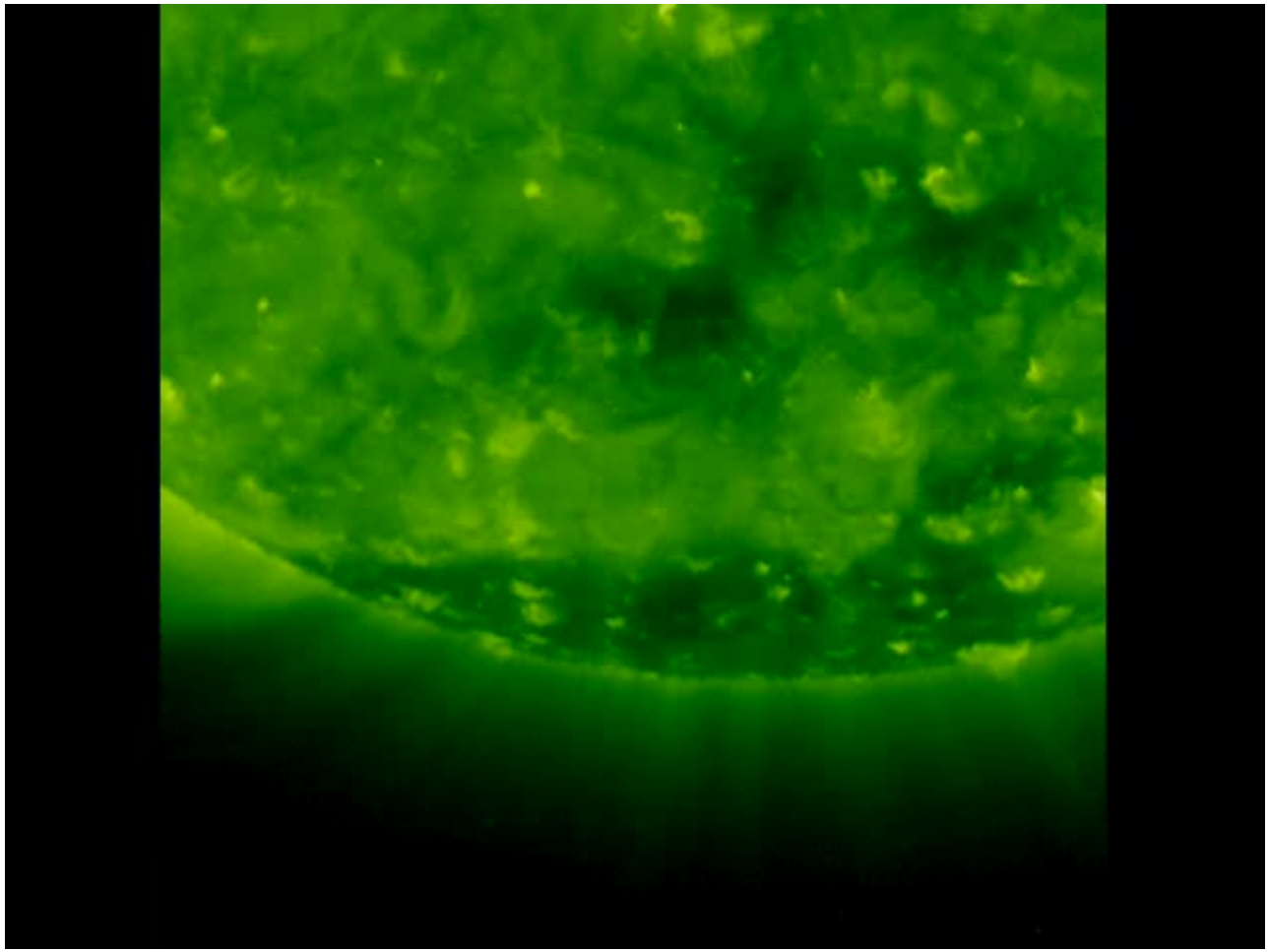
http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/SolarCorona/large/sum020_prev.jpg

חור בקורונה



- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=123

חורים בקורנה – קוטב דרומי

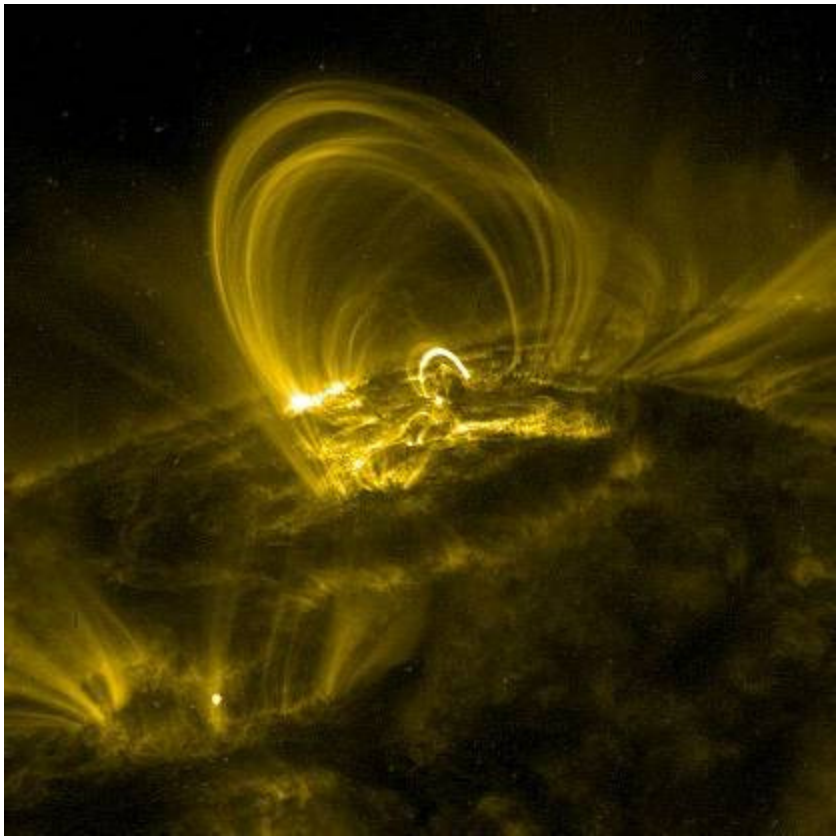


- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=69

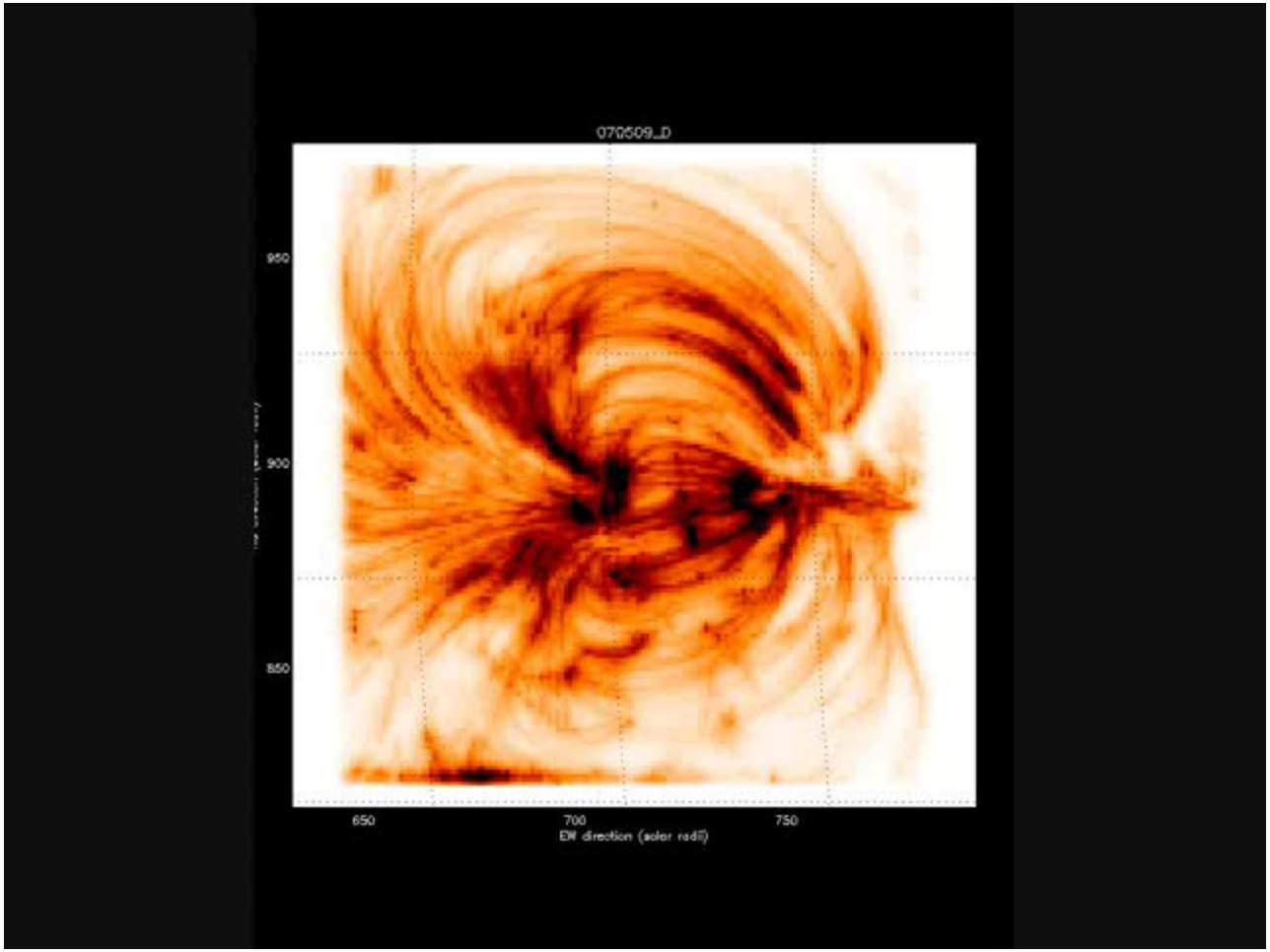
Coronal Loops

לולאות אלה הם פלסמה הנוצרת על ידי עיוותים והפרעות בשדה המגנטי של פני השמש. לעתים קרובות הלולאה נעה מקוטב אחד לקוטב שני של הפרעות מגנטיות, דוגמת כתמי שמש, המצויות בפוטוספירה. החלקיקים בלולאות הם אנרגטיים מאוד והטמפרטורה שלהם מגיעה לכמיליון מעלות קלווין. הגובה של לולאות הקורונה עשוי להגיע לכמה עשרות אלפי ק"מ והן לפיכך מרכיבות את החלק התחתון של העטרה (קורונה) ושכבת המעבר בין העטרה לכרומוספירה

NASA, Transition Region And Coronal Explorer

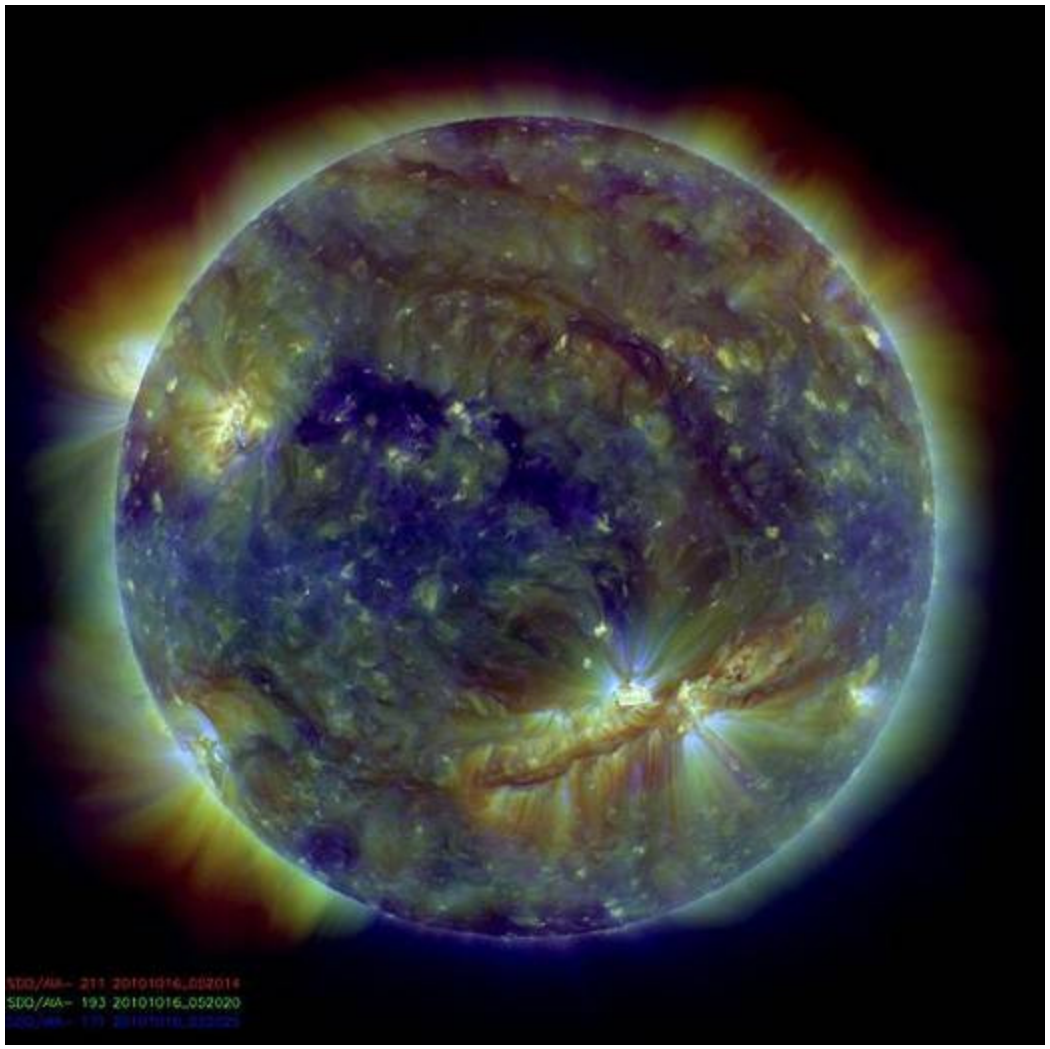


לולאות בקורונה - הדמייה



- http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=103

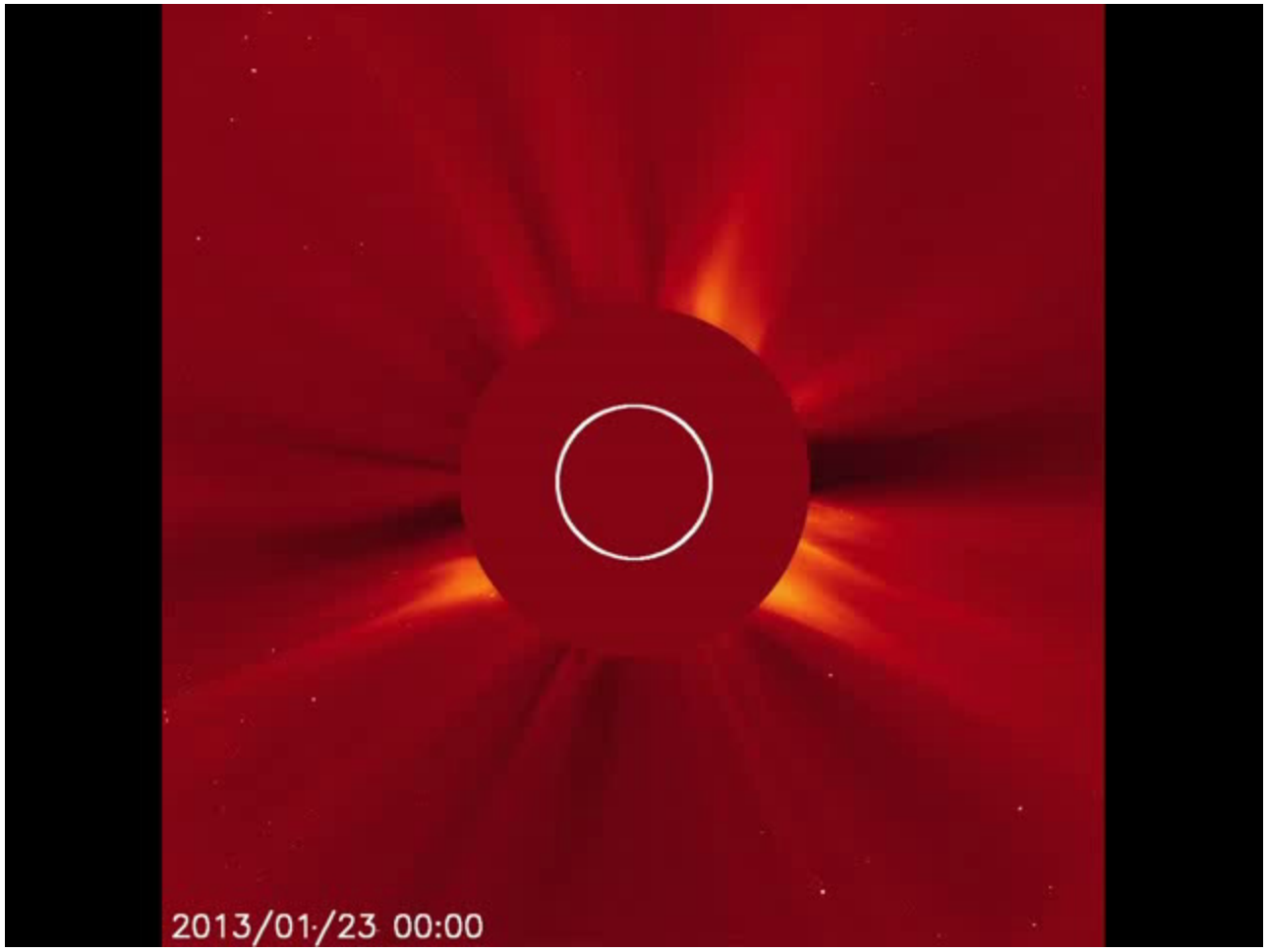
Coronal Flare – SDO, NASA



התפרצות בעטרה

צולם על ידי SDO

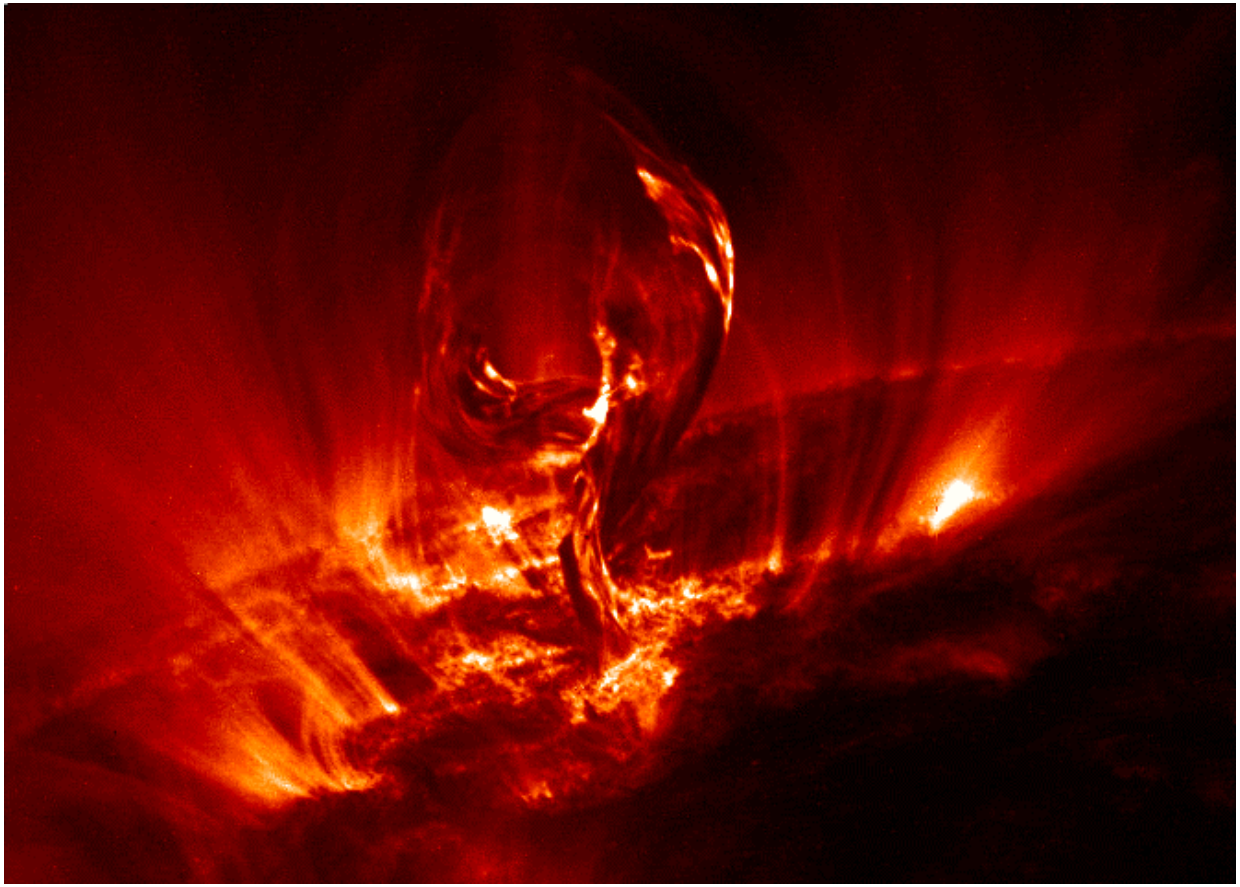
התפרצויות CME



http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/News012313-cme.html

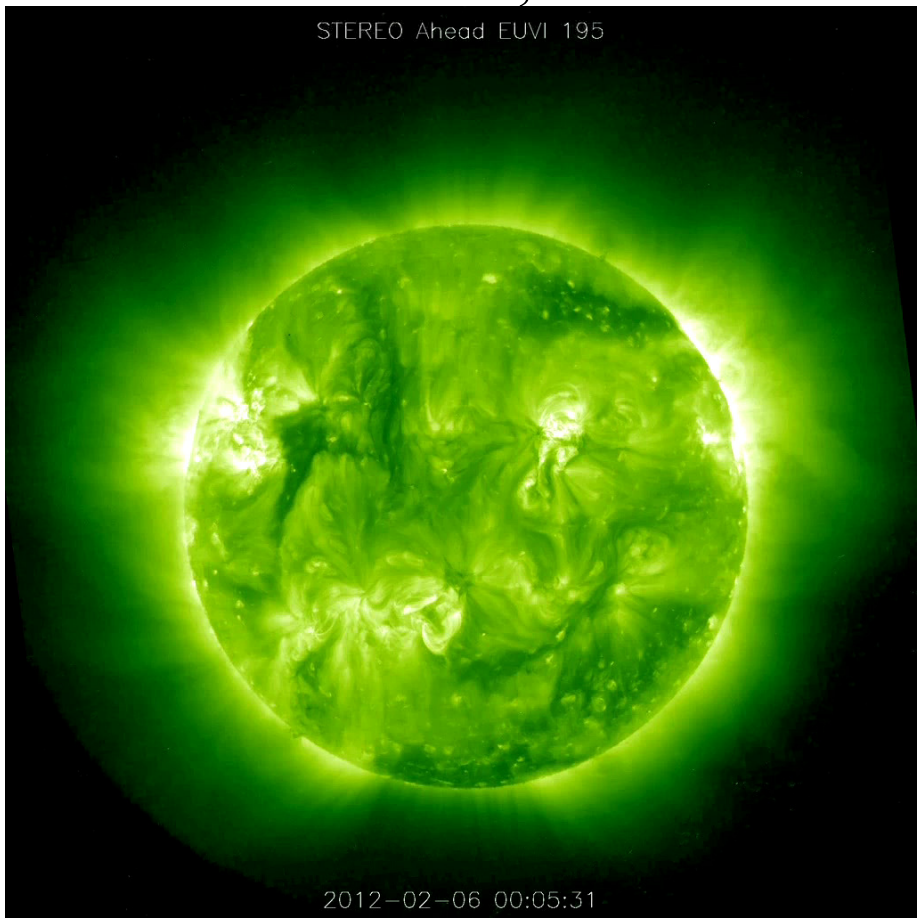
לשוניות - filaments

תופעה הנוצרת בעת הבזק שמש (Solar Flares), הגורמת לזריקת פלסמה גבוה מעל פני השמש. (TRACE, NASA)



לשוניות – Filaments וחור בעטרה

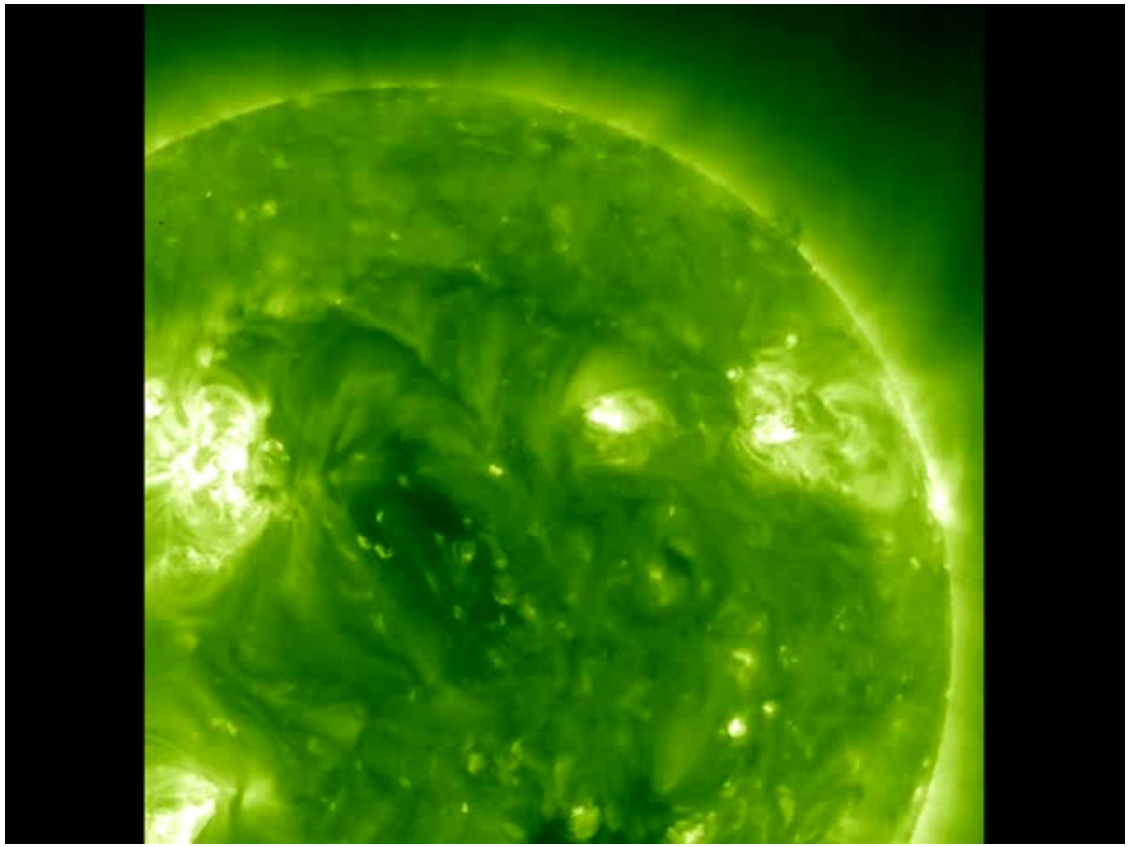
החומר בלשונית קר יותר ביחס לחומר בעטרה שמסביב. כשהוא נתמך על ידי השדה המגנטי, החומר בלשוניות יכול לשרוד עד כדי שבועות, אם כי לרוב הלשוניות מתפרצות לאחר זמן קצר יותר.



http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=179

Filaments - לשוניות

התפרצות שגורמת להיווצרות לשונית



http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=164

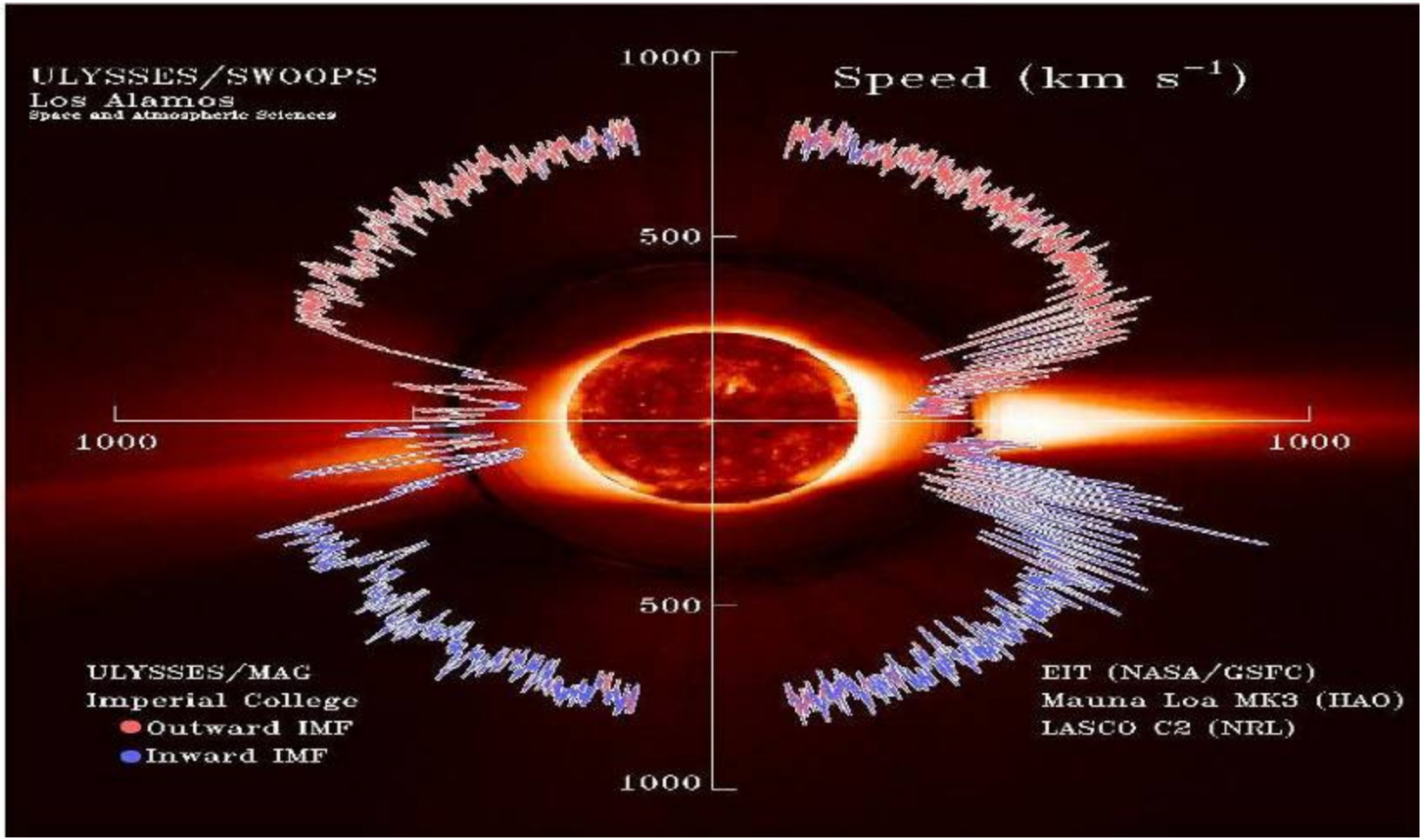
רוח השמש

החלקיקים הנורים מהשמש אל החלל. מקורה של רוח השמש הן בחומר המועלה מהשכבות הפנימיות של השמש אל פניה ובעיקר על ידי הפעילות המגנטית של השמש. יש שני סוגים של רוח שמש:

רוח שמש מהירה – אלה חלקיקים המגיעים למהירות של עד 1000 ק"מ לשנייה. חלקיקים אלה נורים מהשמש מאזורים הסמוכים לקטבים המגנטיים של השמש (חורי עטרה). באיזורים אלה קווי השדה המגנטי אינם סגורים ויוצרים מעין משפך ולכן חלקיקים טעונים הנורים מאיזור הקטבים נעים לאורך קווי השדה המגנטי בחופשיות יחסית. חלקיקים מהירים גם מגיעים מאזורים בהם יש קוטב אחד של פעילות מגנטית (בעיקר בעת שהשמש פעילה) .

רוח שמש איטית – חלקיקים המגיעים מאזורים בהם קווי השדה המגנטי של השמש פועלים כבלם ומאיטים את מהירותם.

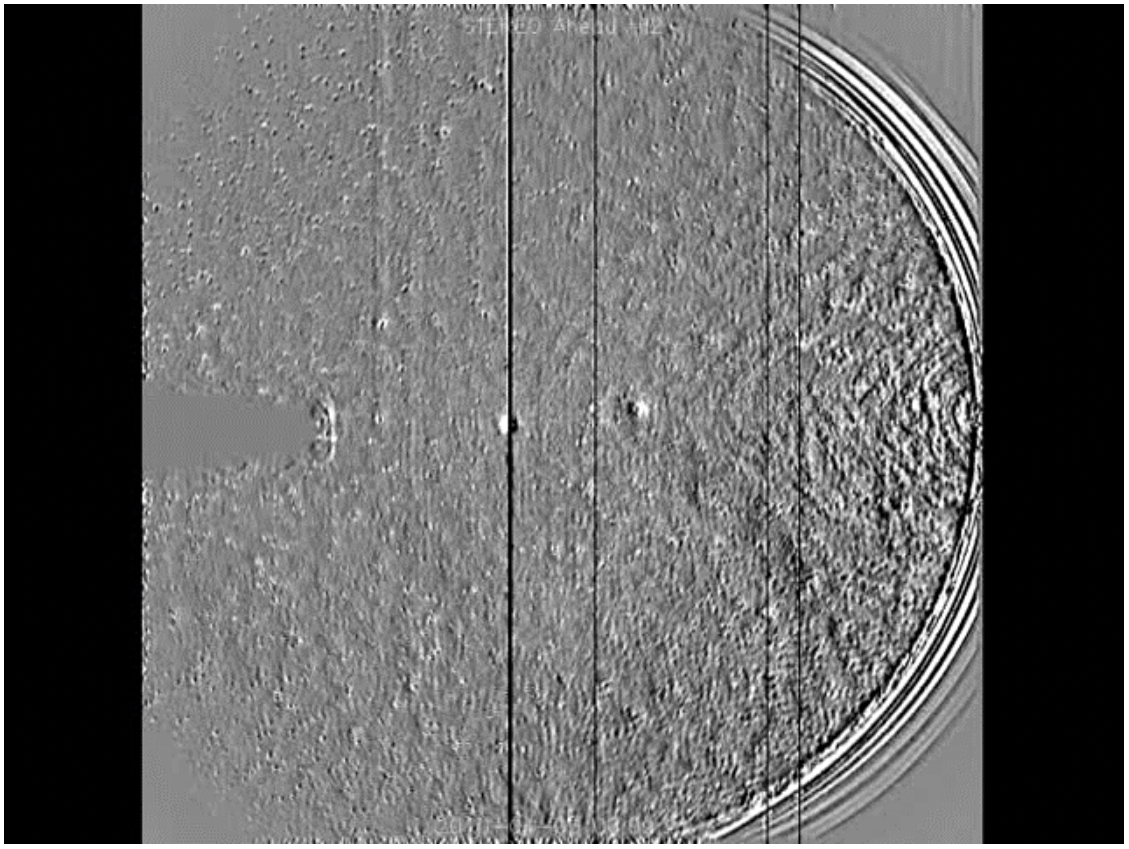
רוח השמש



- http://solarscience.msfc.nasa.gov/SolarWind.shtml

CME וכדור הארץ 3.4.2010

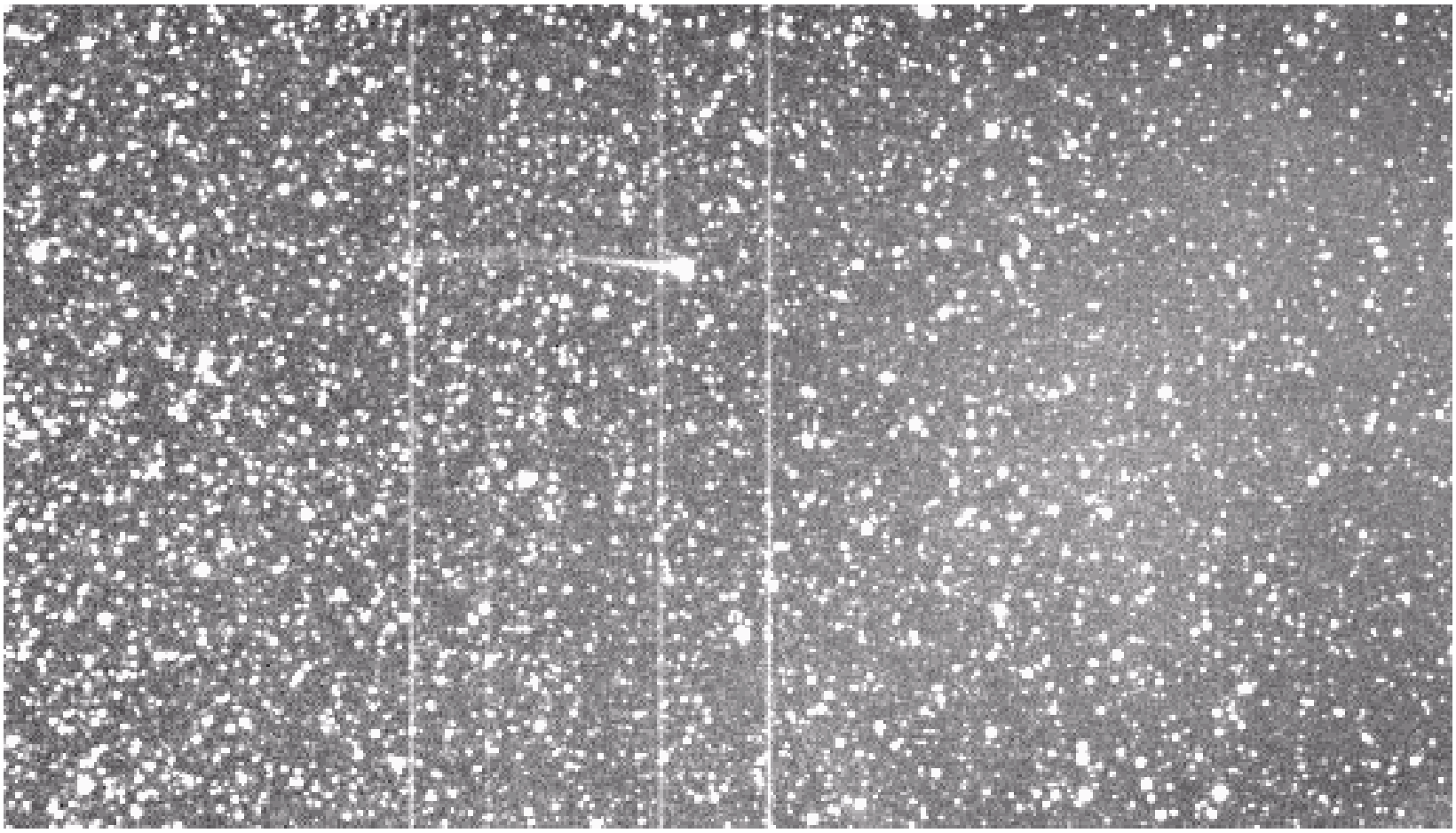
חומר שנזרק בהתפרצות מסה בקורונה פוגע במהירות של 500 ק"מ לשנייה
במגנטוספירה של כדור הארץ, יומיים לאחר ההתפרצות.



http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=120

רוח השמש ושביט אנקה, 2007

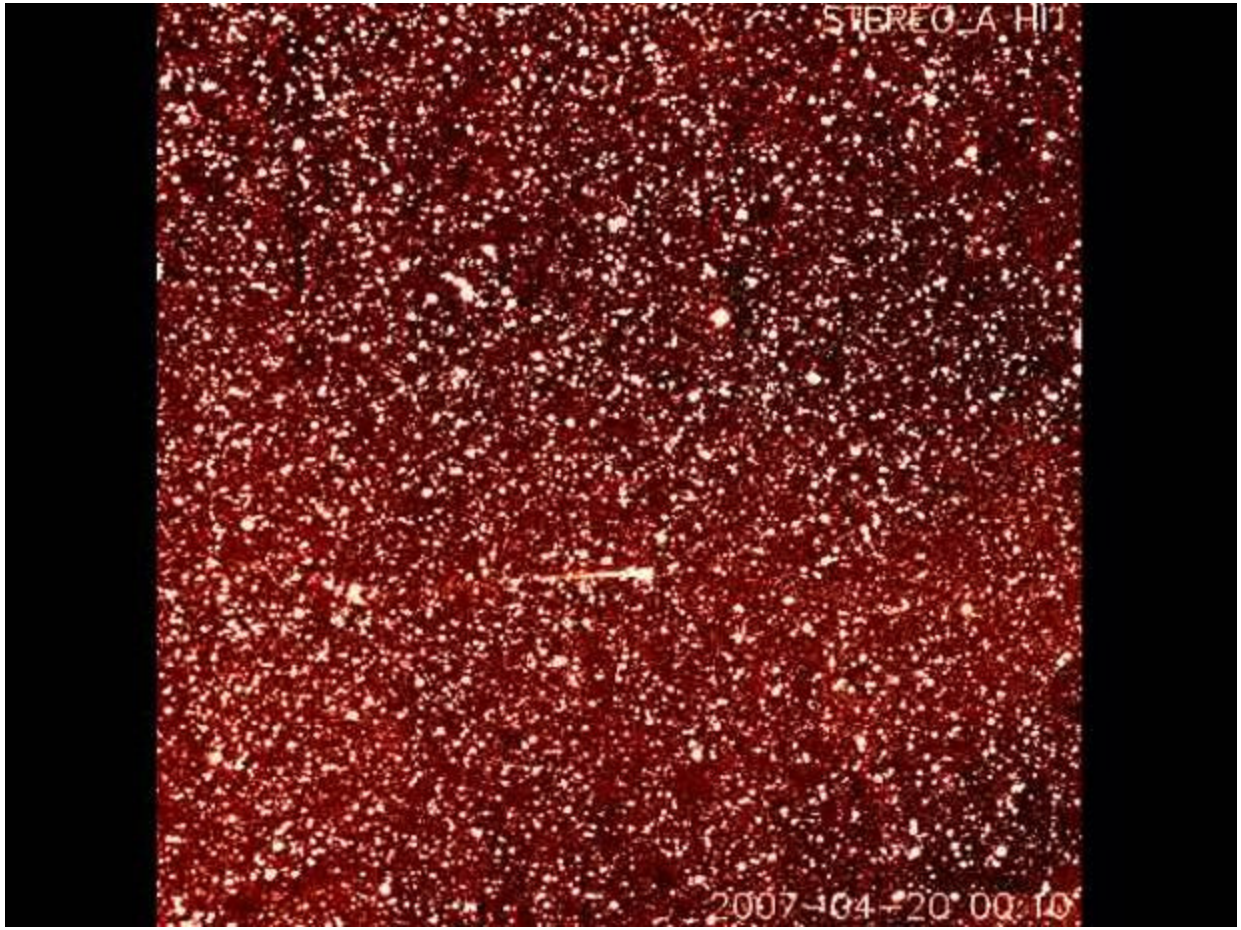
מפגש של רוח השמש עם השביט המחזורי אנקה, באפריל 2007. אפשר לראות את השפעת רוח השמש על זנב השביט



http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=selects&iid=33

רוח השמש ושביט אנקה, 2007

מפגש של רוח השמש עם השביט המחזורי אנקה, באפריל 2007. אפשר לראות את השפעת רוח השמש על זנב השביט. זה תקריב של הסרטון הקודם



צילום – NASA, HINODE

הזוהר הצפוני

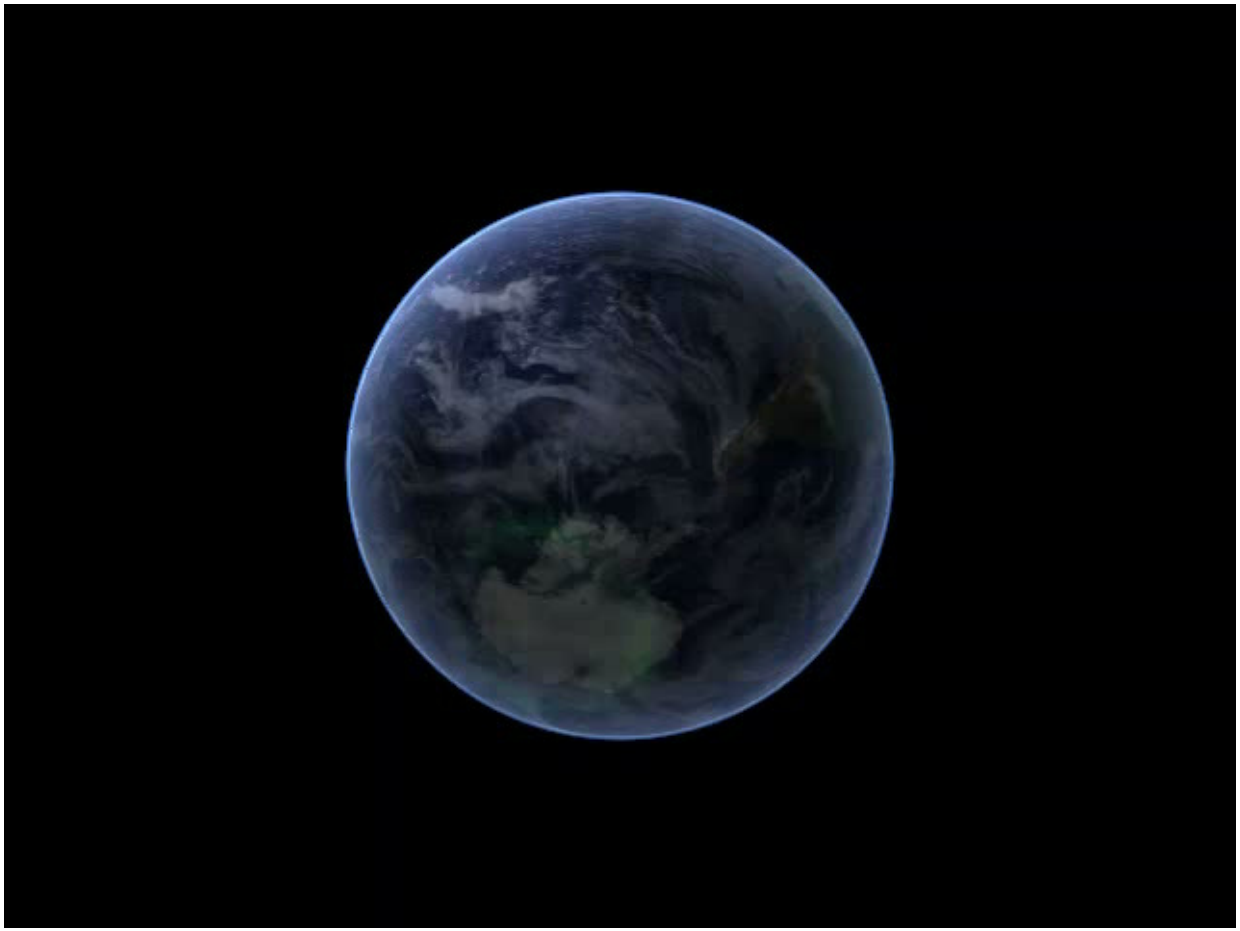
- חלקיקים אנרגטיים שמקורם בשמש המגיעים לכדור הארץ מתועלים על ידי קווי השדה המגנטי של כדור הארץ לכיוון הקטבים המגנטיים האינטרקציה של החלקיקים הטעונים עם החלקיקים המצויים באטמוספירה של כדור הארץ גורמת לעירור או ליינון החלקיקים המצויים באטמופירה.

- כתוצאה מלכידה של אלקטרונים (רה-קומבינציה) נפלטת קרינה האופיינית לזוהר הצפוני ככל ששטף החלקיקים המגיע לכדור הארץ אנרגטי יותר, הם מצליחים לחדור עמוק יותר בשדה המגנטי של כדור הארץ ולפיכך להגיע לשכבות נמוכות יותר באטמוספירה וכן לגרום לזוהר צפוני הנראה רחוק יותר מאזורי הקטבים המגנטיים

זוהר הקוטב

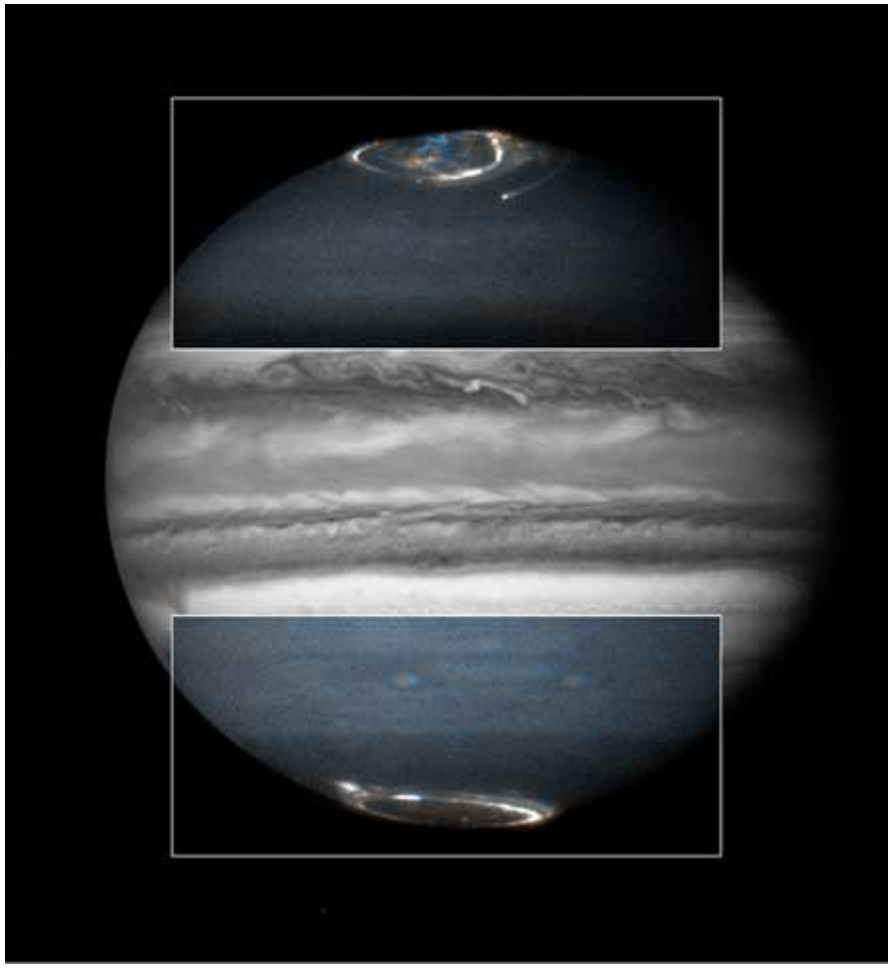
כאשר חלקיקים טעונים מתועלים על ידי קווי השדה המגנטי לקטבים המגנטיים המצויים ליד הקטבים, נוצרת אינטרקציה בינם לבין החלקיקים באטמוספירה. כתוצאה מכך נפלטת קרינה הנראית כעננים צבעוניים, בדרך כלל בצבעים ירוק ואדום. זוהר קוטב (אורורה) נצפה גם בקטבים המגנטיים של שבתאי וצדק. זוהר השמש כפי שצולם מתחנת החלל הבינלאומית של נאס"א.

זוהר הקוטב הדרומי, צולם על ידי תחנת החלל הבינלאומית – ISS, NASA



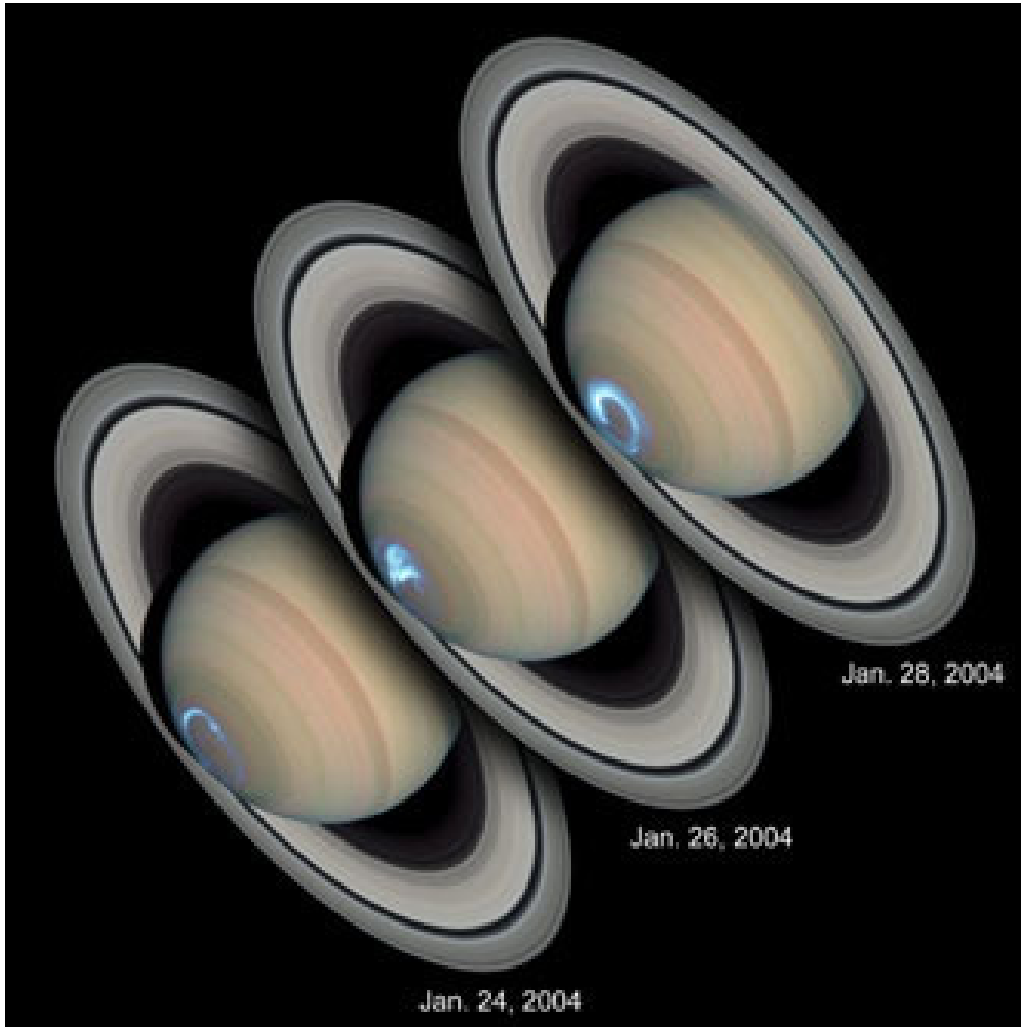
http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6226

אורורה – בקטבים של צדק



http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/news/jupiter_flyby.html

אורורה – בקוטב הדרומי של שבתאי



- http://www.nasa.gov/home/hqnews/2005/feb/HQ_05049_saturn_aurora.html

עתיד השמש

- גילה של השמש כ-4.7 מיליארד שנים. היא מצויה בשלב בו המימן בליבתה בוער והופך להליום. שלב זה יימשך עוד כ-5 מיליארד שנים. זהו שלב הסדרה הראשית
- עוד 5 מיליארד שנים השמש תתחיל להתנפח, כאשר המימן יבער מעל שכבה של אפר הליום שנוצר במיליארדי השנים. היא תתפשט, קוטר יגדל פי כמה עשרות מונים פניה שיתרחקו מליבתה יתקררו ויהיו אדומים. השמש תהפוך לענק אדום
- לאחר שלב הענק האדום השמש תתכווץ שוב במהירות עד שההליום יחל לבעור במרכז השמש. בשלב זה השמש תהיה חמה ובהירה יותר מאשר עתה.
- בשלב זה, יתחיל המימן לבעור מעל להליום הבוער. השמש שוב תתנפח ושוב תהפוך לענק אדום אל גדול יותר.השמש תתפשט עד שהשכבות החיצוניות שלה פשוט ייעלמו בחלל. תהליך זה האורך כמה עשרות אלפי שנים קרוי –ערפילית פלנטרית
- תוך שהערפילית הפלנטרית מתפשטת, ליבת השמש נותרת חשופה. זהו ננס לבן גוף קומפקטי ודחוס מאוד שיתקרר לאיטו עד שתוך כמה מיליארדי שנים יתקרר לחלוטין