โครงการพัฒนาศักยภาพนักวิทยุสมัครเล่น ความรู้ความเข้าใจในการใช้งานความถี่ย่าน HF

17 ธันวาคม พ.ศ. 2565

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในบรรยากาศ

Propagation of Radio Wave in Atmosphere

อำนาจ สาธานนท์ (E25GGT)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรรมการฝ่ายวิชาการ สมาคมวิทยุสมัครเล่นแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

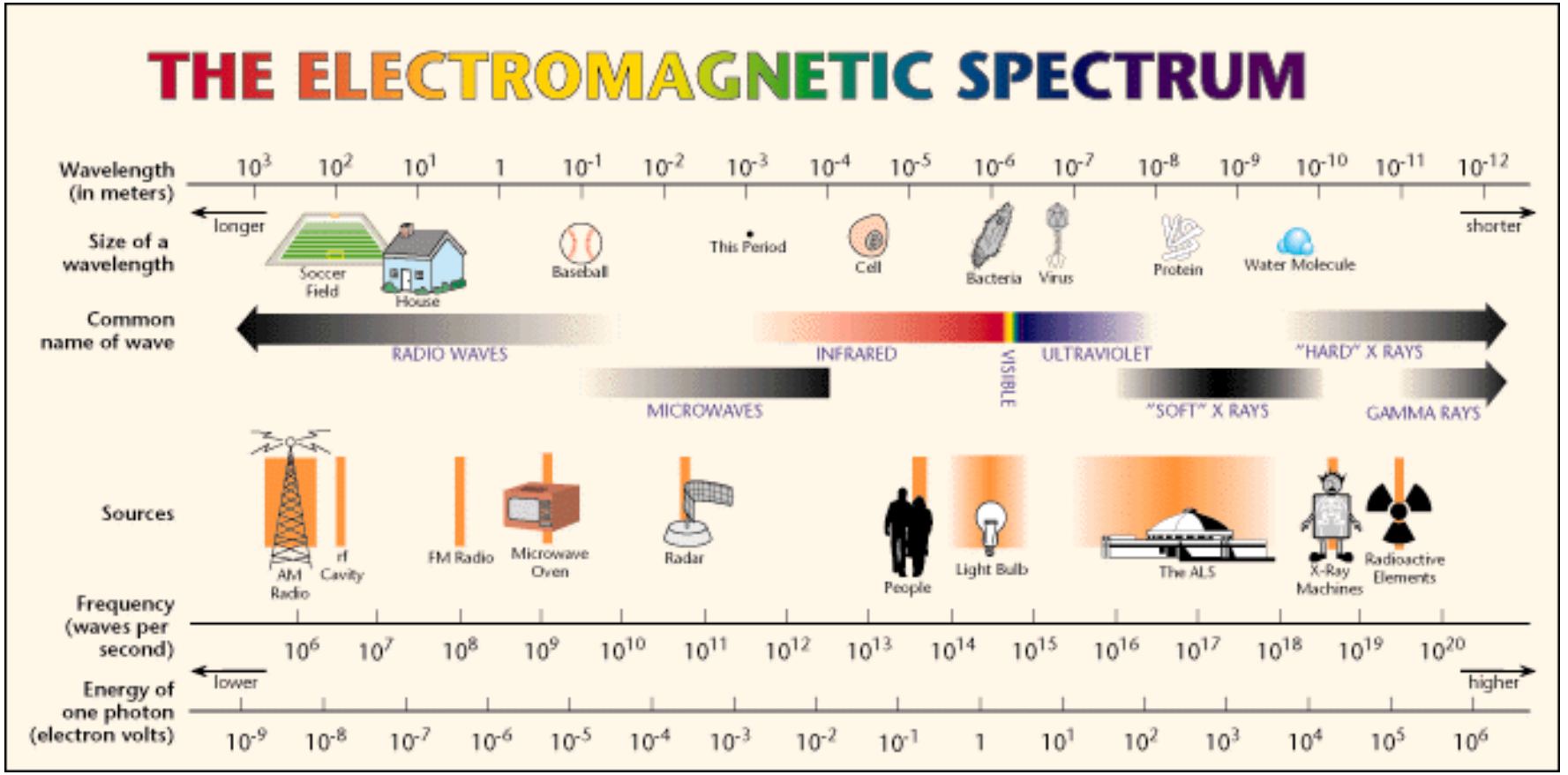
อภิวัฒน์ จิรวัฒนผล (HS4SCI)

กรรมการฝ่ายอวกาศและดาวเทียม สมาคมวิทยุสมัครเล่นแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

ธรรมชาติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

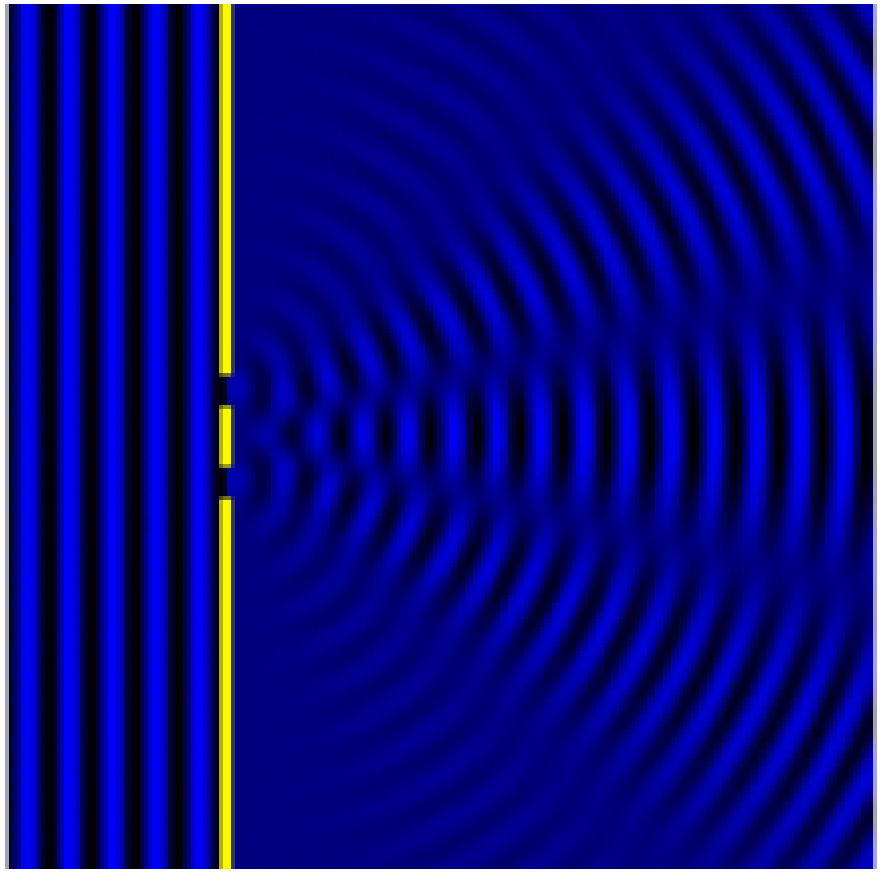
- การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน
- การสะท้อนและการหักเห
- การกระเจิง (Scattering)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

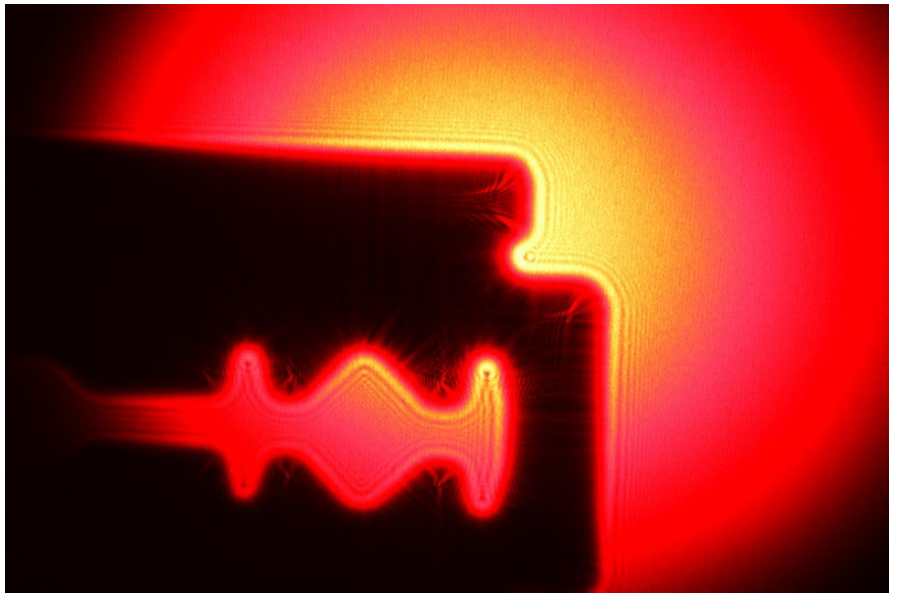


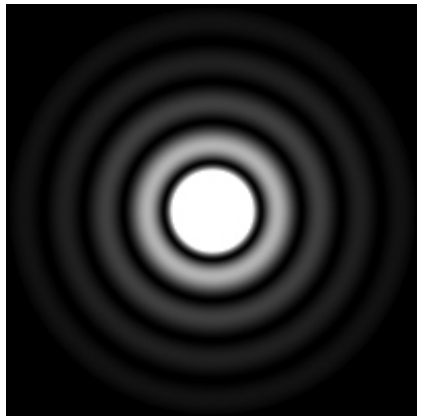
http://www2.lbl.gov/MicroWorlds/ALSTool/EMSpec/EMSpec2.html

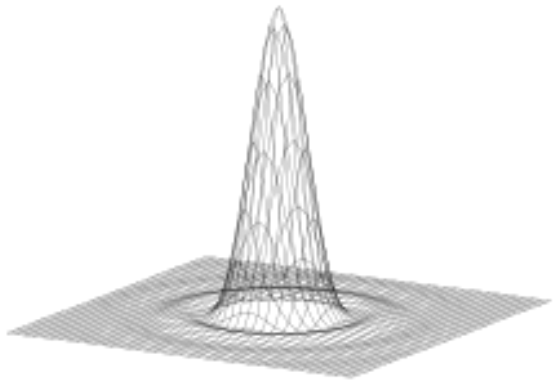
การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน



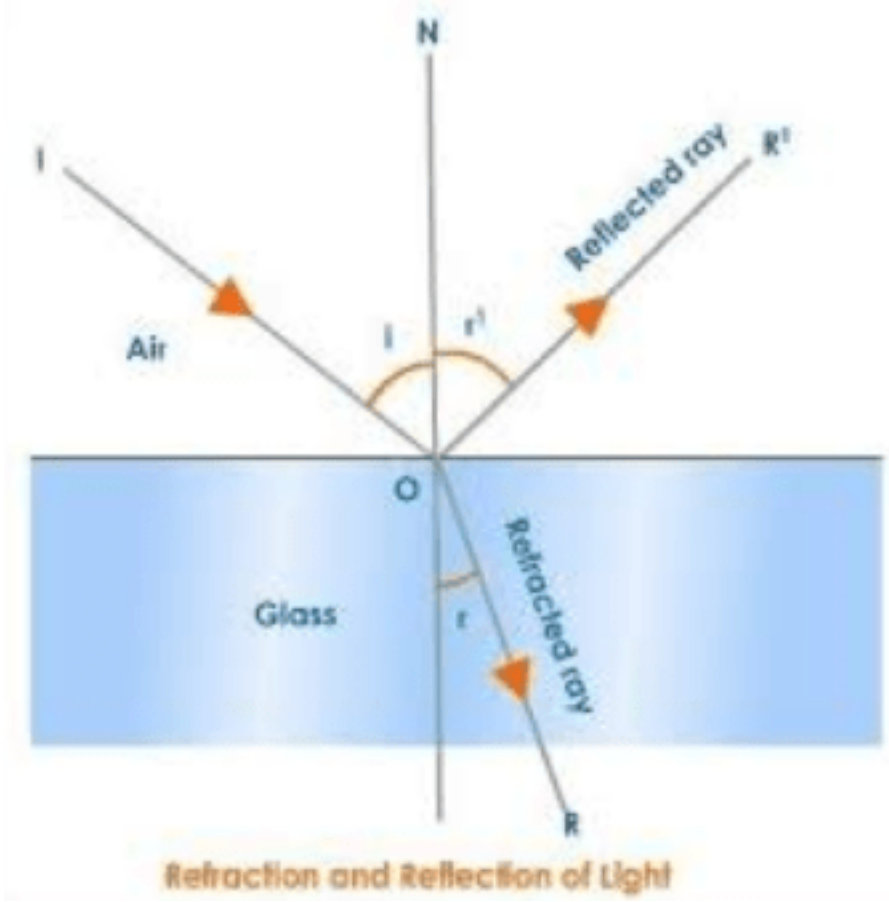
http://becuo.com/diffraction-of-light-animation



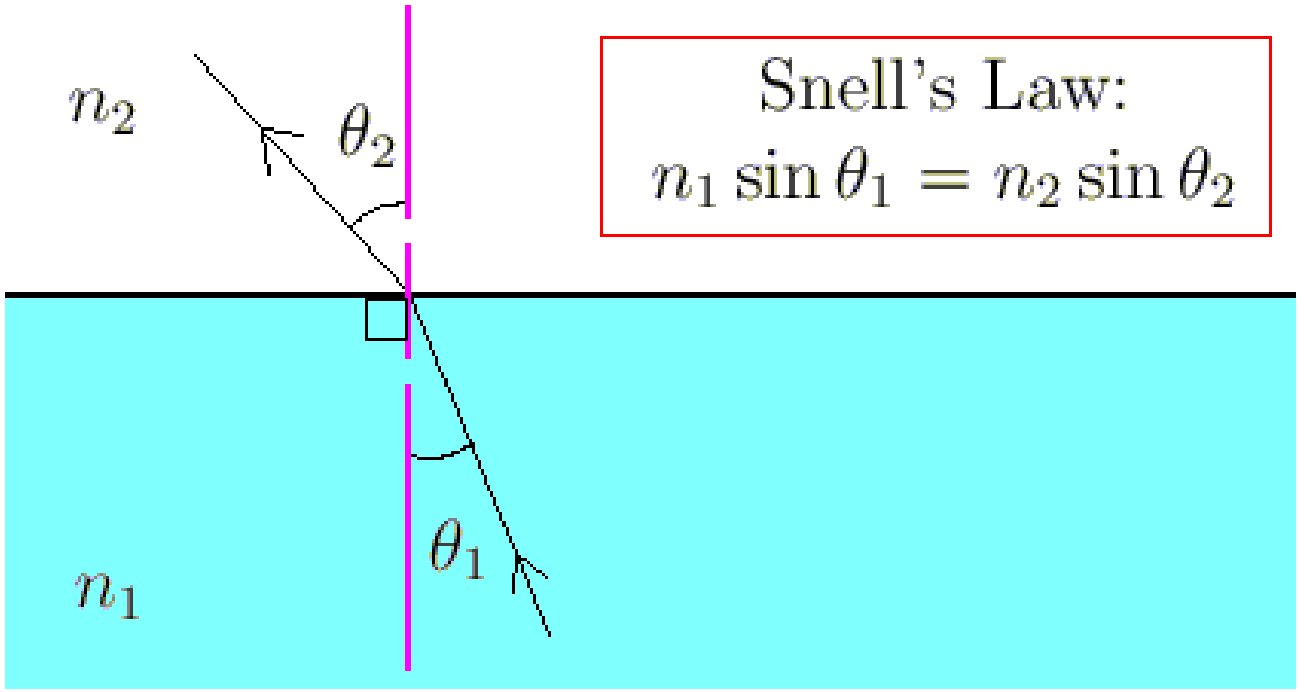




การสะท้อนและการหักเห



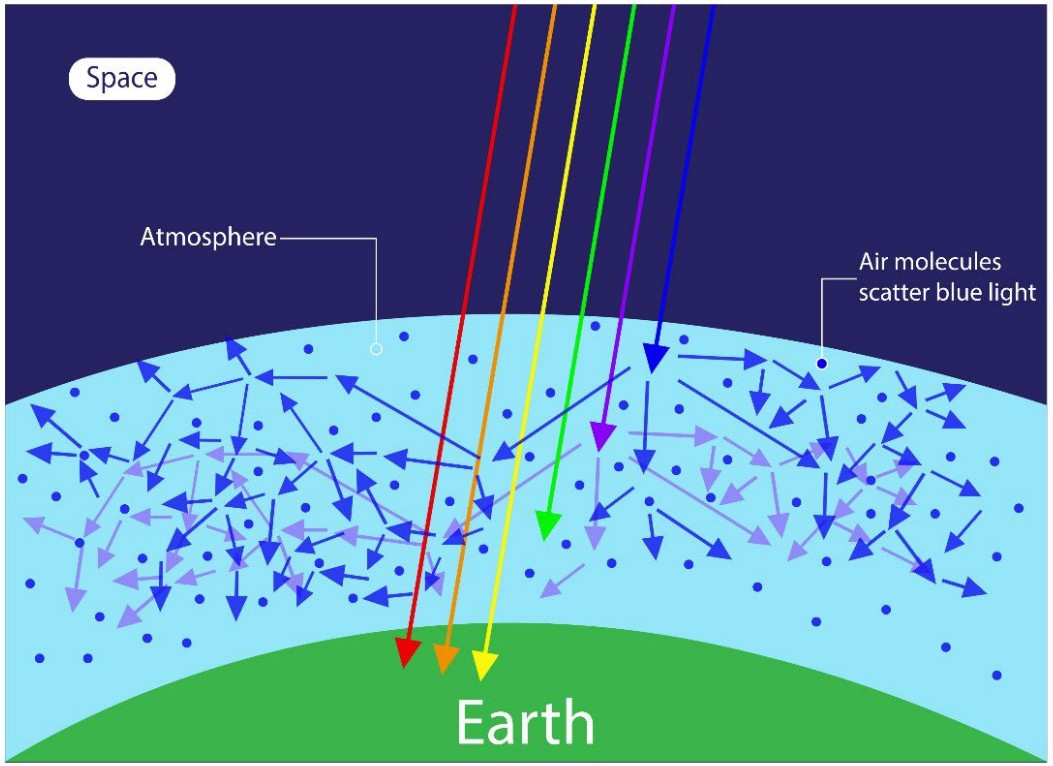
Refraction and Reflection of Light



Snell's Law:

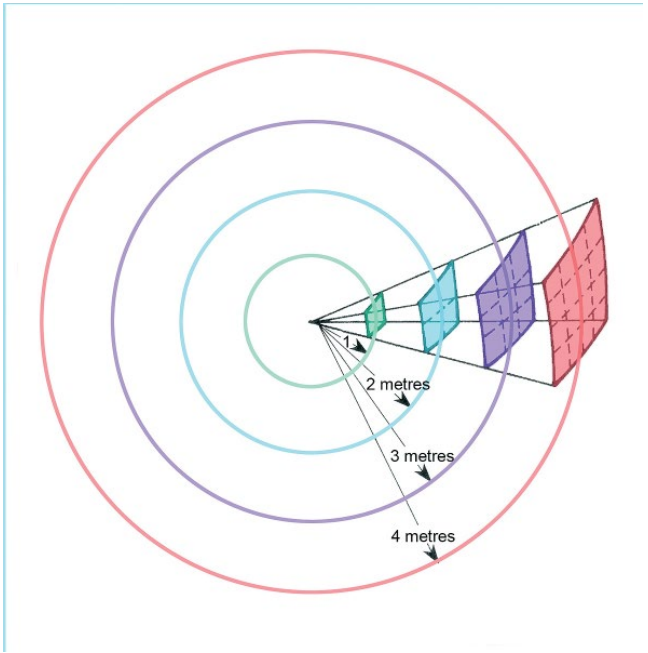
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

การกระเจิง (scattering)



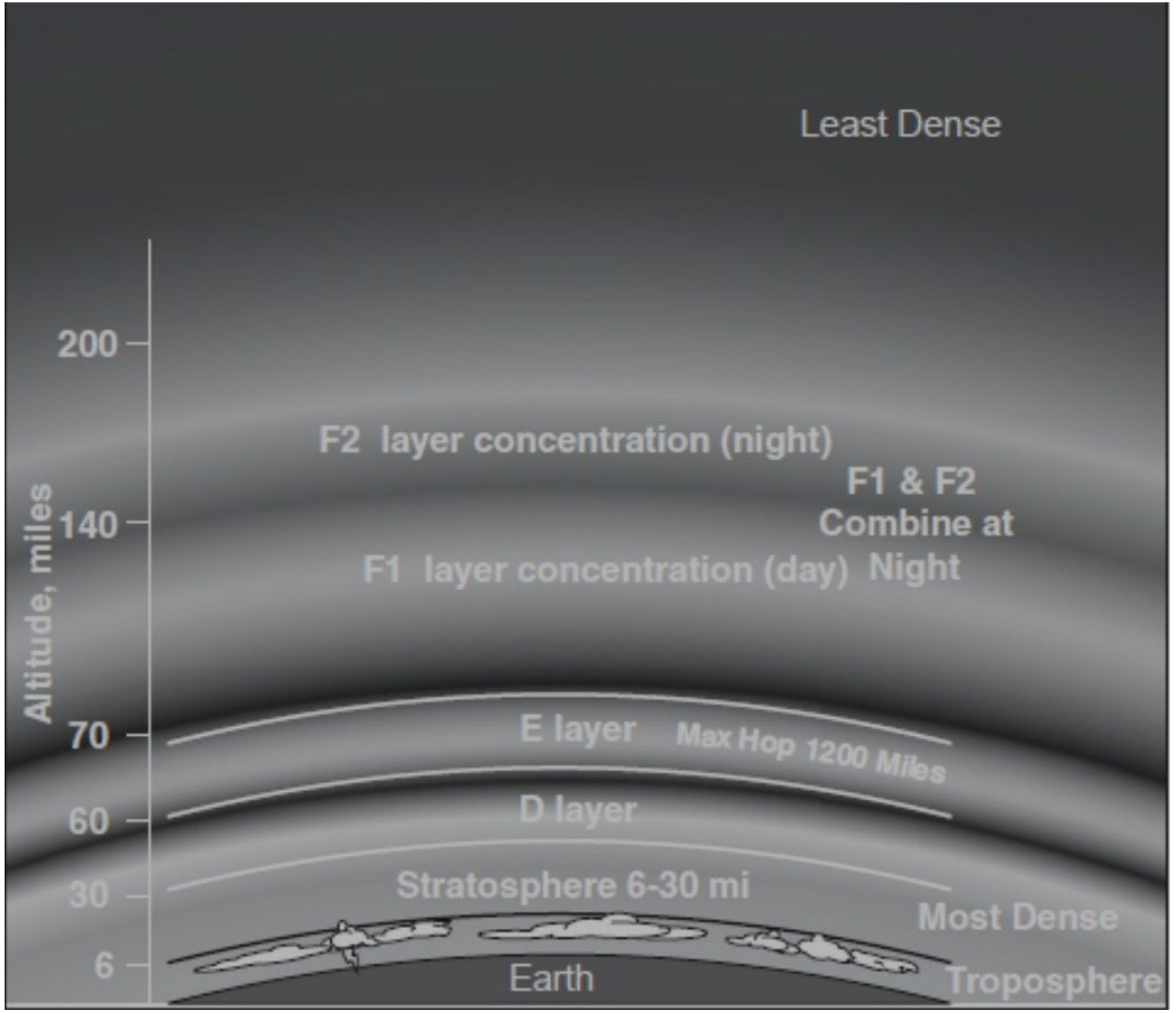
https://www.embibe.com/exams/scattering-of-light/

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ



- ตามแนวเส้นสายตา (line-of-sight, LOS)
- คลื่นคลื่นดิน (ground wave)
- การสะท้อนจากไอโอโนสเฟียร์ (sky wave)
- การสะท้อนอื่น ๆ เช่น ดาวตก, ดวงจันทร์

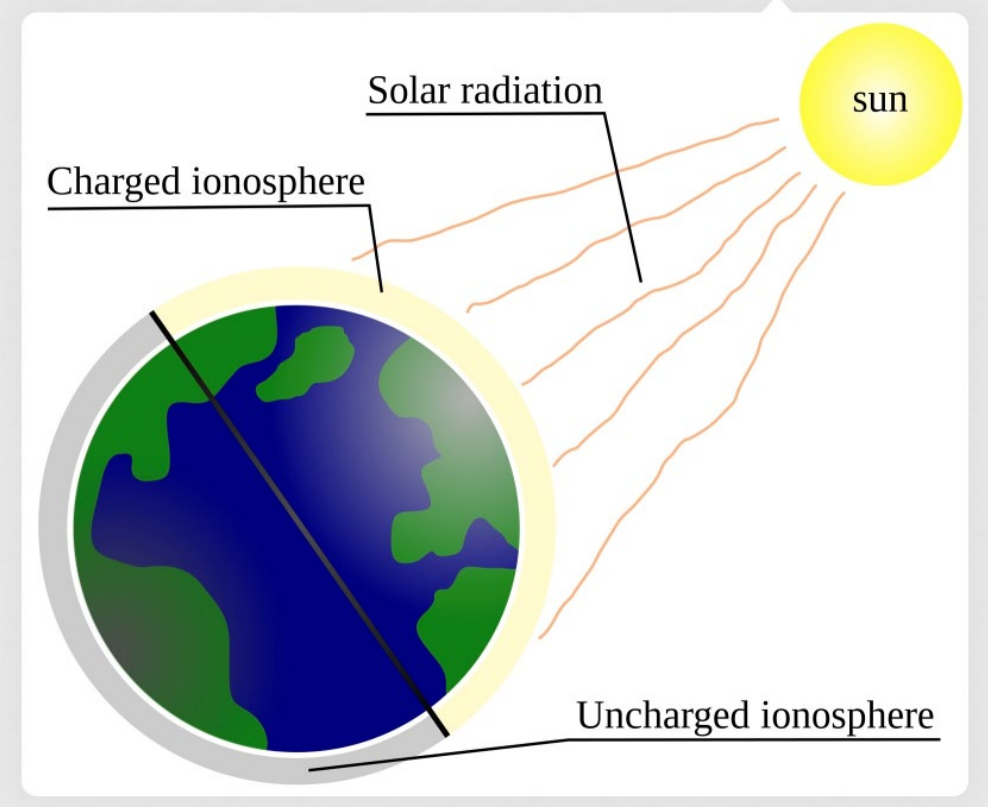
Band		Frequency	Wavelength	Propagation via
ELF	Extremely Low Frequency	3–30 Hz	100,000–10,000 km	Guided between the Earth and the D layer of the ionosphere.
SLF	Super Low Frequency	30–300 Hz	10,000–1,000 km	Guided between the Earth and the ionosphere.
ULF	Ultra Low Frequency	0.3–3 kHz (300–3,000 Hz)	1,000–100 km	Guided between the Earth and the ionosphere.
VLF	Very Low Frequency	3–30 kHz (3,000–30,000 Hz)	100–10 km	Guided between the Earth and the ionosphere. Ground waves.
LF	Low Frequency	30–300 kHz (30,000–300,000 Hz)	10–1 km	Guided between the Earth and the ionosphere. Ground waves.
MF	Medium Frequency	300–3000 kHz (300,000–3,000,000 Hz)	1000–100 m	Ground waves. E, F layer ionospheric refraction at night, when D layer absorption weakens.
HF	High Frequency (Short Wave)	3–30 MHz (3,000,000–30,000,000 Hz)	100–10 m	E layer ionospheric refraction. F1, F2 layer ionospheric refraction.
VHF	Very High Frequency	30–300 MHz (30,000,000–300,000,000 Hz)	10–1 m	Line-of-sight propagation. Infrequent E ionospheric (E_s) refraction. Uncommonly F2 layer ionospheric refraction during high sunspot activity up to 50 MHz and rarely to 80 MHz. Sometimes tropospheric ducting or meteor scatter

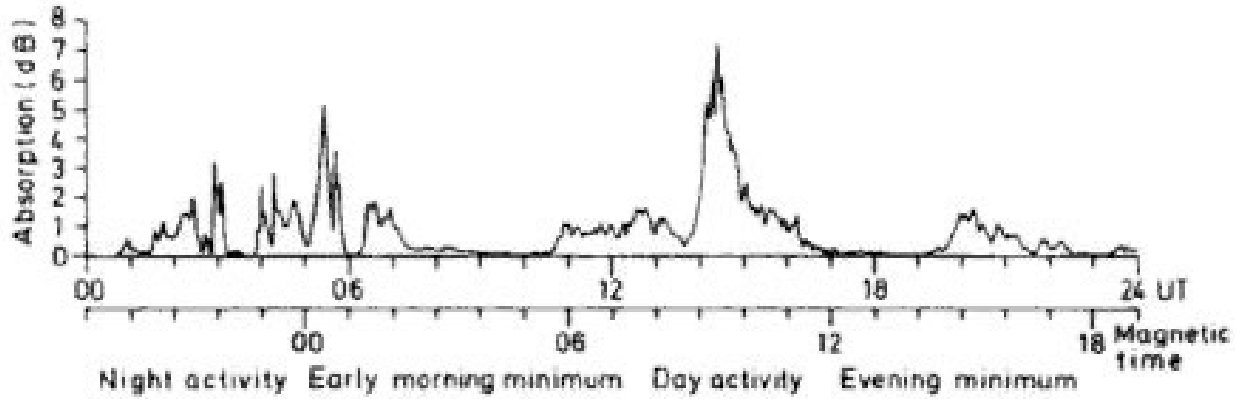


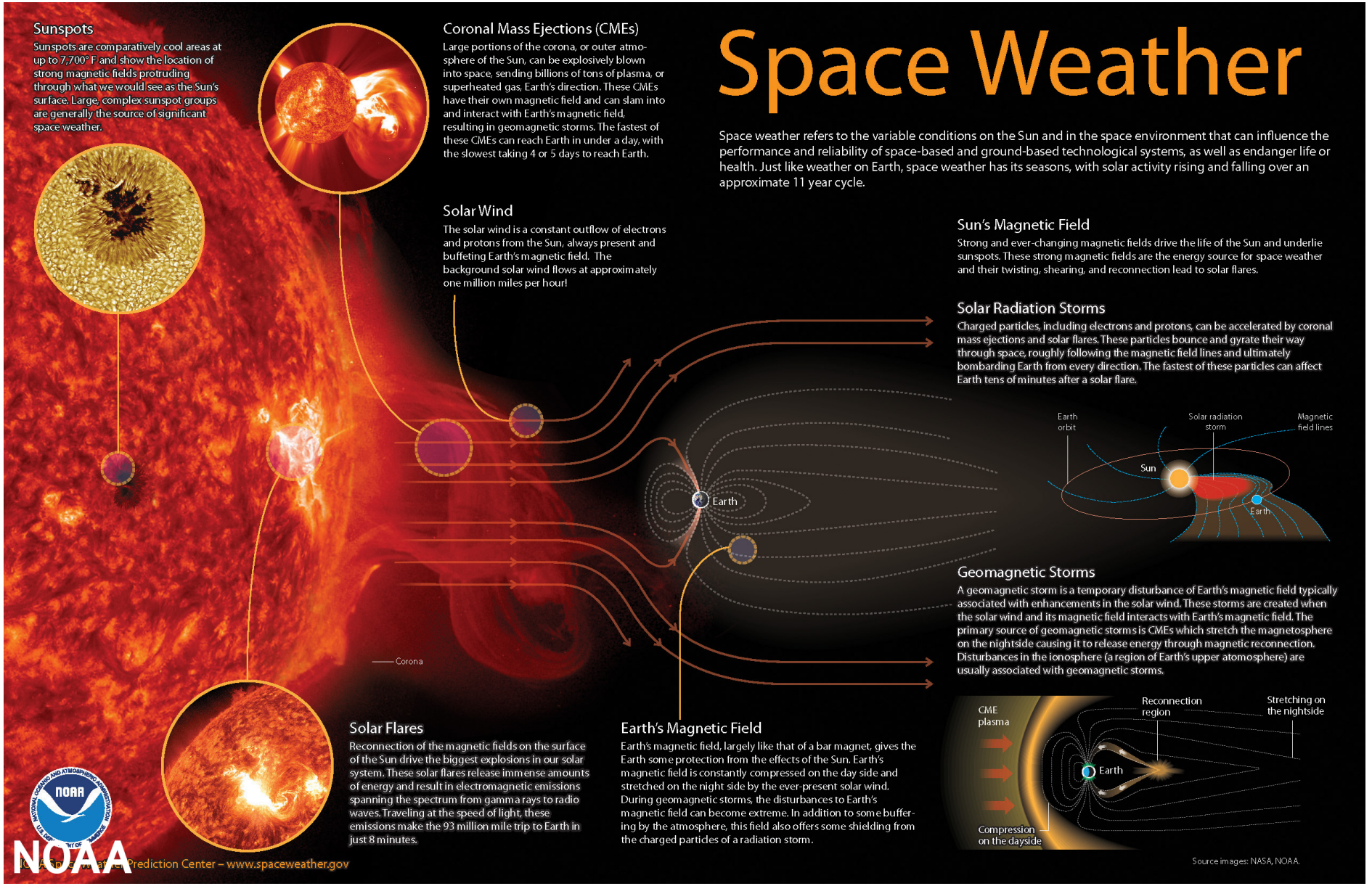
บรรยากาศโลก

- โครงสร้างของชั้นบรรยากาศ
- โทรโพสเฟียร์ (troposphere)
- ไอโอโนสเฟียร์

การดูดกลืนและการสะท้อนคลื่นวิทยุที่ชั้นไอโอโนสเฟียร์

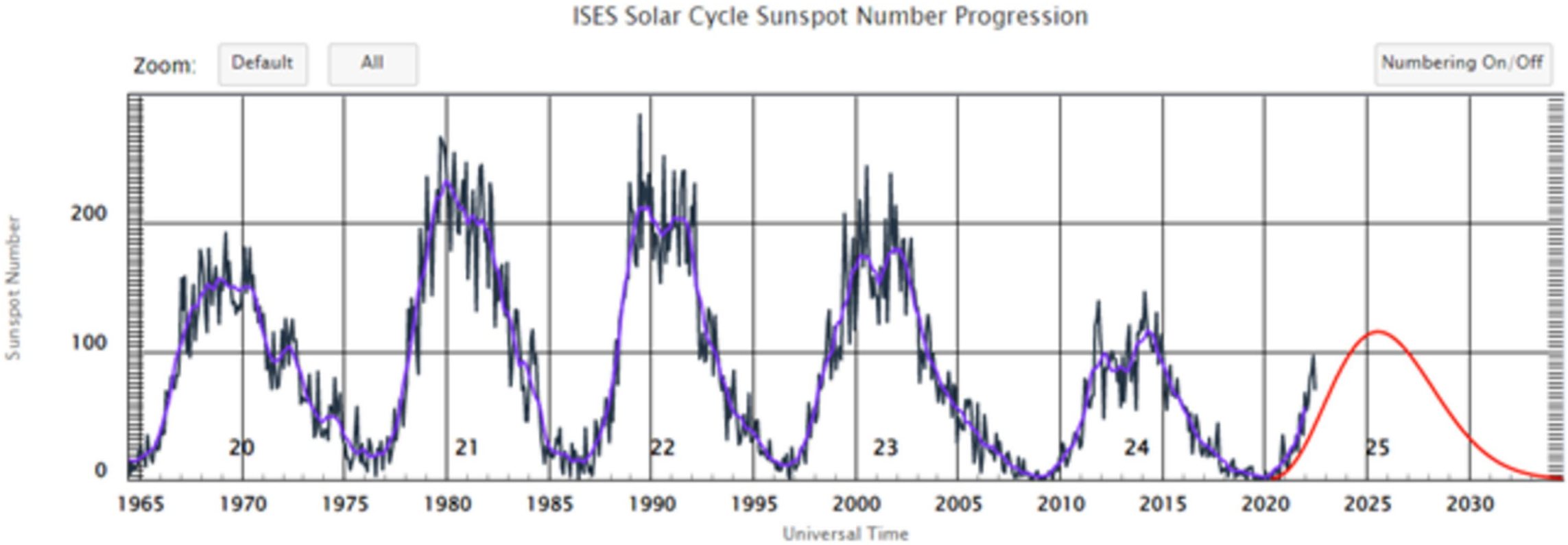






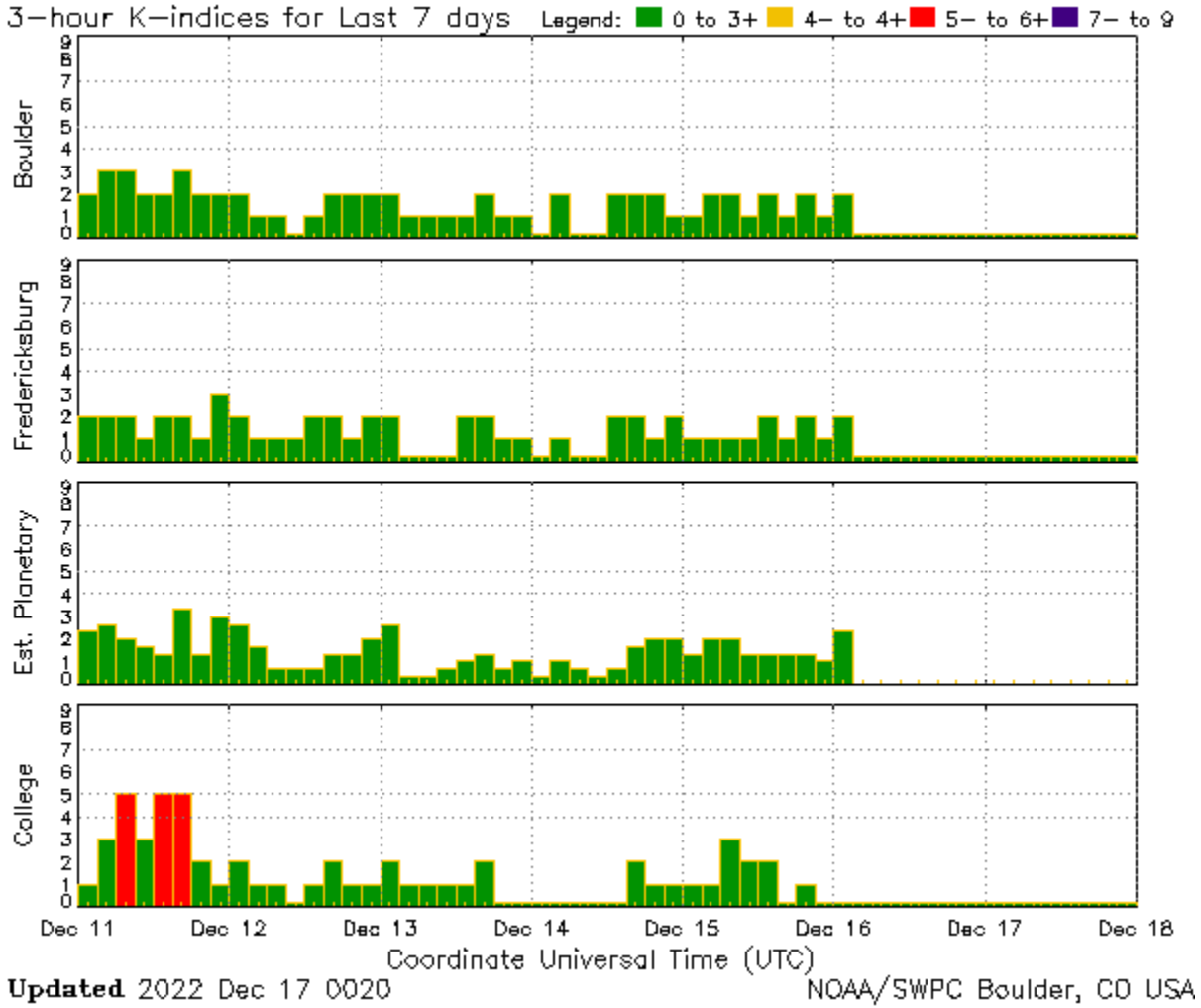
https://www.noaa.gov/explainers/space-weather-storms-from-sun

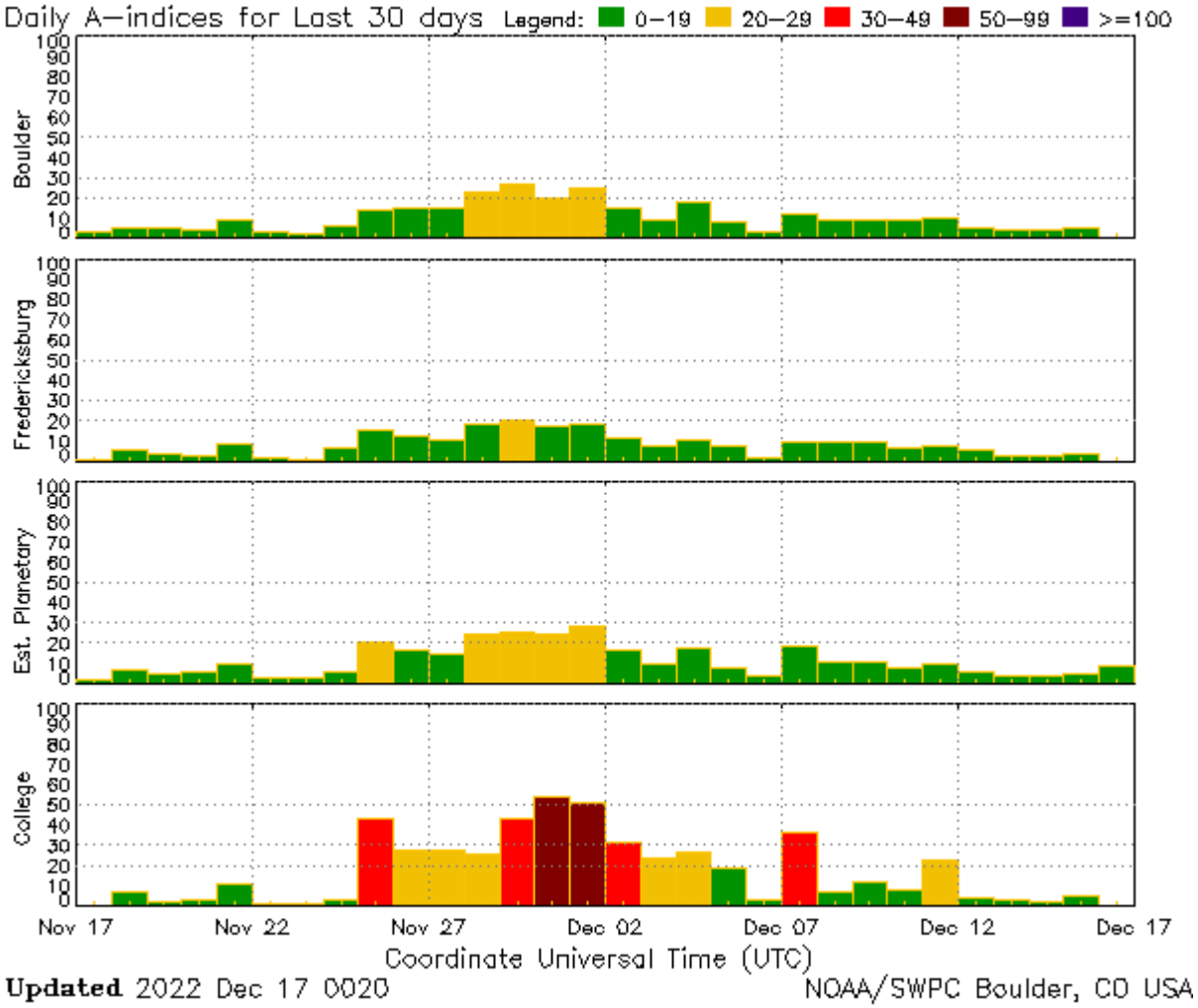
วัฏจักรดวงอาทิตย์ (solar cycle)



https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/07/Solar_cycle_25_prediction_NOAA_July_2022

Station K and Station A indices





https://www.swpc.noaa.gov/products/station-k-and-indices

MUF และ LUF

- ชั้นบรรยากาศสามารถ ดูดซึม (Absorption) หักเห (Refraction) สัญญาณความถี่วิทยุ
- General rule for skywave: use the highest possible frequency for a given destination
  - This is the maximum usable frequency (MUF)
  - Signals > MUF are not refracted (ทะลุ)
  - As ionization increases, MUF usually increase
- ความถี่ต่ำกว่า LUF จะสื่อสารได้ยากหรือแทบเป็นไปไม่ได้
- LUF is (mostly) a function of noise (poor SNR)
- MUF is a function of the ionosphere

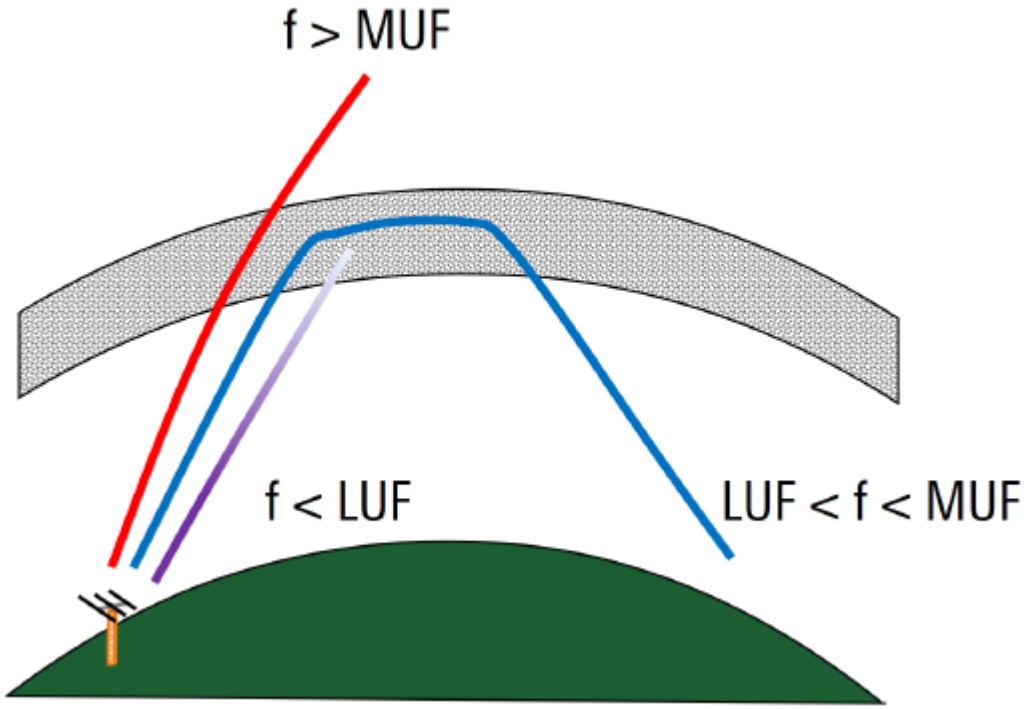


Image: Rohde & Schwarz

Critical Frequency

- MUF ปกติแล้วสามารถประมาณได้จาก Critical Frequency
- การวัด Critical Frequency:
  - ส่งสัญญาณ Pulses ที่ความถี่ต่างๆกัน
  - ใช้เวลาที่สัญญาณสะท้อนกลับมาเพื่อคำนวณความสูง
  - ณ Critical Frequency สัญญาณ Pulse จะไม่สะท้อนชั้นบรรยากาศ (ทะลุไปอวกาศ)
- Critical frequency (f_c) เป็นความสัมพันธ์ของระดับของ ionization และจุดที่ทำการวัดค่า
- ในทางปฏิบัติ MUF จะมีค่ามากกว่า Critical Frequency 3-5 เท่า
- $MUF = \frac{f_c}{cos\theta}$

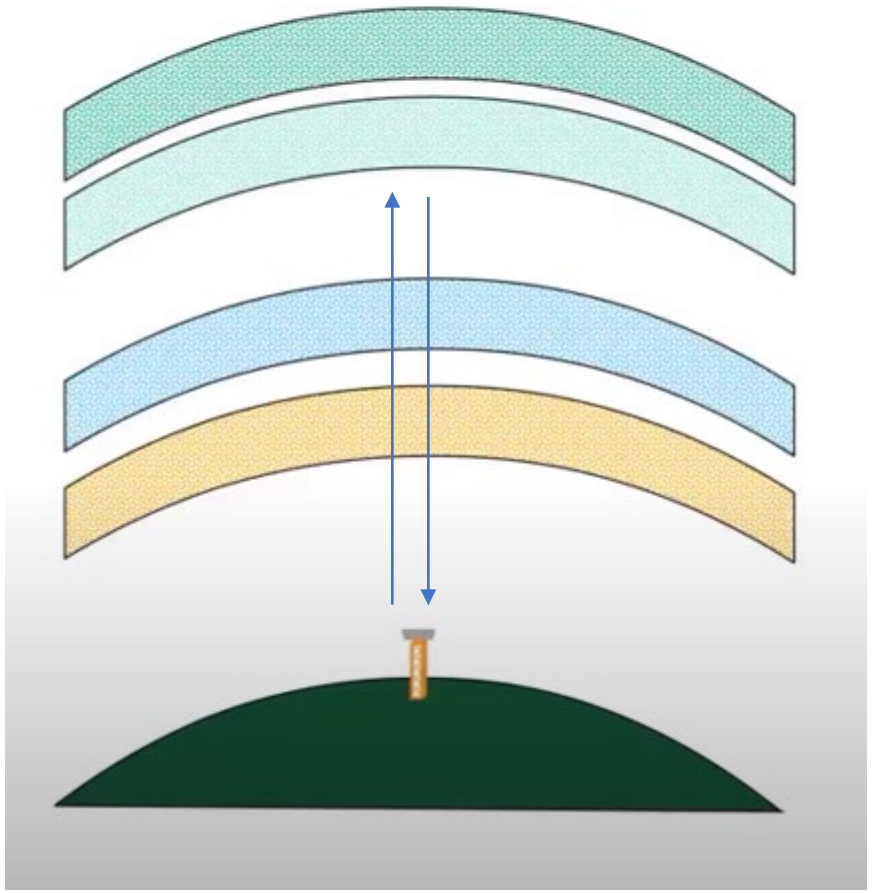


Image: Rohde & Schwarz

Ionospheric Observatory station at Chumphon, Thailand

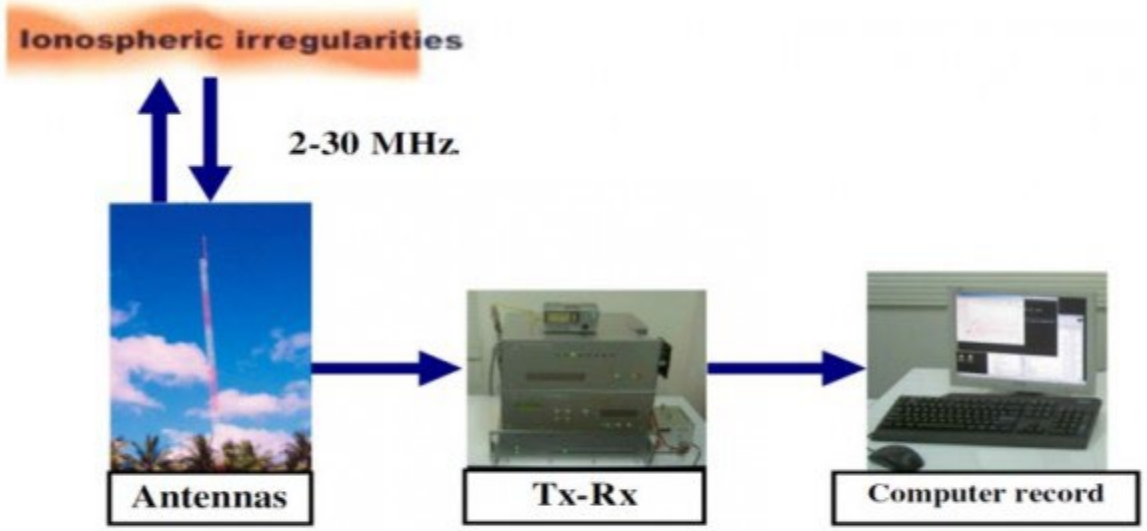


Fig. 2 Component of FMCW ionosonde: 3 main parts.

An ionosonde used at Chumphon station transmits FM-modulated signals to reflect from the ionosphere layer using the frequency of **2 to 30 MHz** (high frequency or HF) and receives the echoes continuously, so called “continuous wave-frequency modulation (FMCW) ionosonde”. **The HF signals are increased with a sweep rate of 100 kHz/s and a sweep repetition period of 5 minutes.**

Source: http://iono-gnss.kmitl.ac.th/?page_id=668

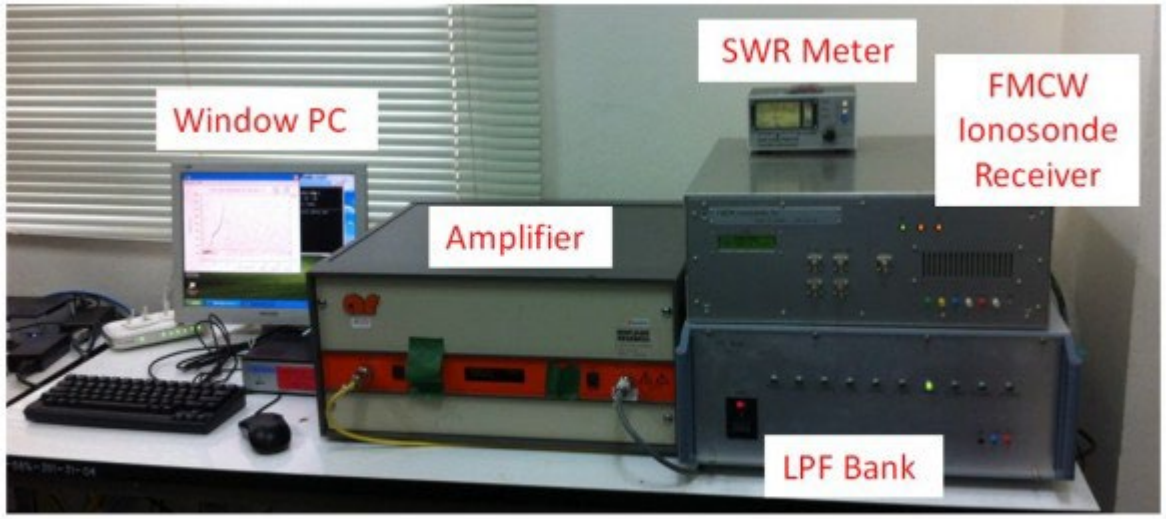


Fig. 3 The equipment in an ionospheric observatory room at Chumphon.

Fig. 4 The antenna region of FMCW ionosonde at Chumphon.

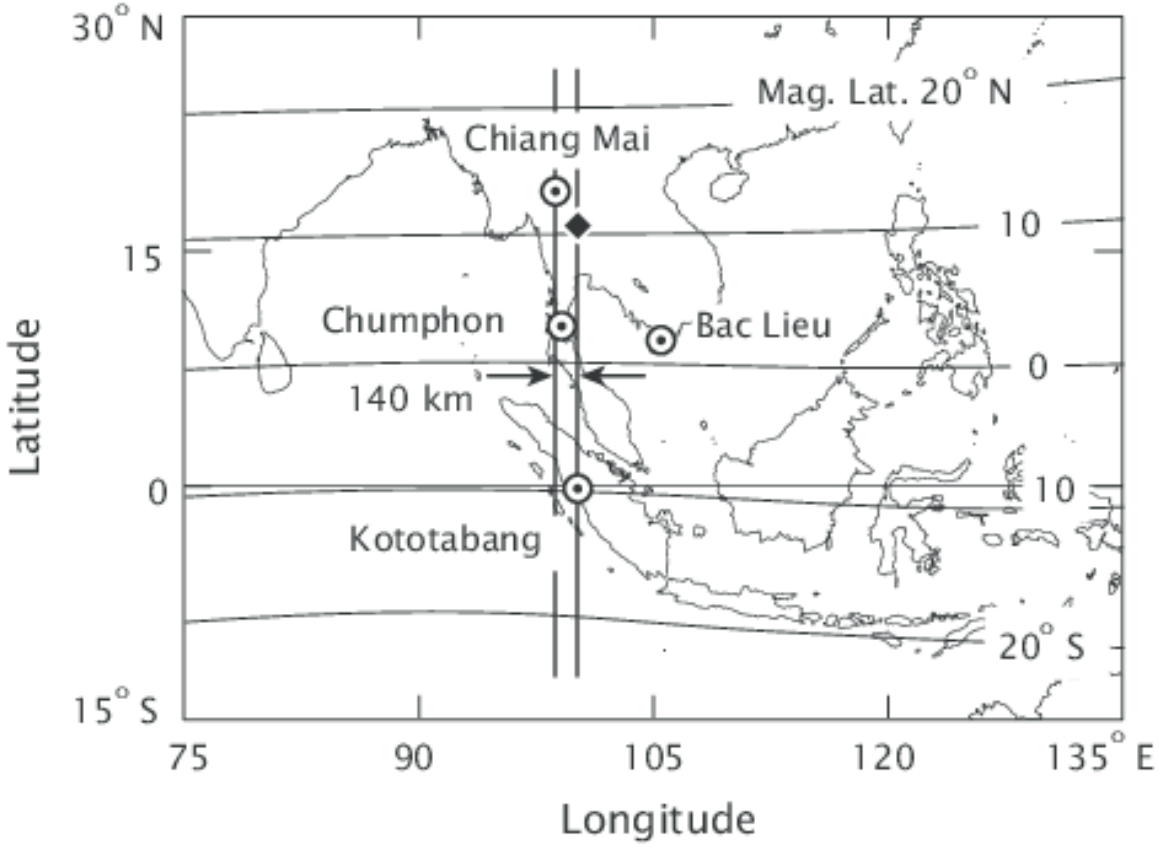
Southeast Asia low latitude ionospheric network (SEALION)

Low latitude ionosphere-thermosphere dynamics studies with inosonde chain in Southeast Asia

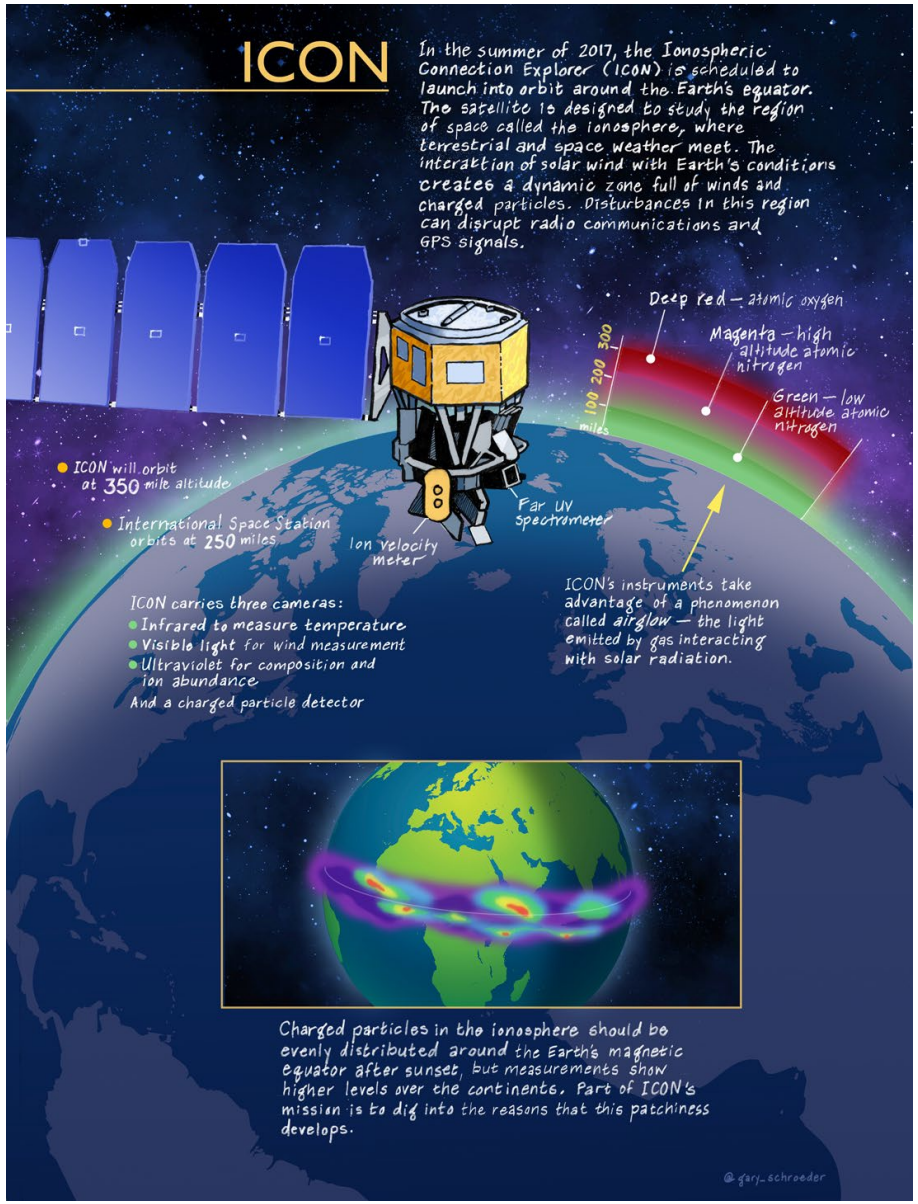
T. Maruyama[1], M. Kawamura[1], S. Saito[1], K. Nozaki[1], H. Kato[1], N. Hemmakorn[2], T. Boonchuk[2], T. Komolmis[3], and C. Ha Duyen[4]

[1]National Institute of Information and Communications Technology, 2-1 Nukui-kita 4-chome, Koganei, Tokyo, 184-8795 Japan
[2]Department of Telecommunications, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 3-2, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
[3]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiangmai 50200, Thailand
[4]Institute of Geophysics, Vietnamese Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Str., Cau Giay, Hanoi, Vietnam

Received: 1 March 2007 – Revised: 6 June 2007 – Accepted: 27 June 2007 – Published: 30 July 2007



ดาวเทียมศึกษา Ionosphere



Quantifying the ionosphere

- Critical frequency → active measuring
- Three common passive method
  - Sunspot numbers: **predict** the level of ionosphere
  - Solar flux index: **measure** the level of ionization
  - Geomagnetic indices: indicate the impact of solar particles on the Earth's magnetic field
- Together these quantities provide a good indication of the current state of the ionosphere and can be used to predict HF propagation

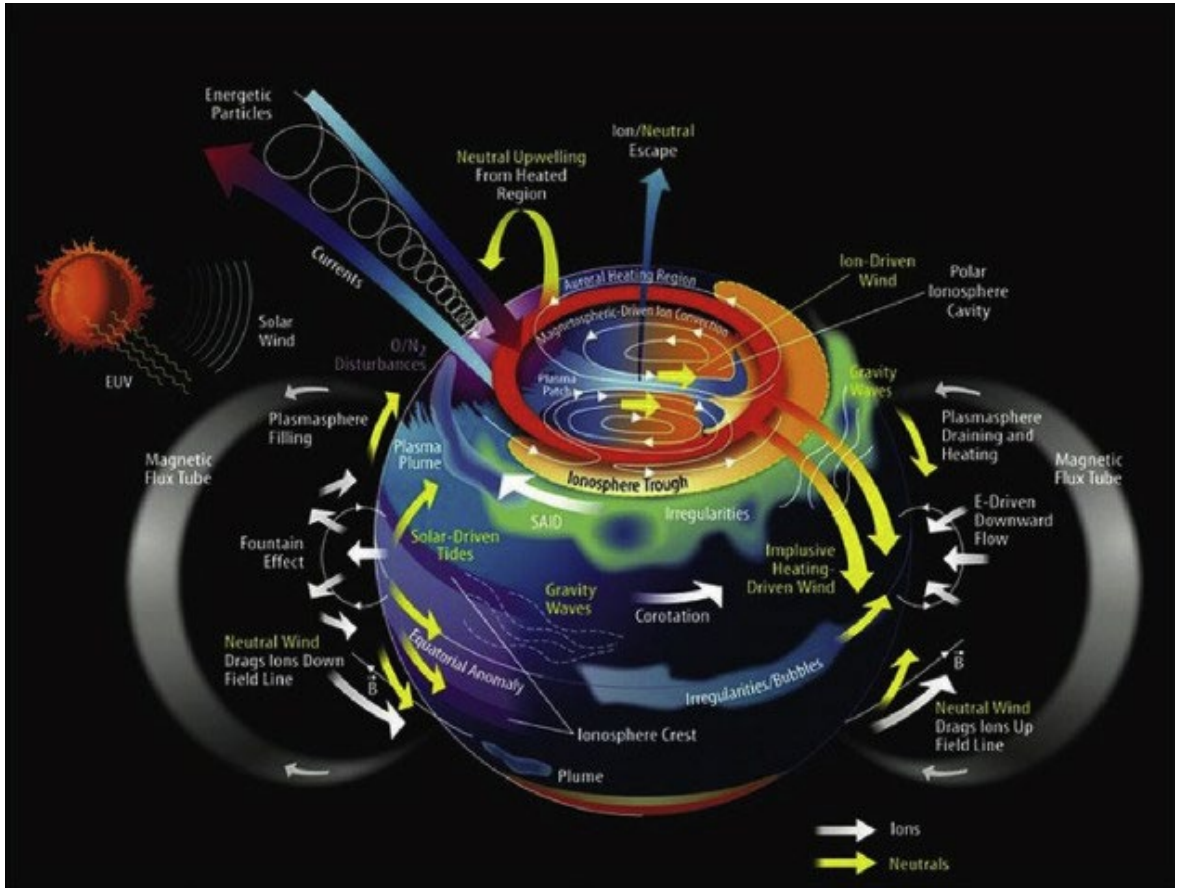


Image: Joe Grebowsky, NASA Goddard Space Flight Center

Sunspot

- จุดเย็นบนดวงอาทิตย์ cooler spot surface region of the sun (3000-6000 k)
- เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กพลังงานสูง
- จำนวนของ sunspot มีความสัมพันธ์กับ Solar activities / Radiation
  - **Sunspots เยอะ = atmospheric ionization เยอะ = HF propagation ดี**
- Sunspot number = 0 - maximum record 250
- Daily measurement
- Record at solar observatories around the world

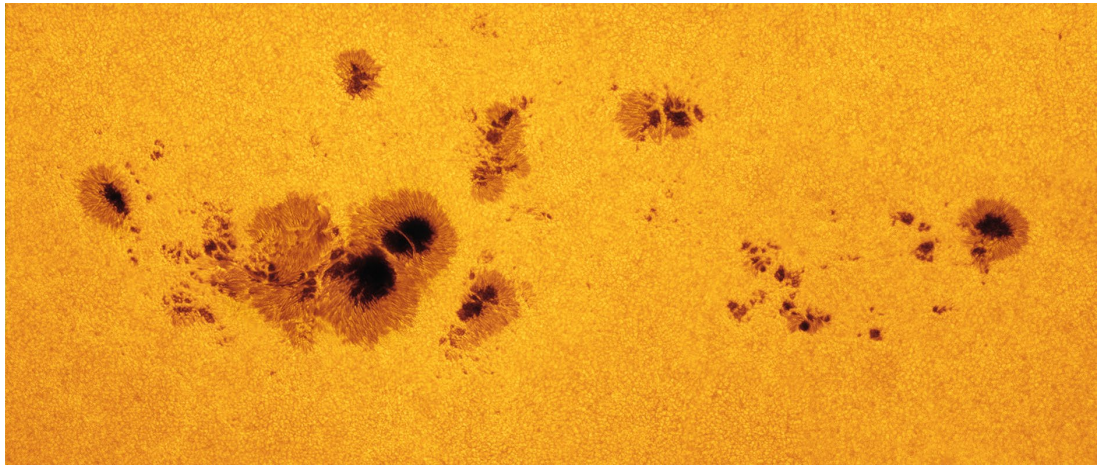
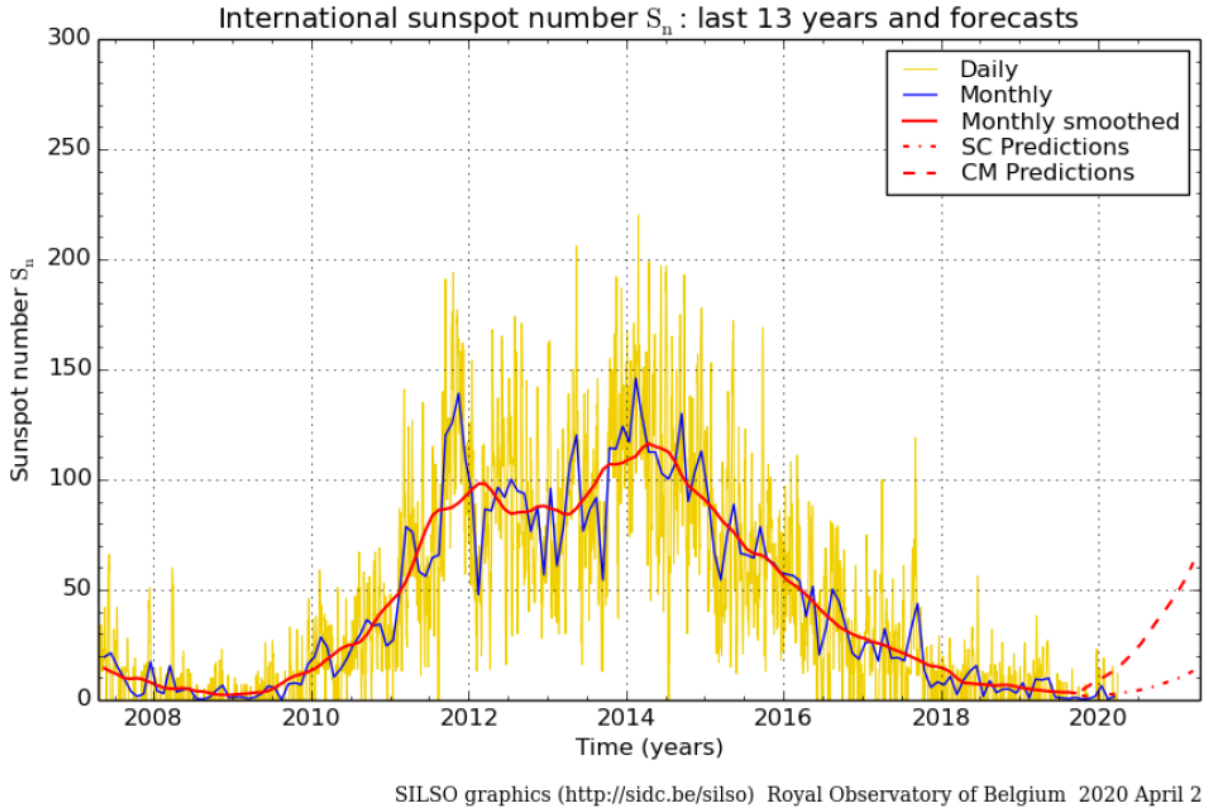


Image: NASA

Solar cycle

- 1 cycle ประมาณ 11 ปี
- At the peak, SSN is about 150,
  HF propagation is very good, even at higher frequencies
- At the bottom, SSN is about 0
  HF propagation is poor, especially at higher frequencies
- **Solar cycle is good for long term prediction**
  of HF propagation → long term = years



Solar flux index (SFI)

- Solar activity วัดด้วย solar noise หรือ flux ที่ 2800 MHz
- เราเรียกมันว่า SFI: Solar flux Index
  - วัดในหน่วย Solar flux units (SFU)
  - ค่าอยู่ในช่วง 50-300
- Solar flux เป็นค่าที่เกิดจากการวัด ไม่ใช่จากการสังเกต ซึ่งจะมีความแม่นยำมากกว่า
- สัมพันธ์กับ SSN
  - SFI = 73.4+0.62*SSN
- SFI สูง → MUF สูง → Better HF propagation

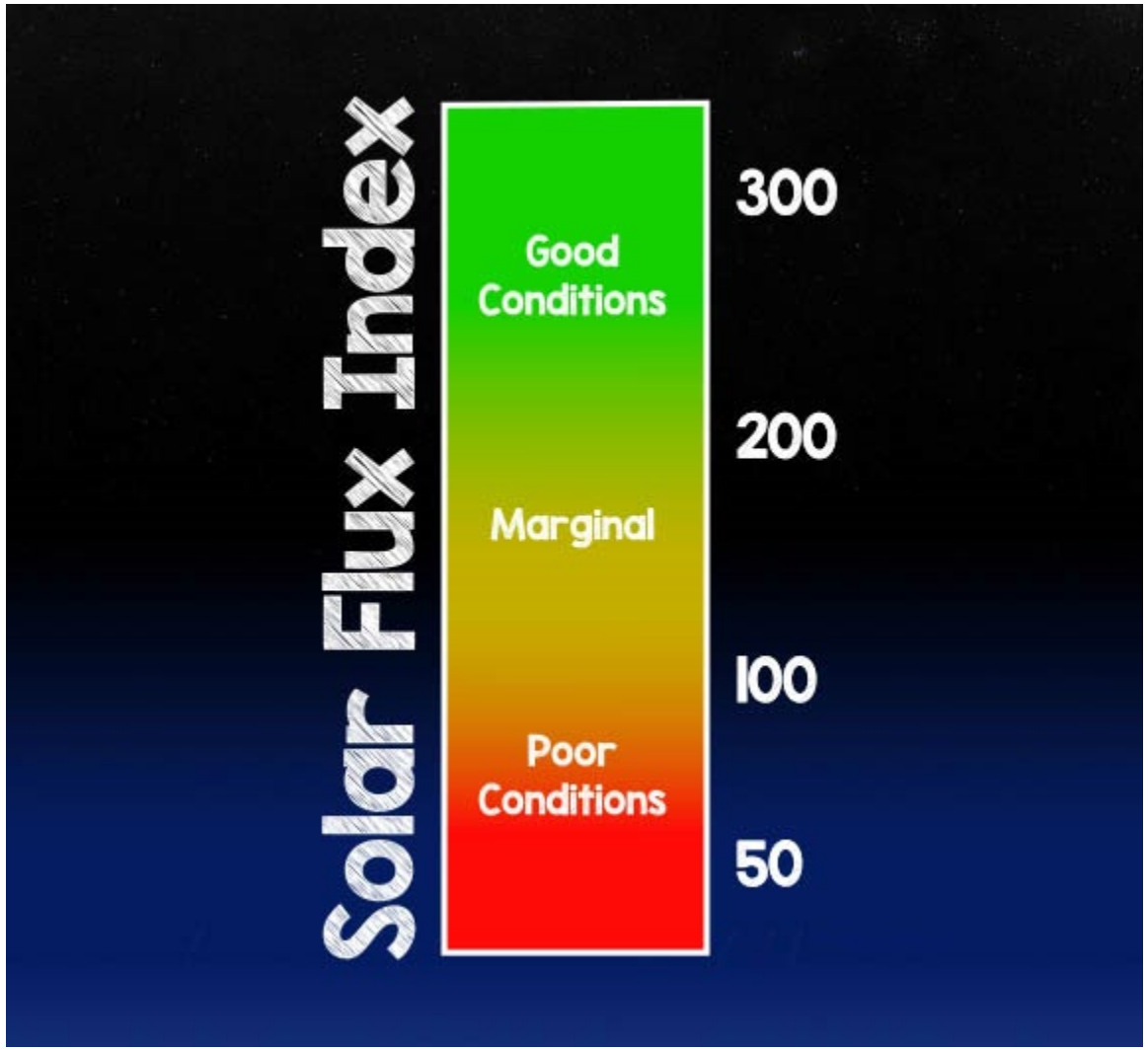
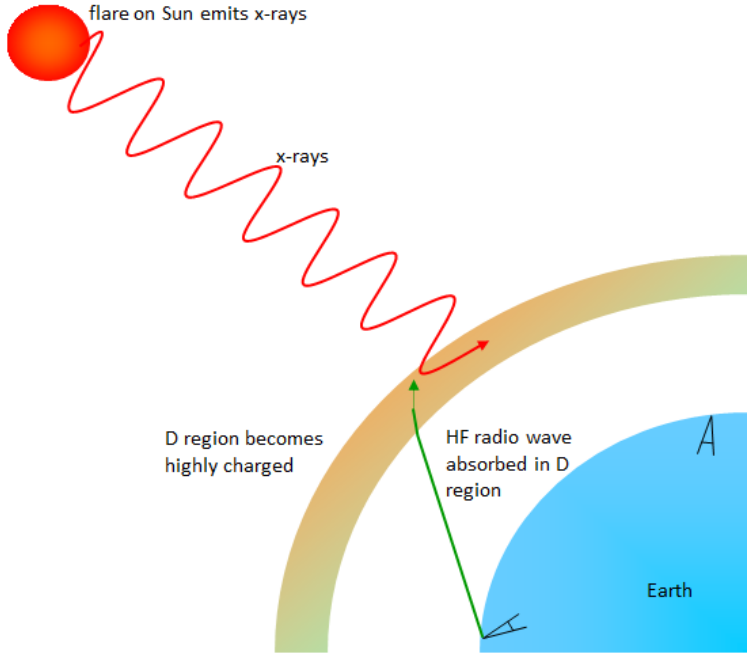


Image: https://3fs.net.au/making-sense-of-solar-indices/

Sudden Ionospheric Disturbances (SIDs)

- การแผ่รังสี X-Ray ขนาดใหญ่จากดวงอาทิตย์ส่งผลเกิดการ Ionization บน D-Layer ทำให้เกิดการดูดซับคลื่นมากขึ้น
- ความถี่ต่ำได้รับผลกระทบเยอะ
  ความถี่สูงได้รับผลกระทบน้อยลงมา
- Solar flare เล็กๆ ช่วยทำให้การสื่อสารที่ HF high frequency ดีขึ้น



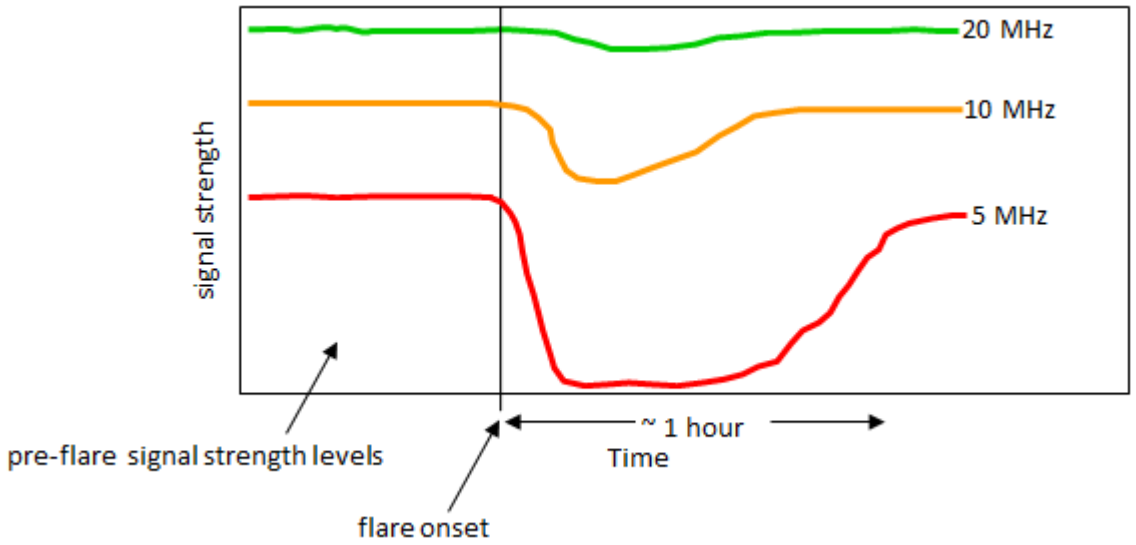
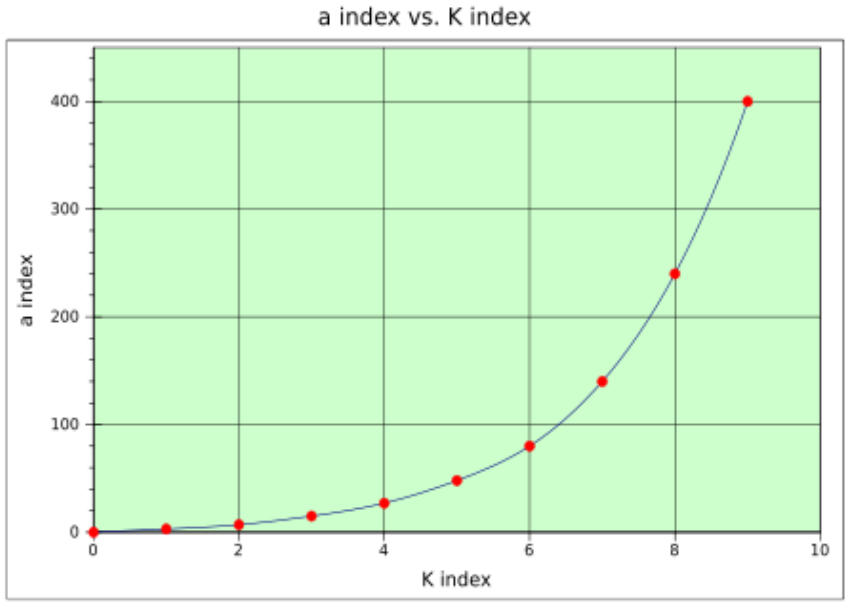


Image: Australian Space Weather Alert System

A and K indices

- A and K values measure magnetic fluctuations caused by ionosphere disturbances such as solar flares
  - Lower values → more stable ionosphere
- Measured at observatories around the planet
  - Local values of A and K can be averaged to product planetary value (Ap and Kp)
- A calculated daily, K measured every 3 hours
  - K indicates a current disturbance
  - A indicated how lone the disturbance has been occurring

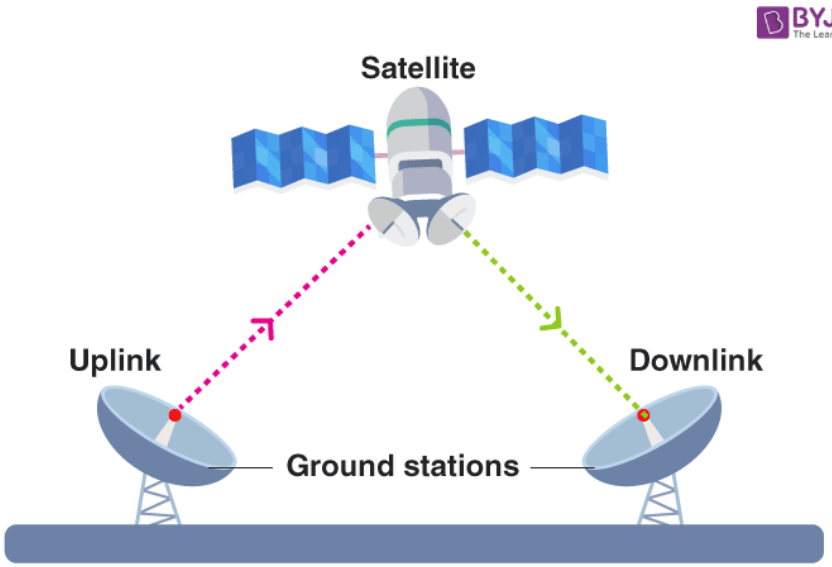


A	K	Conditions
0	0	Quiet
2-3	1	Quiet
4	1	Quiet / unsettled
7	2	Unsettled
15-27	3-4	Active
48	5	Minor storm
60	6	Major storm
132	7	Severe storm
208+	8+	Very severe storm

Image: Rohde & Schwarz

การใช้งานที่ลดลงของย่าน HF

- การสื่อสารดาวเทียมเริ่มมีการใช้งานในช่วงท้ายของทศวรรษ 196(
  - Data rate สูงกว่า
  - ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องฝึกฝนเท่า HF
- อินเตอร์เน็ต
  - Data rate สูงกว่า
  - ใช้งานได้ทันที
  - คลอบคลุมทั่วโลก



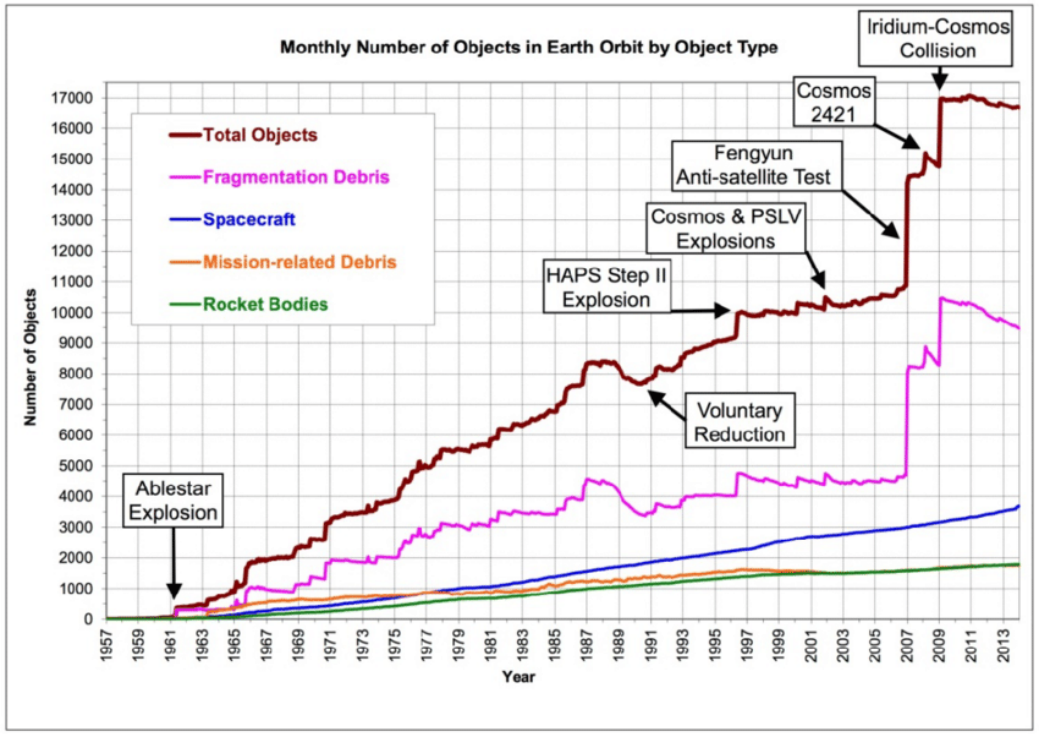
- การใช้งาน ทุน/งบ สนับสนุน HF ลดลง ทำให้ส่งผลให้การพัฒนาบุคลากรและความรู้ลดลง

จุดอ่อนของดาวเทียม

- Anti-satellite System
  - Ground-base
  - Air-or space-based “kill vehicles”
- Susceptible to jamming
  - Satellite not frequency-agile
- Solar storms or space weather
  - Disrupt and Damage Satellites
- Lack of polar cover
  - Not all constellation cover the poles
- Terrain can block signals
  - Mountain, Jungle, etc.

ASM-135 ASAT

Image: US Air Force



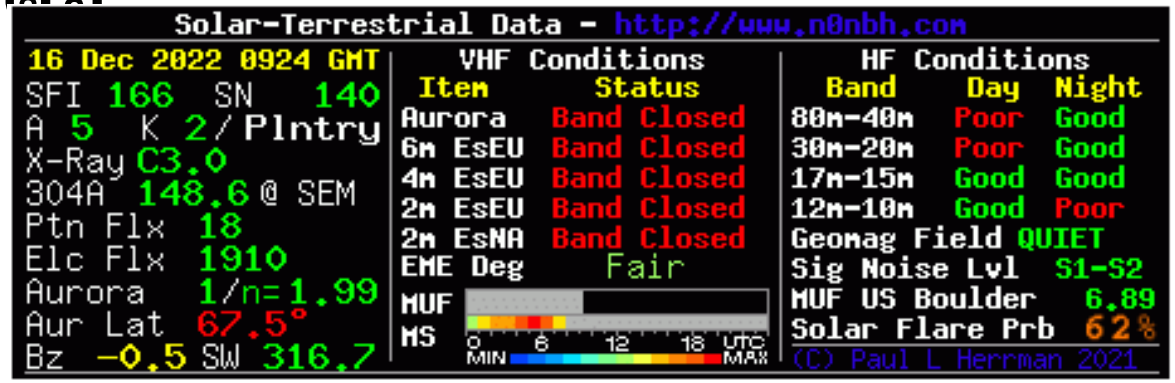
ทำไมยังใช้ HF

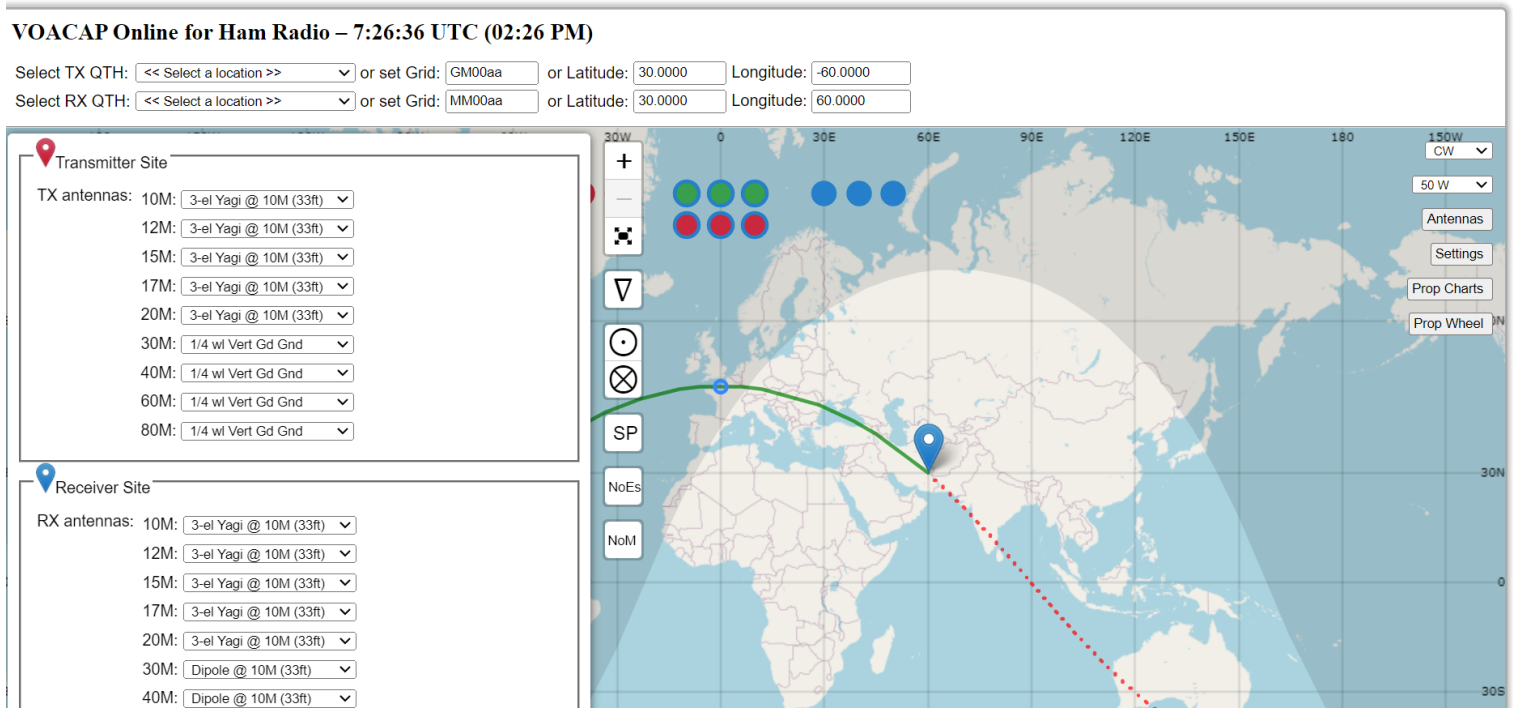
- ยังมีความต้องการการสื่อสารแบบทั่วโลกอยู่
  - ต้องระบบสื่อสารสำรอง
- จุดเด่นของ HF
  - ครอบคลุมทั่วโลก
  - ไม่ต้องมี Infrastructure
  - ถูกกว่าดาวเทียม
  - ทนทานต่อการโจมตี (Robust against attacks)
  - ทนทานต่อการรบกวน ก่อกวน (Robust against jamming)

Image: HS0AC

การพัฒนาความพร้อมในการติดต่อ

- ความรู้ในการเลือกใช้ความถี่ในแต่ละช่วงเวลา
- การฝึกฝนและประสบการณ์ของผู้ใช้งาน
  - เครื่องมือช่วยพยากรณ์ Propagation VOACAP





สรุป

- การติดต่อกับทั่วโลกใช้คลื่นฟ้า Skywave
- ไอออไนเซชันจะเพิ่มขึ้น
  - ในช่วงกลางวัน
  - เมื่อ Sunspot เพิ่มขึ้น
- Solar event ซึ่งคาดเดาไม่ได้ มีผลกับชั้นบรรยากาศ
  - Solar flare
  - Coronal mass ejections
- SSN, SFI, and A/K index ใช้ในการบอกสถานะของชั้นบรรยากาศ Ionosphere

Resource

- **Australian Space Weather Alert System**
- ARRL
- RAST
- Rohde & schwarz educational note