

# Teledetecție

## 1. Definiție și concepte

O definiție generală a teledetecției<sup>1</sup> (TD) este: *puterea de a ști ce este un obiect fără a fi în contact fizic cu el* (Sabins, 1978). Inclusiv vederea umană se încadrează la această definiție, dar și metode din geofizică. O definiție mai apropiată de realitate este: colectarea de date de la distanță (fără a fi în contact direct cu obiectele) cu ajutorul unor senzori care sunt montați pe diverse platforme (avion, satelit, dronă, balon, zmeu, stâlp, platformă suspendată). Foarte frecvent se utilizează și termenul de observație terestră<sup>2</sup> (OT), deși la ora actuală există sisteme de teledetecție și pentru alte planete. Focusul pe observația terestră, este și scopul acestui curs, dedicat geografilor, în care se vor detalia aspecte specifice observațiilor terestre cu aplicații în geomorfologie, hidrologie, climatologie/meteorologie, biogeografie și geografia solurilor.

La întrebările de ce este observația terestră prin teledetecție utilă și de ce este nevoie de dezvoltarea acesteia și în viitor, se poate răspunde astfel:

- TD pentru OT produce date pentru suprafețe foarte mari, cu acoperire uniformă, care nu se pot obține prin metode convenționale de măsurători prin rețea de senzori;
- TD pentru OT produce date directe doar pentru suprafața terestră în sine și nu pentru niveluri din adâncimea scoarței terestre sau din atmosferă, ceea ce poate fi perceput ca o limitare a RD; cu toate acestea cuplarea măsurătorilor din rețele de senzori care măsoară și aceste aspecte, cu datele de TD poate extinde disponibilitatea datelor

---

<sup>1</sup> În limba engleză se utilizează termenul Remote Sensing (RS)

<sup>2</sup> Earth Observation - EO

obținute de ambele metode; în același timp datele din rețele de senzori sunt utilizate la calibrarea datelor de TD;

- Ca și rețelele de senzori, datele de TD au caracter repetitiv, punând la dispoziție serii de date temporale;
- Foarte frecvent, pe aceeași platformă de TD sunt utilizați senzori multipli, sau același senzor achiziționează date pe canale multiple, ceea ce depășește capacitățile unei rețele de senzori;
- Pentru anumite aspecte ale Terrei, datele de TD sunt singurele care pot da o imagine validă, deoarece rețele de senzori nu pot fi menținute (cazul mediilor ostile sau slab populate), iar cel mai adesea chiar pot înlocui rețele de senzori când relația cost-beneficiu este în favoarea TD (cazul fotogrammetriei care a înlocuit măsurătorile terestre și a altimetriei laser/RADAR care înlocuiește fotogrammetria pentru cartarea altitudinilor);
- Datele de TD sunt arhive care pot reprezentate la un moment dat surse importante pentru studii care nu au fost anticipate;

Aplicațiile TD sunt foarte variate, dar la nivelul OT se pot separa o serie de domenii distincte de monitorizare și aplicație:

- Monitorizarea atmosferei pentru meteorologie și climatologie;
- Monitorizarea uscatului suprafeței terestre pentru meteorologie, climatologie, geologie, geomorfologie și utilizarea terenului;
- Monitorizarea hidrosferei pentru hidrologie;
- Monitorizarea oceanelor pentru meteorologie, climatologie, oceanografie;

Teledetecția nu este neapărat o știință ca atare, ci mai degrabă un cumul de metode variate de investigație la distanță, pe lângă utilizarea spectrului electromagnetic, fiind utilizate și unde sonore sau alte tipuri de unde elastice, sau chiar magnetismul. Unii autori fac distincție între metodele de prospectare geofizică (Sabins și al., 2002) și teledetecție pe baza faptului că aceste metode (seismice, electrice, magnetice, gravimetrice) măsoară câmpuri de forță și nu neapărat energie electromagnetică. Cu toate acestea, sonarul este considerat metodă de teledetecție.

Teledetecția ca activitate științifică are mai multe ramuri:

- Achiziția datelor: tehnologia electro-optică și satelitară;
- Procesarea datelor: primirea și procesarea datelor brute și transformarea lor în imagini;
- Interpretarea datelor: utilizarea imaginilor în identificarea interacțiunii dintre materie și energie electro-magnetică, funcție de proprietățile acestora.

### Întrebări

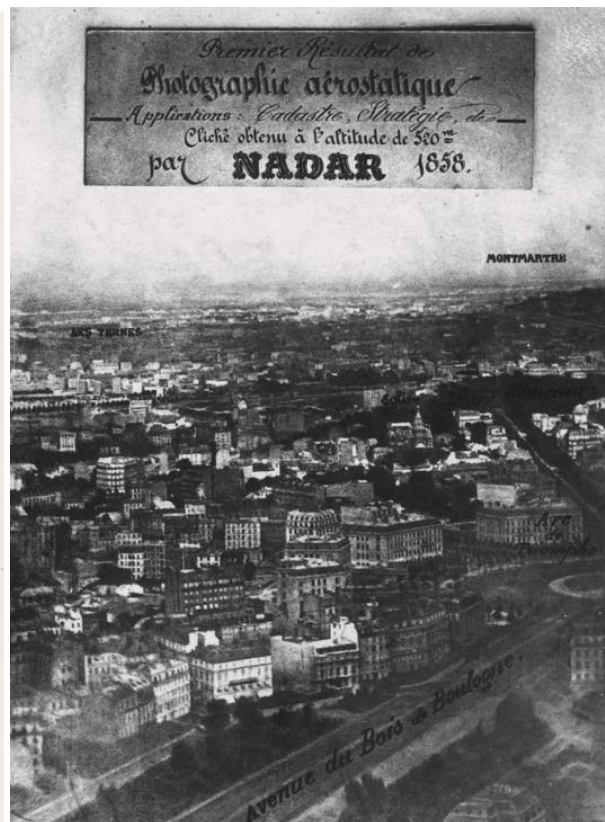
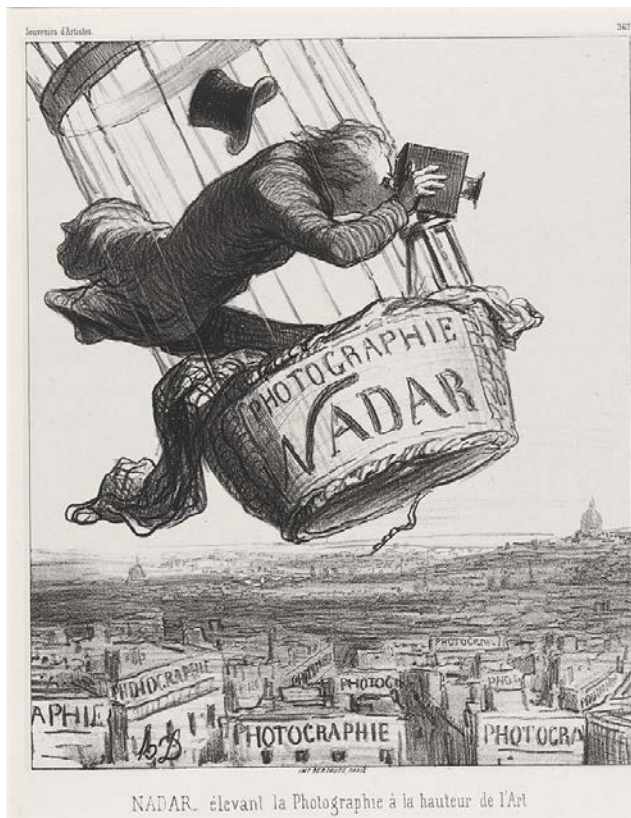
1. **Experiența d-voastră a inclus utilizarea aparatelor fotografice analoge sau digitale?**
2. **Dacă da, puteți explica sintetic care este tehnologia din spatele fotografierii?**
3. **Dacă nu, puteți să explicați logica unor sisteme precum GPS, RADAR sau ecolocația animalelor?**

### Posibile întrebări pentru evaluare

1. **Care sunt beneficiile teledetecției pentru observația terestră?**
2. **Care sunt limitările teledetecției pentru observația terestră?**
3. **Care este relația dintre teledetecție și măsurătorile in-situ (în rețea sau punctuale)?**

## 2. Istoric

Istoric vorbind, apariția camerei fotografice a deschis calea către teledetecție, aceasta fiind montată pe platforme aeriene (porumbel, balon, avion), la mijlocul sec. XIX. Primele fotografii de succes au fost produse la începutul anilor 1800 de inventatorul francez Nicéphore Niépce. La scurt timp după dezvoltarea fotografiei, oamenii au devenit interesați să facă fotografii aeriene. Cele mai vechi fotografii aeriene au fost făcute din baloane. În 1850, Gaspard-Félix Tournachon, mai cunoscut sub pseudonimul său Nadar, a surprins prima fotografie aeriană. Folosind un balon cu aer cald, Nadar a realizat prima fotografie aeriană de succes a unui sat francez în 1858, dar nu a rămas nici o copie până astăzi. Cea mai veche imagine aeriană a lui Nadar care a supraviețuit a fost luată dintr-un balon deasupra Parisului tot în 1858. În Boston în 1860 James Wallace Black a realizat imagini similare din balon de la 500 m altitudine.



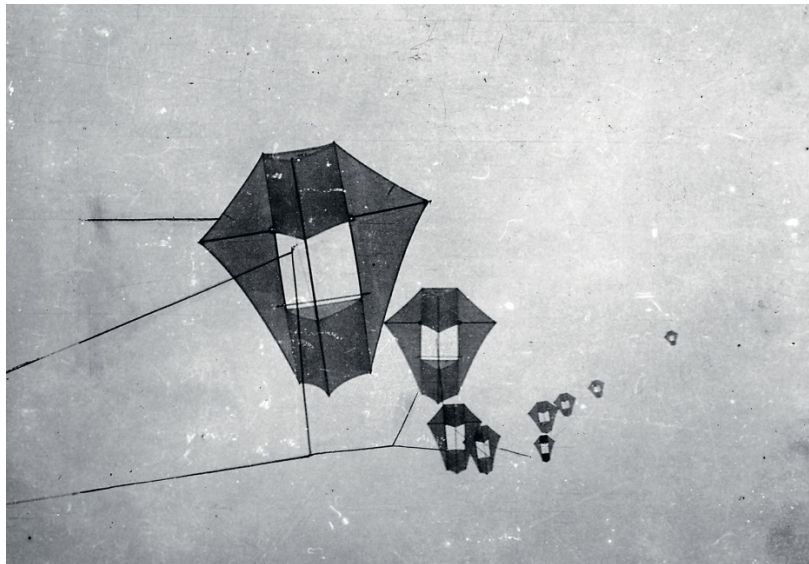
*Imagini de teledetecție obținute de fotograful parizian Nadar (1858)*



<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/283189>

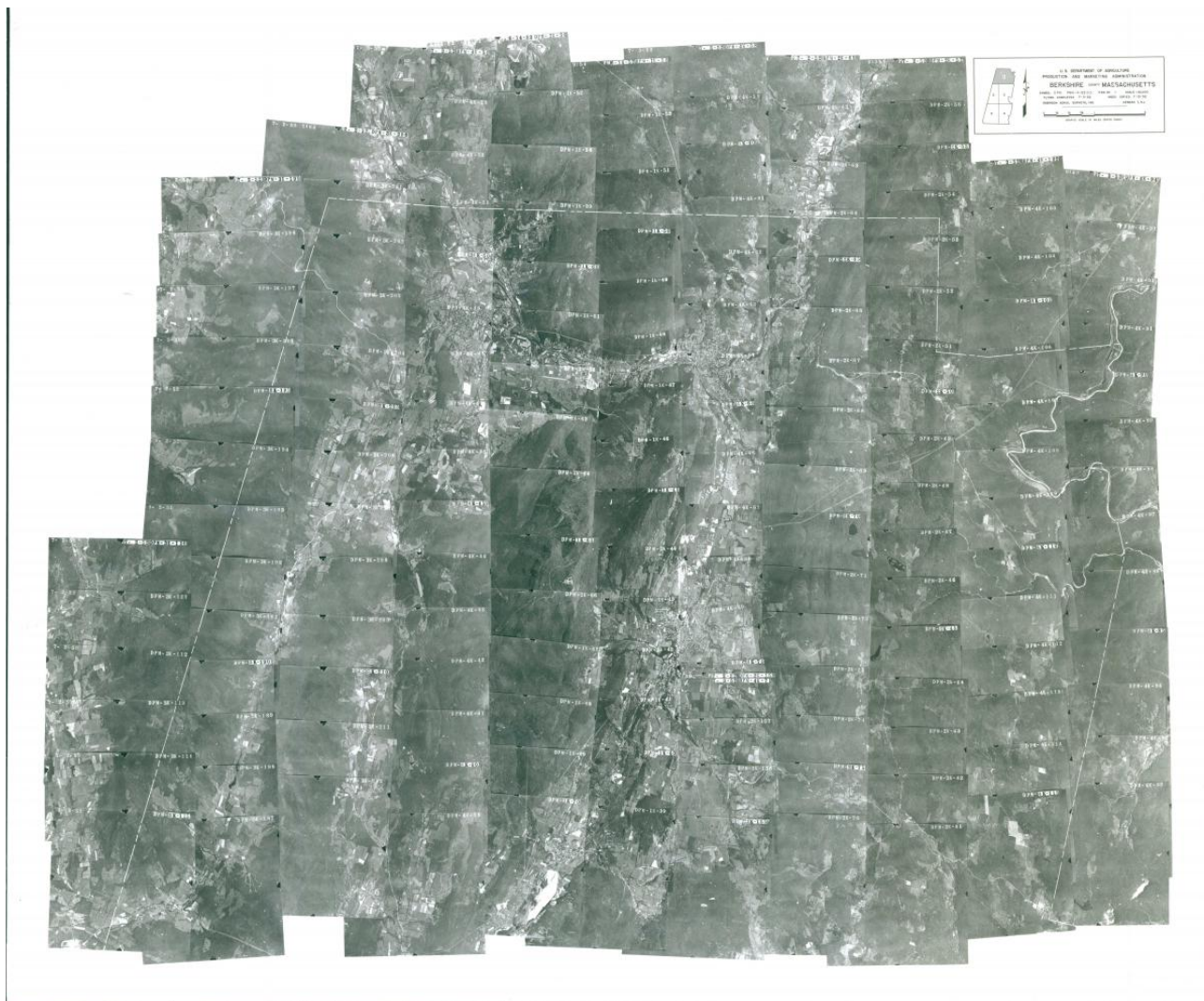
La începutul secolului XX, imaginile de teledetecție au fost capturate folosind zmee și chiar cu camere montate pe porumbei. În Europa, porumbeii călători erau deja utilizați în comunicațiile militare, iar recunoașterea aeriană era o aplicație atrăgătoare. Camerele mici și ușoare au fost atașate

păsărilor și fotografiile au fost făcute automat folosind un mecanism de sincronizare. Fotografia cu porumbei a avut succes, dar nu a devenit folosită pe scară largă datorită dezvoltării rapide a tehnologiei aviației.



*La doar trei săptămâni după cutremurul din 1906, fotograful profesionist George Lawrence a realizat fotografia „San Francisco în ruine”, cu o cameră la aprox. 400 m deasupra golfului ridicată cu un tren de zmee.*

Primele fotografii aeriene făcute dintr-un avion au fost în 1909, de Wilbur Wright. Până în primul război mondial, camerele montate pe avioane au oferit vederi aeriene ale suprafețelor mari care s-au dovedit neprețuite în recunoașterea militară, dar și în agricultură. FSA (Farm Service Agency) a început un program de aerofotografiere aeriană, care a fost continuat după 1950 de USDA, iar la ora actuală prin programul NAIP (National Agriculture Imagery Program).



*Exemplu de index al fotografiilor aeriene achiziționate de Departamentul de Agricultură al SUA*

<https://www.archives.gov/research/cartographic/aerial-photography/rg-145-fsa-aerial-photography-sl25>

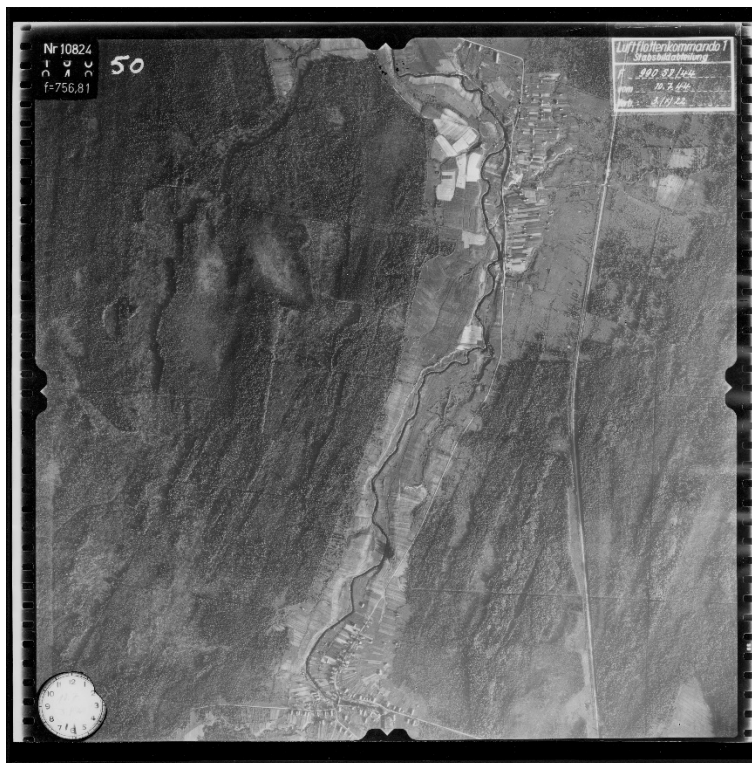
Până în al Doilea Război Mondial și în timpul acestuia, avioanele erau echipate în mod obișnuit cu camere, atât forțele aliate cât și cele naziste utilizând imagini aeriene și oblice pentru misiuni de recunoaștere.

În timpul Războiului Rece, utilizarea recunoașterii aeriene a crescut cu aeronavele U-2 zburând la o altitudine foarte mare (90-100 km) pentru a captura imagini.

Fotografia aeriană a crescut rapid după război și a fost în curând folosită pentru o varietate de scopuri. Aceste noi fotografii au oferit oamenilor o perspectivă realistă asupra lumii pe care puțini o văzuseră înainte. Fotografia aeriană a fost o modalitate mult mai rapidă și mai ieftină de a produce hărți în comparație cu sondajele tradiționale la sol.



*Imagine aerină surprinsă de Armata aliată în timpul celui de-al Doilea Război Mondial cu orașul București*



*Imagine aerină germană din timpul celui de-al Doilea Război Mondial reprezentând un areal din zona Leningrad*



În Statele Unite, fotografia aeriană a fost folosită pentru programele agricole începând cu era Dust Bowl din anii 1930, odată cu adoptarea Legii de ajustare a agriculturii. Agenția cunoscută atunci sub numele de Agricultural Adjustment Administration (AAA) și-a început programul de fotografiere aeriană în 1937, iar până în 1941 AAA a zburat și a achiziționat fotografii aeriene de peste 90% din terenul agricol din SUA.

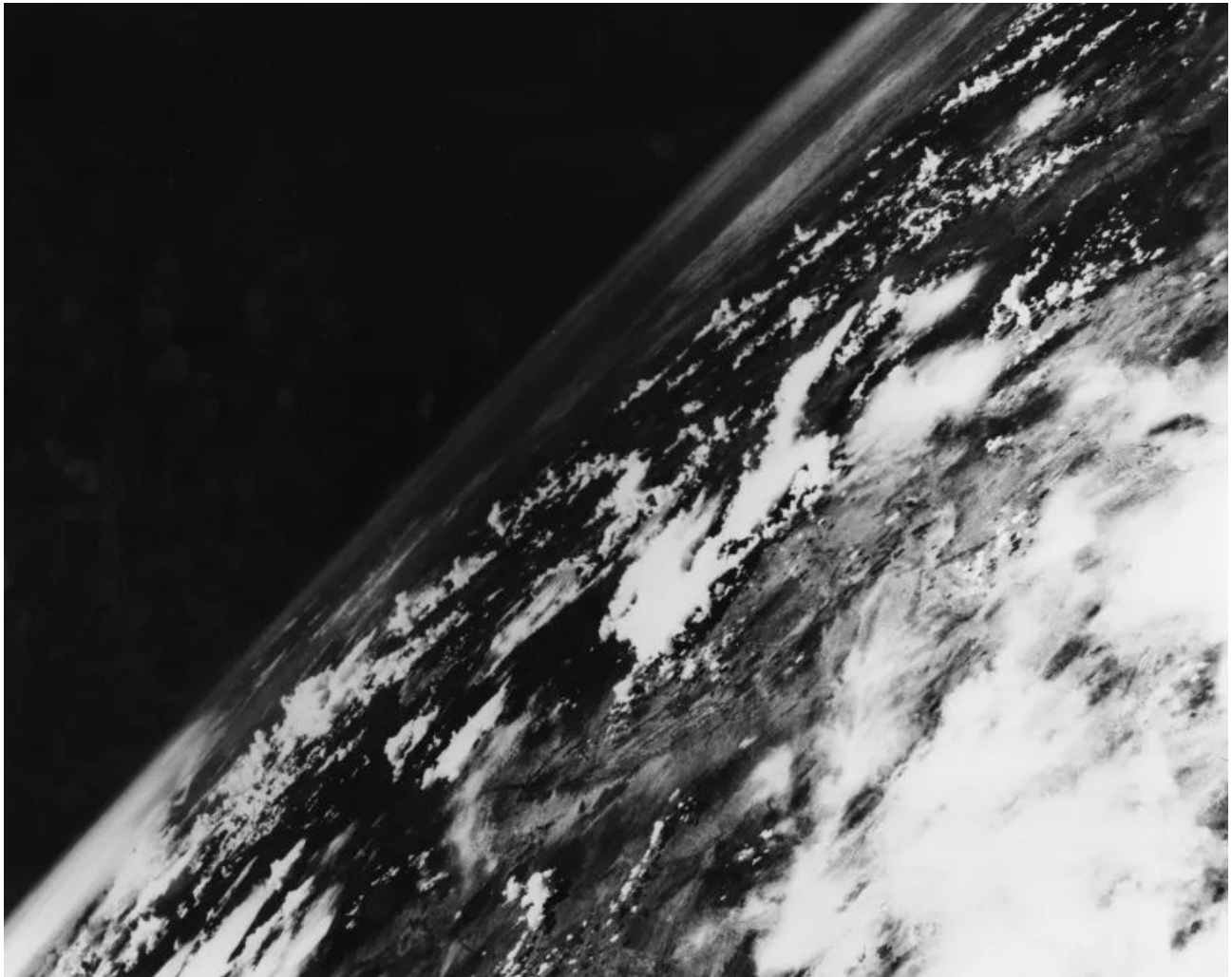


*Imagine aeriană color (una dintre primele) obținută dintr-un bombardier Lockheed U2, cu o locație de rachete sovietice SA-2 din Cuba (10 noiembrie 1962)*  
<https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/nasm-9a09002amjpg>

Programul de fotografie aeriană al Departamentului de Agricultură a devenit un instrument de conservare și amenajare a teritoriului, precum și un instrument de măsurare corectă și precisă. De

atunci, agențiile agricole au fost consolidate și sunt acum cunoscute sub numele de Farm Service Agency (FSA). FSA este în continuare responsabilă pentru programele de imagini aeriene din SUA. Fotografia aeriană a rămas instrumentul principal pentru înfățișarea suprafeței Pământului până la începutul anilor 1960.

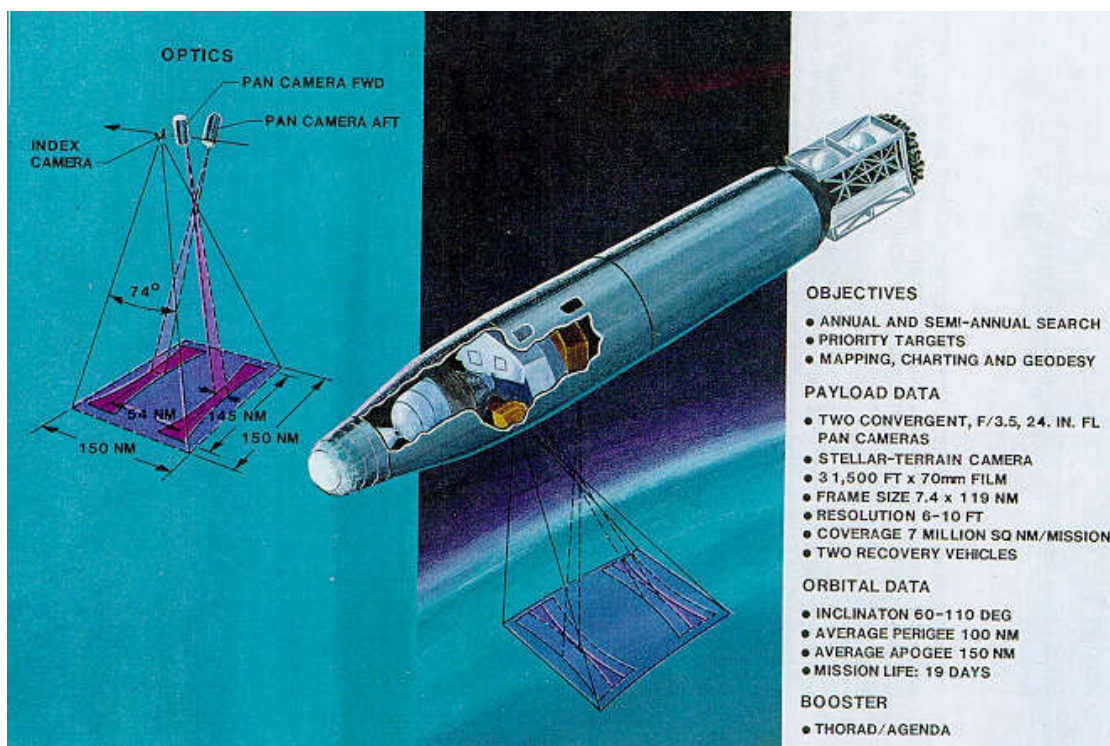
În timpul și după cel de-al Doilea Război Mondial mai ales (în perioada cunoscută ca Războiul Rece), camerele au fost montate pe rachete sau sateliți (Sputnik 1 și programul Corona).



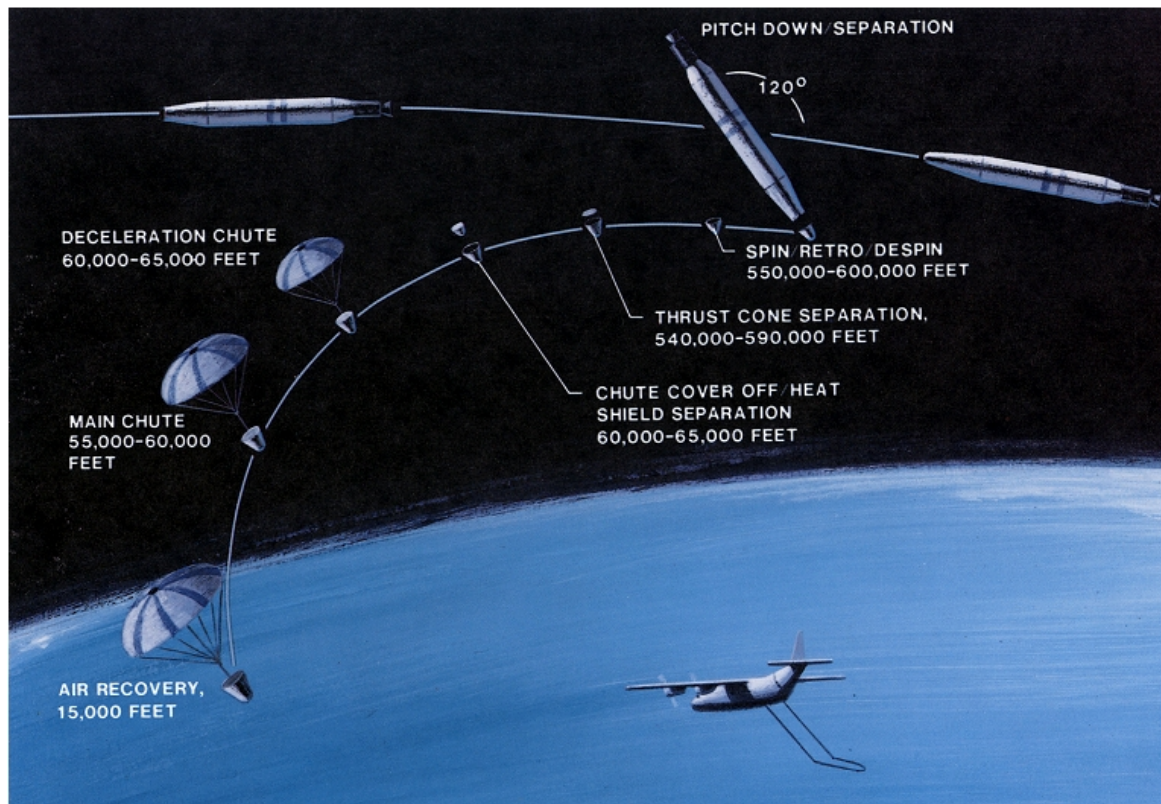
Prima fotografie a pământului din spațiu a fost realizată în 24 octombrie 1946 de la aprox. 99 km altitudine de către o cameră de 35mm montată pe o rachetă V-2 confiscată de la naziști și lansată din White Sands Missile Range, New Mexico. Inginerul engineer Clyde Holliday care lucra pentru Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory este cel care a montat camera.

În 1957, Uniunea Sovietică a lansat Sputnik 1, primul satelit artificial al Pământului. Oficial, Sputnik a fost lansat pentru a corespunde cu Anul Geofizic Internațional, o perioadă solară pe care Consiliul Internațional al Uniunilor Științifice a declarat-o că ar fi ideală pentru lansarea de sateliți artificiali pentru a studia Pământul și sistemul solar. Cu toate acestea, lansarea a dus la îngrijorarea publicului cu privire la decalajul tehnologic perceput între Occident și Uniunea Sovietică. Succesul neașteptat al misiunii a precipitat criza Sputnik și l-a determinat pe președintele Dwight D. Eisenhower să autorizeze programul Corona, un program de recunoaștere de primă prioritate, gestionat în comun de Forțele Aeriene și CIA. Sateliții au fost dezvoltați pentru a fotografia zonele interzise din spațiu, pentru a oferi informații despre capacitatea rachetelor sovietice și pentru a înlocui zborurile riscante de recunoaștere U-2 deasupra teritoriului sovietic.

Programul Corona este reprezentat de o serie de sateliți de recunoaștere strategici americani produși și operați de Direcția de Știință și Tehnologie a Agenției Centrale de Informații (CIA) cu asistență substanțială din partea Forțelor Aeriene ale SUA. Sateliții CORONA au fost utilizați pentru supravegherea fotografică a Uniunii Sovietice (URSS), a Chinei și a altor zone începând din iunie 1959 și s-a încheiat în mai 1972. Sateliții utilizați au fost Discoverer, Corona (KH-1, KH-2, KH-3, KH-4, KH-4A, KH-4B), Argon (KH-5), Lanyard (KH-6).



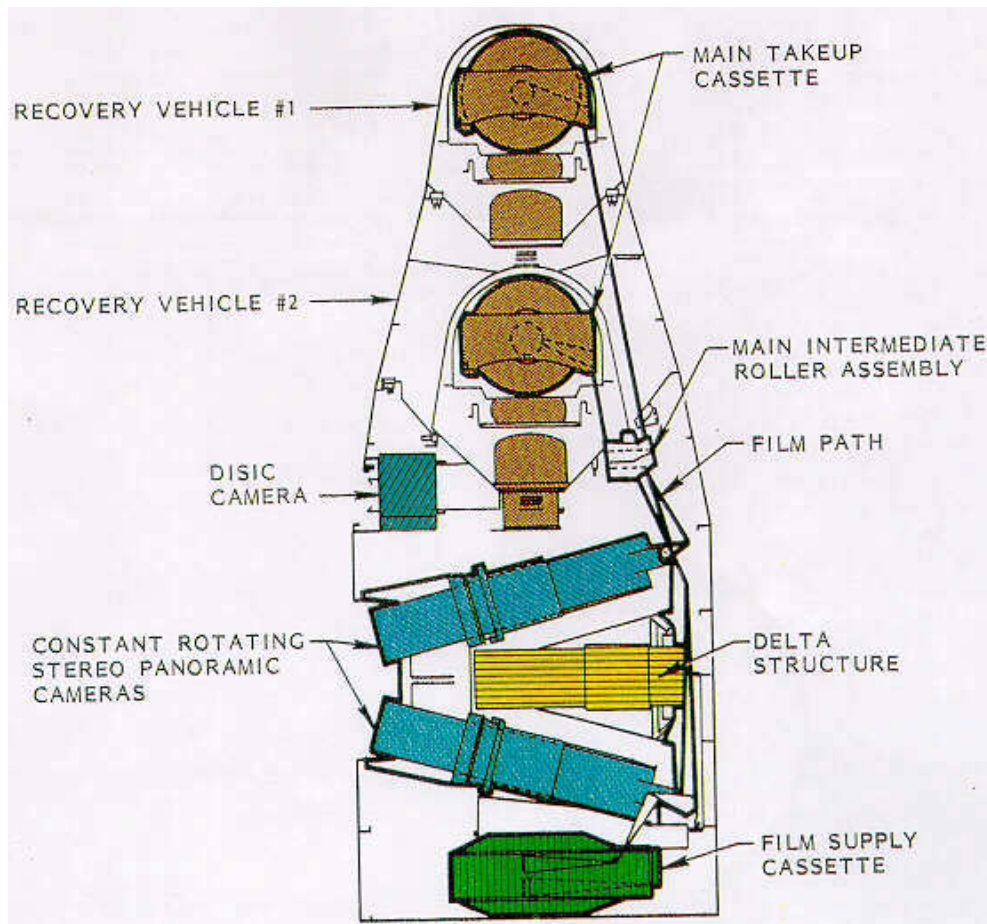
Sateții CORONA au folosit camere fotografice cu film de 70 mm film și distanță focală de 24 in (610 mm) produse de Eastman Kodak. Filmele fotografice aveau o rezoluție de 170 linii pe mm (0.04 inch) de film (cele mai bune filme utilizate pentru imagini aeriene în al doilea Război Mondial aveau o rezoluție de 50 linii pe mm de film. Cantitatea de film a fiecărui satelit a crescut în timp de la 2 400 m la 9 800 m. Filmul era stocat într-o canistră care era recuperată ulterior cu ajutorul unui avion.



Putem spune că baza teledetecției este reprezentată de utilizarea camerei fotografice.

Termenul „detecție la distanță” este un termen relativ nou și a fost folosit pentru prima dată pentru a descrie domeniul în anii 1950 în SUA de către geografa Evelyn Pruitt și Walter Bailey de la U.S. Office of Naval Research<sup>3</sup>, care a menționat termenul într-un raport nepublicat, și a organizat prima conferință științifică pe această temă.

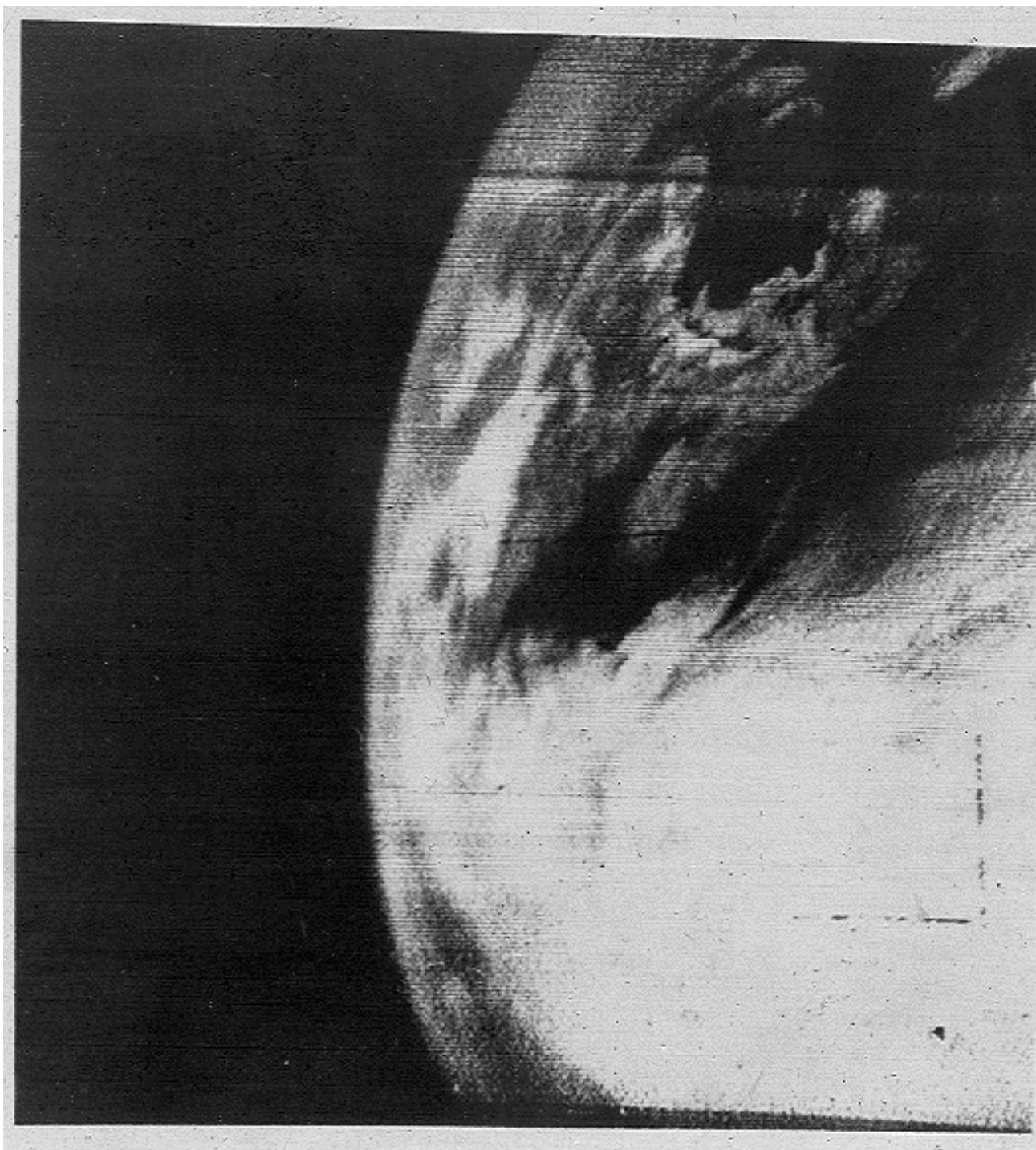
<sup>3</sup> Fussell J, Rundquist D, Harrington Jr JA (1986) On defining remote sensing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(9), 1507-1511.



Ulterior, pe baza observației că din spectrul electromagnetic, au fost utilizate doar spectrul vizibil și cel infraroșu apropiat (VNIR), după anii 1960 au început să apară platforme specifice, care au utilizat și alte părți ale spectrului, cum ar fi infraroșu și microundele:

- Satelitul Explorer VII (1959) a măsurat cantitatea de căldură emisă de Terra;
- În 1960 Satelitul Meteorologic TIROS 1 (Television and Infrared Observation Satellite) a fotografiat pentru prima dată imagini cu nori;
- Sistemul de alarmă antirachetă (MIDAS), o parte a unui program al Forțelor Aeriene ale SUA care a început la sfârșitul anilor 1950 pentru a furniza avertizare timpurie a unui atac sovietic cu rachete, a inclus sateliți Seria III concepuți pentru a detecta și urmări gazele fierbinți de eșapament ale rachetelor la lansare și în timpul fazei de impuls, date transmise stațiilor de la sol pentru a avertiza cu până la 30 de minute despre un atac; acest satelit în mai 1963 a devenit primul senzor spațial care a detectat cu succes lansarea unei rachete;

- Apollo 9 a folosit o cameră cu patru lentile pentru a obține primele imagini multispectrale;
- Landsat 1 (Earth Resources Technology Satellite) a fost lansat în 1972 de NASA cu scopul de obține date de observație terestră prin teledetecție la nivel global;
- Satelitul Nimbus-7 (1978) a purtat senzorul Total ozone Mapping Spectrometer, identificând gaura de ozon de deasupra Antarcticii;
- Din 1977 sateliții Meteosat achiziționează imagini globale ale parametrilor meteorologi la fiecare 30 de minute;
- Din 1975 sateliții NOAA (de tip GOES și NOAA) obțin imagini zilnice privind parametrii meteorologici la nivel global;



*Imaginea TIROS I de pe 1 aprilie 1960 (prima imagine TV a Pământului din spațiu)*

La ora actuală sunt active o serie de misiuni satelitare de observație terestră ale căror produse pot fi utilizate în scopul observațiilor terestre:

- Sentinel-1A este lansat în 2014, iar la ora actuală sunt pe orbită 8 sateliți;

- CubeSats, sateliți cubici de 10 cm și 2,2 kg care pot purta diverse platforme de teledetecție;
- Planet Labs cu rețeaua lor de sateliți poate achiziționa zilnic imagini asupra oricărui colț de pe Terra.

### **Întrebări**

- 1. Experiența d-voastră a inclus utilizarea aparatelor fotografice analoge sau digitale?**
- 2. Dacă da, puteți explica sintetic care este tehnologia din spatele fotografierii?**
- 3. Dacă nu, puteți să explicați logica unor sisteme precum GPS, RADAR sau ecolocația animalelor?**

### **Posibile întrebări pentru evaluare**

- 1. Care au fost platformele de teledetecție de-a lungul timpului?**
- 2. Care au fost aplicațiile teledetecției în trecut?**
- 3. De ce este teledetecția destul de tânără ca tehnologie?**



### 3. Bazele fizice

Pentru a reprezenta o metodă de teledetecție trebuie să existe patru condiții (Sabin și al., 2020):

- Un instrument care măsoară un semnal trebuie să fie montat pe o platformă, iar măsurătoarea trebuie să fie standardizată, predictibilă și cu erori definite;
- Semnalul de la senzor la obiect trebuie să se propage liber, cu interacțiuni minime cu mediul de propagare și trebuie să aibă o manifestare predictibilă;
- Între semnal și obiect trebuie să existe o interacțiune definită de procese precum emisie, reflecția, refracție, difuzie, scintilație, propagare;
- Semnalul trebuie și să poată fi recepționat și identificat neambiguu precum o semnătură, astfel încât să se poată face o transformare a semnalului de la senzorul calibrat într-o proprietate a obiectului, operațiune denumită inversiune.

Orice metodă de teledetecție trece printr-o etapizare care trebuie să ducă la optimizarea tehnologiei și demonstrarea aplicabilității sale. Se pornește de la un experiment, prin care se determină parametri ai unui obiect și se validează tehnologia senzorului prin care aceștia pot fi estimați. Urmează procesul de producție al tehnologiei, care să funcționeze în scopul și pe durata misiunii, lansarea acesteia, validarea cu date măsurate și aplicarea pentru a valida utilitatea.

Bezele fizice ale teledetecției au legătură cu radiația electromagnetică și interacțiunea ei cu gazele, lichidele și solidele.

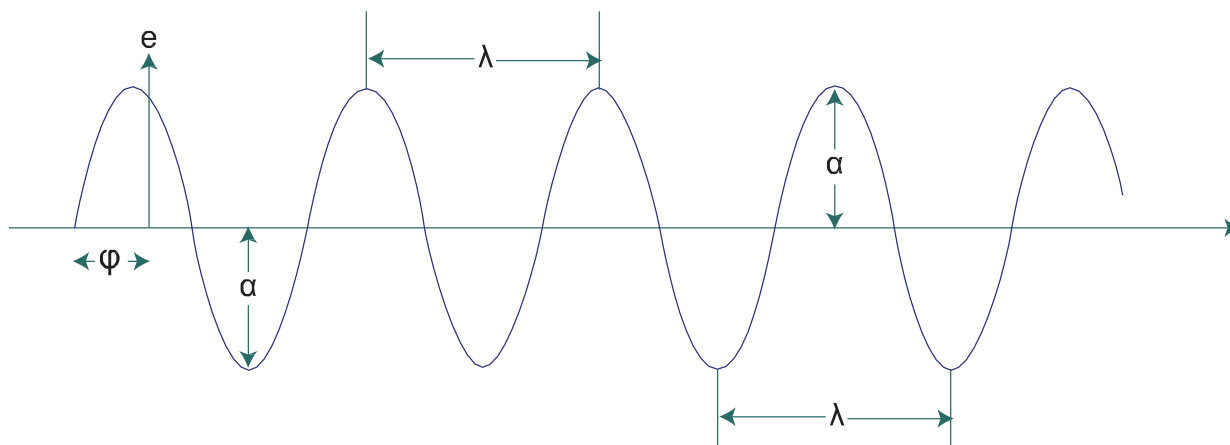
**Energia electromagnetică** este energia care se mișcă cu viteza luminii ( $c = \text{aprox. } 300\,000 \text{ km/s}$ ) și sub forma unor unde sincronizate de câmp magnetic și electric, cu oscilații la intervale regulate de timp, fiind dată de fotoni ( $\gamma$  - particule stabile cu masă zero din clasa bosonilor, fără încărcare electrică) cu energie, moment (magnitudine și direcție) și moment angular (moment angular). Oscilațiile de câmp magnetic și electric, sunt perpendiculare între ele și perpendiculare pe direcția de deplasare. Termenul de radiație (electromagnetică) este folosit pentru că energia este emisă de particulele încărcate electric, iar deplasarea lor este radiativă, ele propagându-se în mediu, departe de sursa lor. În deplasarea lor în mediu, interacționează cu alte particule, efectele fiind variate, și în funcție de lungimea de undă și de frecvență.

Lumina așa cum o percepem noi este doar o parte a spectrului electromagnetic, respectiv zona spectrului vizibil (0,38-0,76 micrometri) a radiației emise de Soare. Pe lângă spectrul vizibil, lumina solară are și un component termic în zona infraroșului, care ne dă senzația de căldură.

O undă de tip sinusoidal este definită de o serie de parametri după cum urmează:

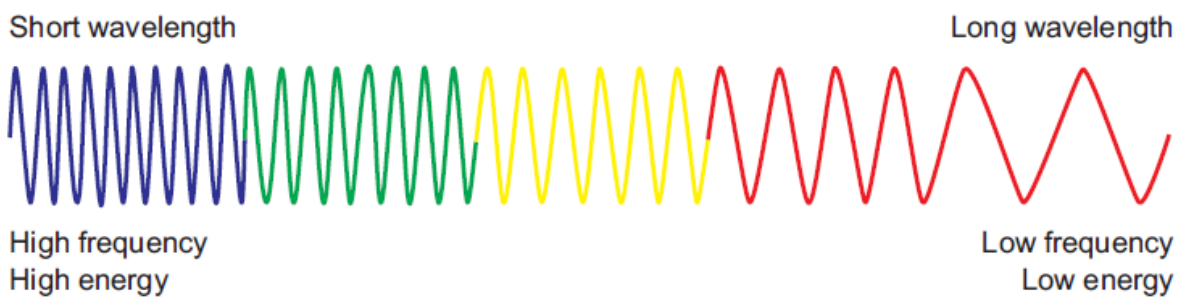
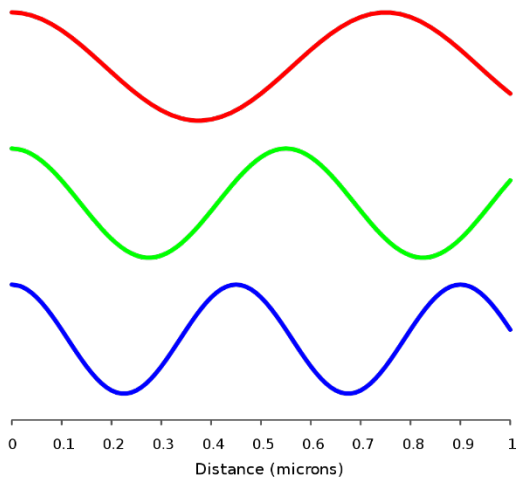
$$e = \alpha \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi\right)$$

**Lungimea de undă** ( $\lambda$ ) a unei unde este distanța pe care se repetă forma undei, respectiv între două maxime ale undei.

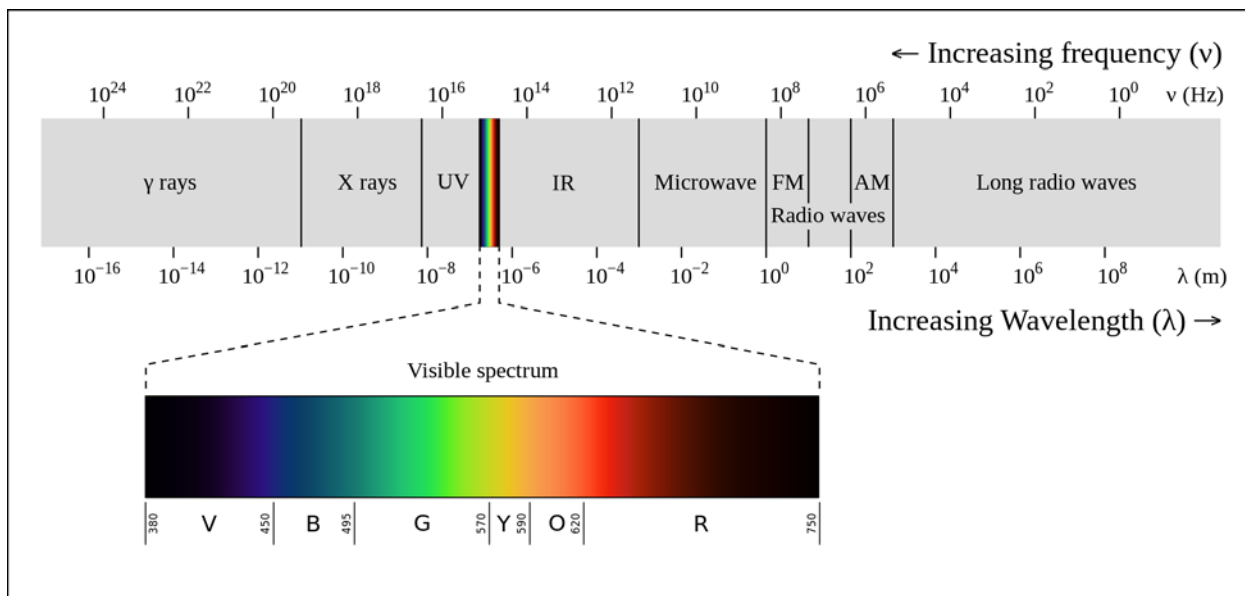


**Amplitudinea** ( $\alpha$ ) este valoarea maximă până la care ajunge unda și este un rezultat al energiei, deci cu cât este mai mare cu atât este mai mare energia fotonilor. Legată de aceasta este faza ( $\varphi$ ) care reprezintă fracția de diferență de la punctul de inițiere al undei și are aplicabilitate practică.

**Frecvența** ( $\nu$ ), măsurată în Herți (Hz) reprezintă numărul de repetări ale evenimentului (ciclului, oscilației), pe unitatea de timp. Cu cât lungimea de undă este mai mică, frecvența este mai mare și invers (deoarece viteza este constantă). **Perioada** este intervalul de timp dintre evenimente, deci reciproca frecvenței. Inima are o frecvență de 120 bătăi pe minut, deci 2 herți (1 herț este 1 ciclu pe secundă).



### Spectrul electromagnetic



Soarele este o sursă principală de energie electromagnetică, dar nu este singura. Toată materia cu o temperatură absolută peste zero emite energie electromagnetică din cauza agitației moleculare. Temperatura absolută este măsurată în mod convențional în kelvini (K) cu incremente la

scară Celsius. Zero absolut ( $0\text{ K} = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) este cea mai scăzută temperatură posibilă unde nimic nu ar putea fi mai rece; la  $0\text{ K}$  moleculele nu se mișcă. Temperatura medie globală a suprafeței Pământului este de  $288\text{ K}$ , iar temperatura obiectelor de pe Pământ rareori se abate foarte mult de la această medie pe o perioadă finită. Prin urmare, elementele suprafeței Pământului emit energie electromagnetică. Radiația solară completează în mod constant energia pe care Pământul o pierde în spațiu. Temperatura Soarelui este de aproximativ  $6000\text{ K}$ . Soarele emite 44% din energia sa sub formă de lumină și 48% ca radiație infraroșie. Soarele este aproximativ un corp negru, la fel și stelele. Un corp negru este un obiect teoretic cu proprietăți extreme presupuse, care ne ajută să explicăm radiația electromagnetică. Un corp negru absoarbe 100% din radiația care îl lovește, nu reflectă niciuna; astfel, pare perfect negru. Un corp negru are capacitatea de a reemite toată energia pe care o primește. Spunem că un corp negru are emisivitate maximă de 1. Un corp negru emite energie la fiecare lungime de undă.

Energia emisă de un corp negru se numește radiație de corp negru. Un corp negru poate avea temperaturi diferite. Temperatura corpului negru determină cea mai proeminentă lungime de undă a radiației sale. La temperatura camerei, corpurile negre emit predominant energie infraroșie. Când se încălzește un corp negru peste  $127\text{ K}$  ( $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), emisia de lumină devine dominantă, de la roșu, la portocaliu, galben și alb (la  $6000\text{ K}$ ) înainte de a ajunge la albastru, anterior acolo unde emisia include cantități tot mai mari de radiații ultraviolete.

„Albul” este special, nu este o culoare, ci un amestec perfect de culori. La  $6000\text{ K}$ , un corp negru cu corp negru emite energie radiantă de toate lungimile de undă vizibile în mod egal. O temperatură mai mare corespunde unei contribuții mai mari de radiații cu lungimi de undă mai scurte.

### **Energia electromagnetică**

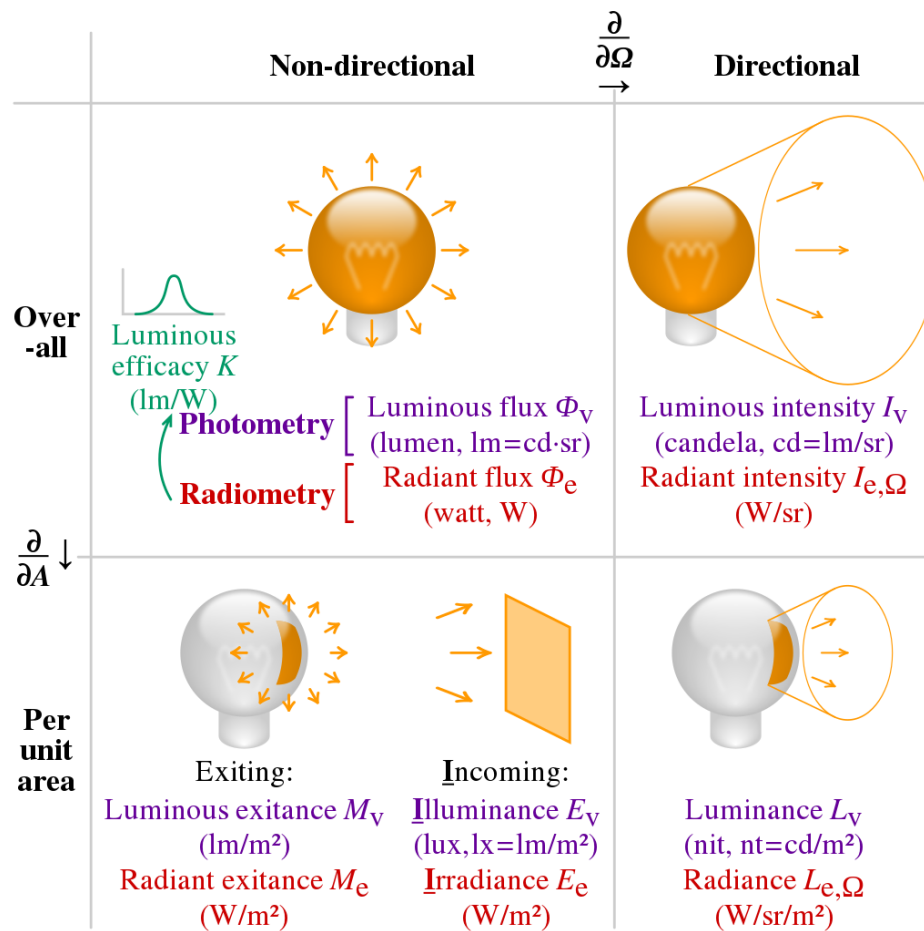
Radiația electromagnetică are și energie, iar în cazul acesteia se discută despre variate măsuri de exprimare a energiei. Cantitatea de energie este de obicei exprimată în joule, însă dacă ne interesează energia radiantă pe unitatea de timp, numită **putere radiantă**, o măsurăm în wați ( $1\text{ W} = 1\text{ joule}^4\text{ pe secundă}$ ).

---

<sup>4</sup> Un joule este egal cu lucrul mecanic efectuat de o forță de un newton care își deplasează punctul de aplicație pe o distanță de un metru pe direcția și în sensul forței.

**Emitanța radiantă** este puterea emisă de o suprafață; se măsoară în wați pe metru pătrat ( $\text{Wm}^{-2}$ ). **Emitanța radiantă spectrală** caracterizează emitanța radiantă pe lungime de undă; se măsoară în  $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ . **Radianța** este o măsura radiometrică, care descrie cantitatea de flux radiant emis sau reflectat dintr-o anumită zonă pe unitatea de unghi solid și pe unitatea de timp. Radianța (intensitatea observată) este de obicei exprimată în  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ . Irradianța este cantitatea de energie incidentă pe o suprafață pe unitatea de suprafață și pe unitatea de timp, exprimată în  $\text{Wm}^{-2}$ .

Obiectele reale pot aproxima doar corpurile negre; pot reemite aproximativ 80 până la 98% din energia primită. Capacitatea de emisie a materialului real este exprimată ca raport adimensional numit **emisivitate** (cu valori între 0 și 1). Emisivitatea unui material specifică cât de bine emite energie un corp real în comparație cu un corp negru. Emisivitatea spectrală a unei suprafețe depinde de mai mulți factori, cum ar fi temperatura, unghiul de emisie și lungimea de undă.



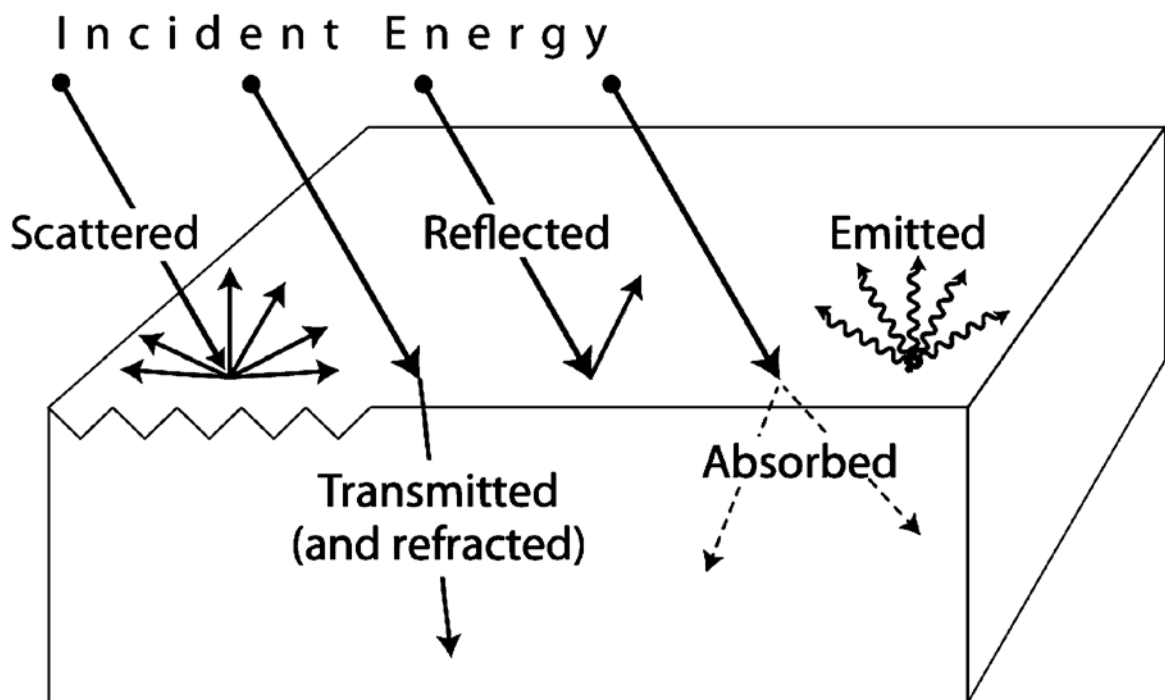
Radiația electromagnetică care străbate atmosfera și interacționează cu solidele, lichidele sau gazele din ea și apoi cu suprafața terestră se numește radiație incidentă. Aceasta are un unghi de

înclinare la momentul în care interacționează cu materia, iar în funcție de proprietățile acesteia pot avea loc o serie de procese fizice:

- reflexie;
- absorbție;
- transmitere;
- emisie;
- difuziune.

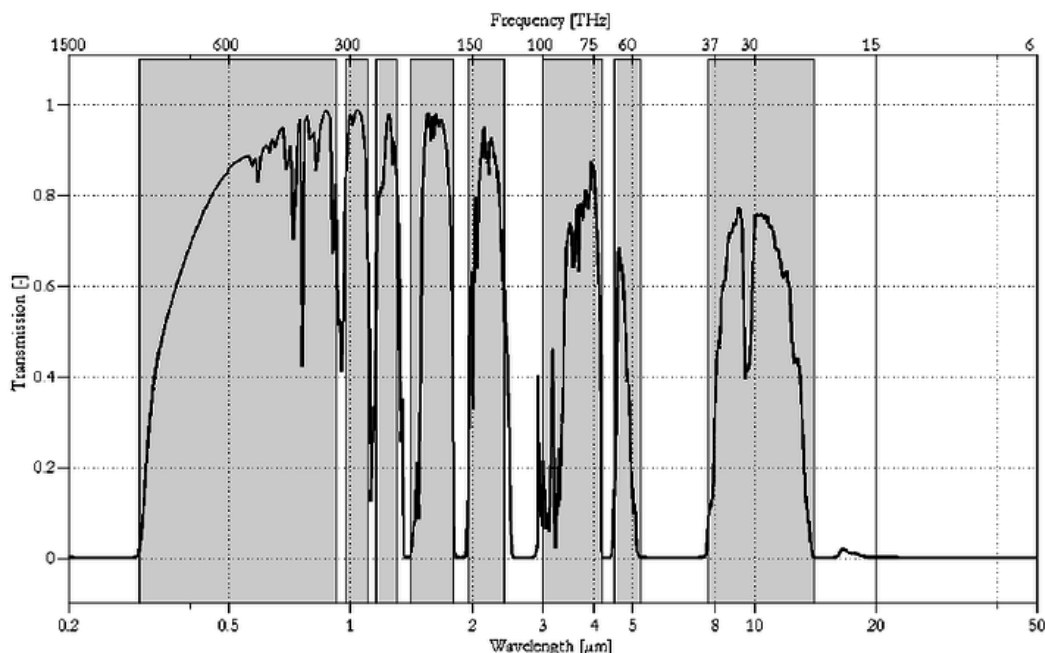
Înainte ca energia Soarelui să ajungă la suprafața Pământului, au loc trei interacțiuni relevante pentru teledetecție în atmosferă: absorbția, transmiterea și împrăștierea. Energia transmisă este apoi fie absorbită de materialul de suprafață, fie reflectată.

Energia reflectată suferă și de difuzie și absorbție în atmosferă înainte de a ajunge la senzorul de la distanță.



### **Absorbția și transmiterea radiației electromagnetice în atmosferă**

Energia electromagnetică care călătorește prin atmosferă este parțial absorbită de diferite molecule. Cei mai eficienți absorbanți ai radiației solare în atmosferă sunt ozonul ( $O_3$ ), vaporii de apă ( $H_2O$ ) și dioxidul de carbon ( $CO_2$ ).



### Transmitanța atmosferică<sup>5</sup>

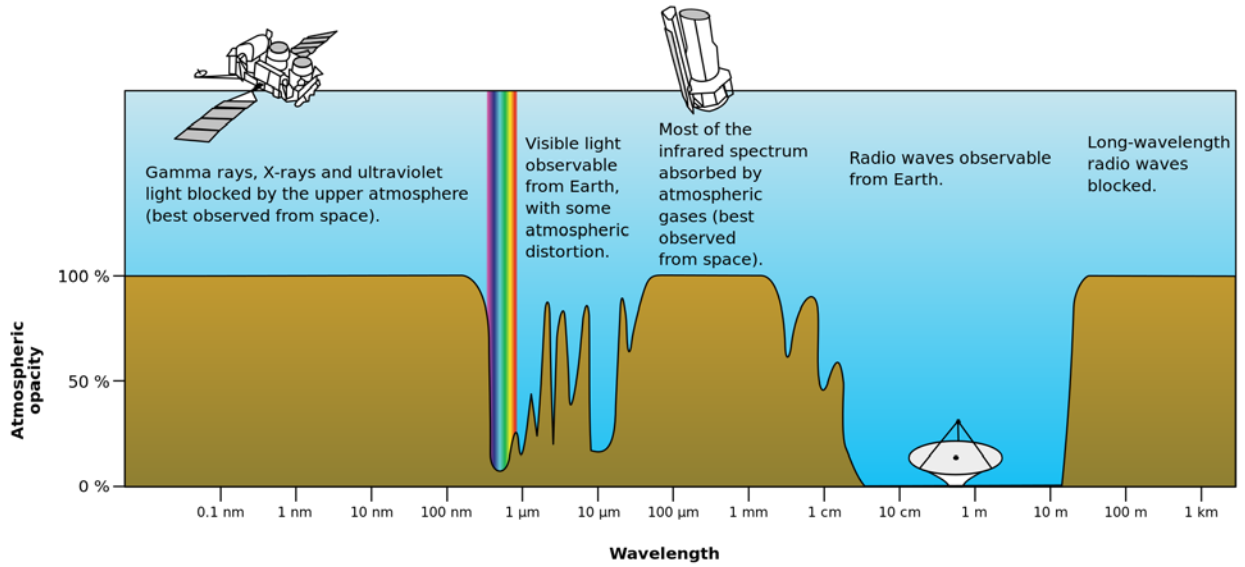
Multe dintre lungimile de undă nu sunt utile pentru teledetecția suprafeței Pământului, pur și simplu pentru că niciuna din energia corespunzătoare nu poate pătrunde în atmosferă. Numai transmisia atmosferică a porțiunilor de spectru din afara intervalelor principale de absorbție a gazelor atmosferice poate fi utilizată pentru teledetecție. Domeniile utile sunt denumite **ferestre de transmisie atmosferică** și includ:

- Fereastra de la 0,4 la 2  $\mu\text{m}$ . Radiația din acest interval (vizibil, NIR, SWIR) este în principal energie reflectată. Deoarece acest tip de radiație urmează legile opticii, senzorii de la distanță care funcționează în acest interval sunt adesea denumiți ca cei optici.
- Trei ferestre în gama TIR și anume două ferestre înguste în jur 3 și 5  $\mu\text{m}$  și o a treia fereastră, relativ largă, care se extinde de la aproximativ 8 la 14  $\mu\text{m}$ .

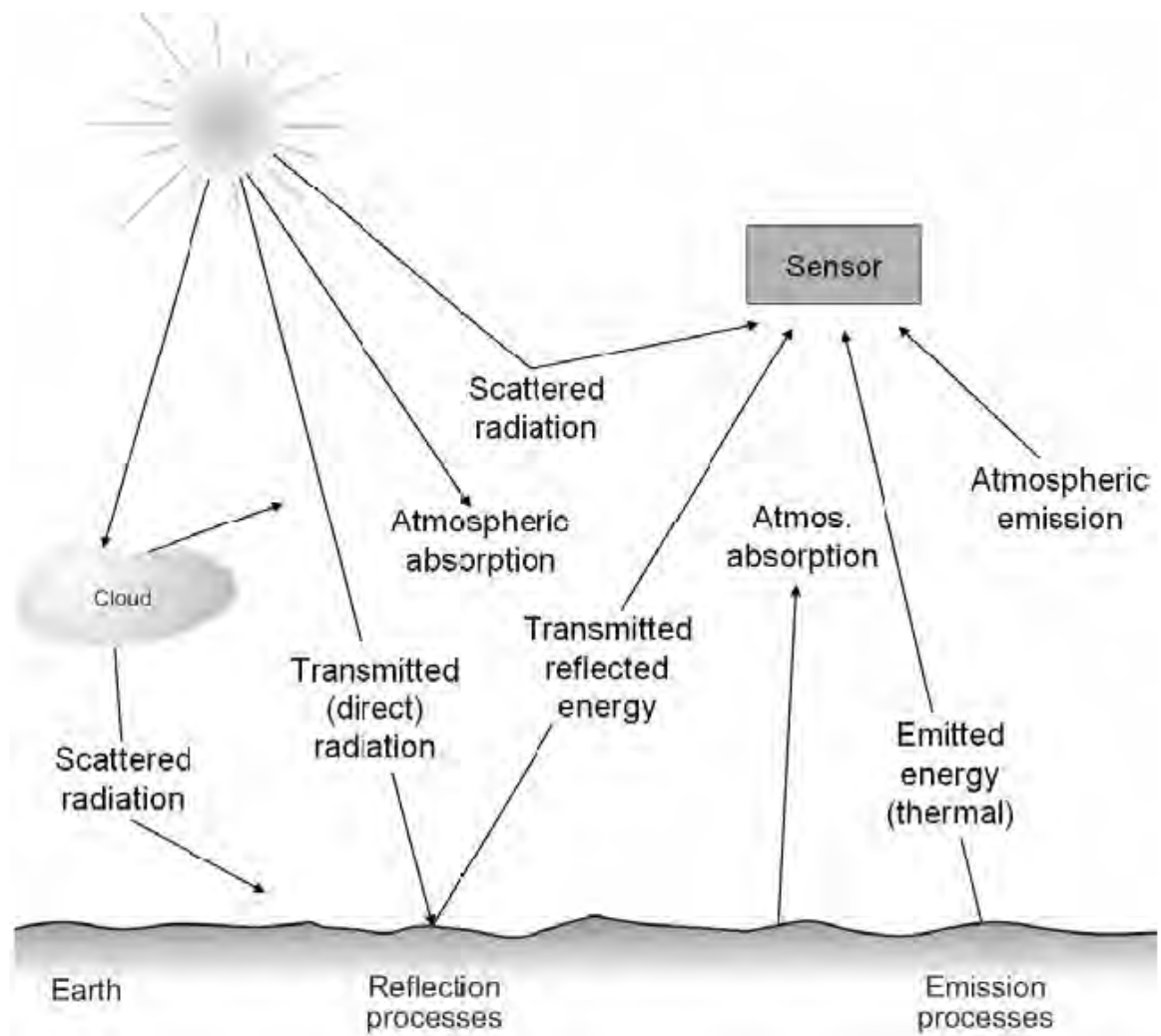
Datorită umidității atmosferice, are loc o absorbție puternică la lungimi de undă mai mari. Nu există aproape nicio transmisie de energie în intervalul de la 22  $\mu\text{m}$  până la 1 mm. Intervalul mai mult sau mai puțin transparent dincolo de 1 mm este domeniul microundelor.

<sup>5</sup> Frația de radiație care ajunge inițial la suprafața pământului se numește transmitanța căii solare, și are valori între 0 și 1

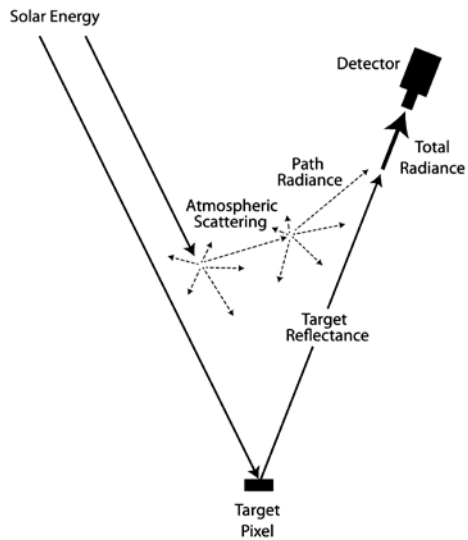
Radiația solară măsurată în afara atmosferei seamănă cu radiația corpului negru la 6000 K. Măsurarea radiației solare la suprafața Pământului arată că acolo distribuția spectrală a energiei radiate de la Soare este foarte neregulată. Scăderile relative în această curbă indică absorbția de diferite gaze din atmosferă.







În privința radiației teledetecția presupune captarea cantității de radiație reflectate de un obiect:



### Difuzia atmosferică

Difuzia atmosferică are loc atunci când particulele sau moleculele gazoase prezente în atmosferă determină redirectionarea radiației electromagnetice din calea sa originală. Cantitatea de difuzie depinde de mai mulți factori, inclusiv lungimea de undă a radiației, cantitatea de particule și gaze și distanța pe care o parcurge energia radiantă prin atmosferă. Într-o zi senină, culorile sunt strălucitoare, clare, 95% din lumina soarelui detectată de ochii noștri sau un senzor de la distanță comparabil este energie reflectată de obiecte, 5% este lumină difuzată în atmosferă. Într-o zi înnorată sau cețoasă, culorile sunt slabe, cea mai mare parte a energiei care ne lovește ochii este lumină difuzată. Putem distinge trei tipuri de difuzie în funcție de dimensiunea particulelor din atmosferă care o cauzează.

**Difuzia Rayleigh** domină acolo unde radiația electromagnetică interacționează cu particule care sunt mai mici decât lungimile de undă ale luminii. Exemple de aceste particule sunt praful și moleculele de azot ( $\text{NO}_2$ ) și oxigen ( $\text{O}_2$ ).

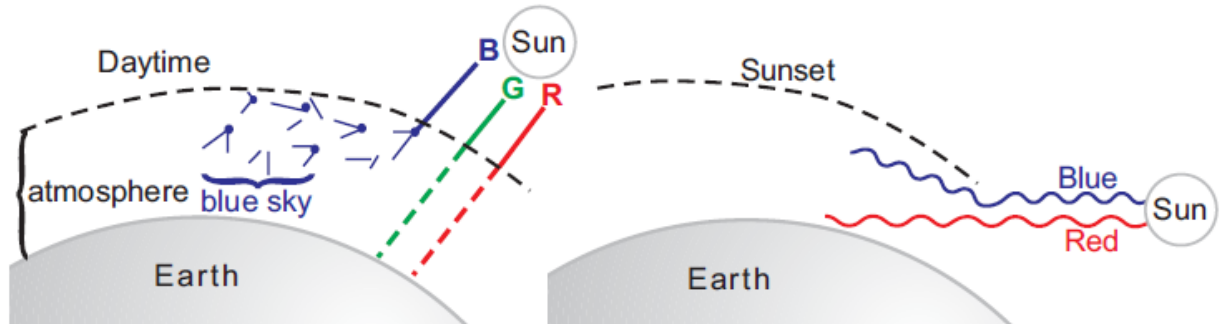
Lumina cu lungime de undă mai scurtă (albastru) este împrăștiată mai mult decât lumina cu lungime de undă mai mare (roșu),

În absența particulelor și a difuziei, cerul ar părea negru. În timpul zilei, energia solară parcurge cea mai scurtă distanță prin atmosferă; difuzia Rayleigh face ca cerul senin să fie observat ca albastru. La răsărit și la apus, lumina soarelui parcurge o distanță mai mare prin atmosfera Pământului înainte de a ajunge la noi. Toată radiația de lungimi de undă mai scurte este difuzată după o anumită distanță

și doar lungimile de undă mai mari ajung la suprafața Pământului. Drept urmare noi nu vedem un cer albastru, ci portocaliu sau roșu.

Difuzarea Rayleigh perturbă aplicabilitatea teledeteciei în intervalul spectral vizibil de la altitudini mari. Determină o distorsiune a caracteristicilor spectrale ale luminii reflectate în comparație cu măsurătorile efectuate la sol: datorită difuziei Rayleigh, lungimile de undă mai scurte sunt supraestimate. În fotografiile color făcute de la altitudini mari, se ține cont de albastrul acestor imagini. În general, difuzia Rayleigh diminuează „claritatea” fotografiilor și astfel reduce interpretabilitatea acestora, folosindu-se pentru aceasta filtre speciale.

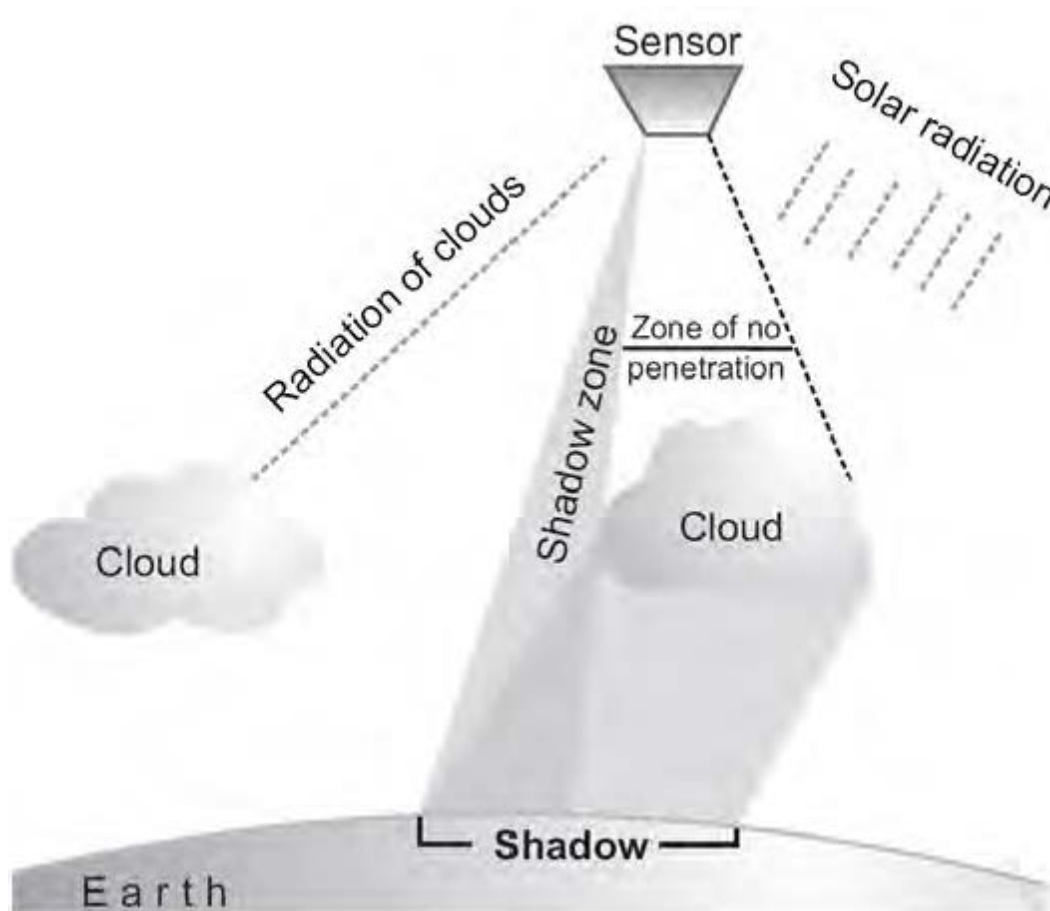
În mod similar, difuzia Rayleigh are un efect negativ asupra clasificării digitale folosind date de la senzori multispectrali.



**Difuzia Mie** apare atunci când lungimea de undă a radiației electromagnetice este similară ca mărime cu cea a particulelor atmosferice. Cea mai importantă cauză a difuziei Mie sunt aerosolii: un amestec de gaze, vapori de apă și praf. Difuzia Mie este, în general, limitată la atmosfera inferioară, unde particulele mai mari sunt mai abundente și domină în condiții de nor înnorat. Difuzia Mie influențează intervalul spectral de la aproape UV până la mijlocul IR și are un efect mai mare asupra radiațiilor de lungimi de undă mai mari decât difuzia Rayleigh.

Difuzia neselectivă are loc atunci când dimensiunea particulelor este mult mai mare decât lungimea de undă a radiației. Particulele tipice responsabile pentru acest efect sunt picăturile de apă și particulele de praf mai mari. Difuzia neselectivă este independentă de lungimea de undă din domeniul optic. Cel mai proeminent exemplu de difuzia neselectivă este că vedem norii ca niște corpuri albe. Un nor este format din picături de apă; deoarece difuzează lumina de fiecare lungime de undă în mod egal, un nor apare alb. Un senzor de la distanță precum ochiul nostru nu poate

„vedea prin” nori. Mai mult, norii au un efect limitator suplimentar asupra teledetecie optice: norii au umbre pe suprafața terestră.

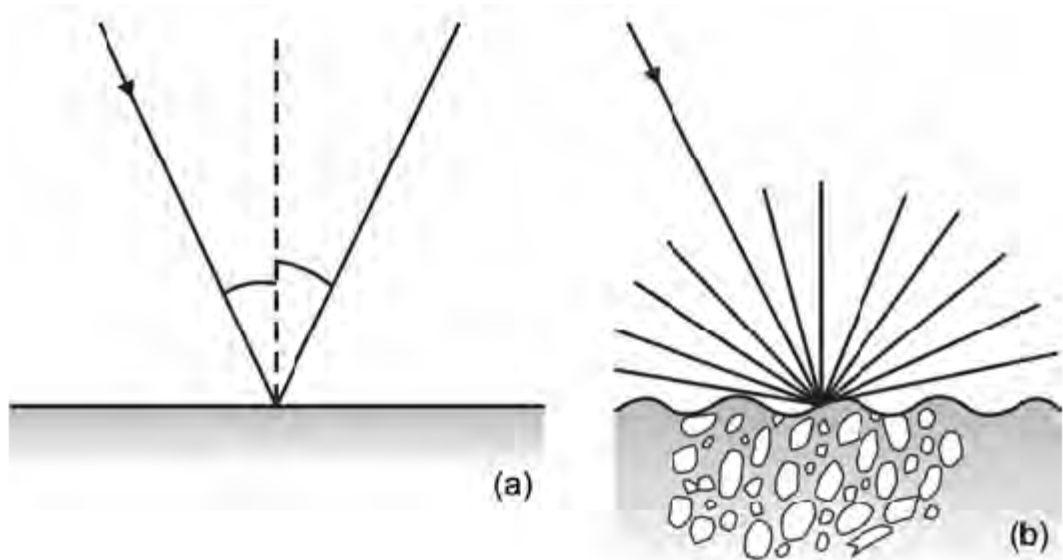


În teledetecția uscatului și a apei suntem cel mai interesați de energia solară reflectată, deoarece aceasta ne spune multe despre caracteristicile suprafeței. Reflexia are loc atunci când energia radiantă sare de pe țintă și este astfel redirectionată. Nu toată energia solară se reflectă pe apă și pe suprafețele terestre; o parte din ea poate fi absorbită și chiar transmisă (printr-un corp de apă, de exemplu, la fundul mării). Proporția de energie reflectată - absorbită - transmisă va varia în funcție de lungimea de undă și tipul de material. Două tipuri de reflexie, extreme ale modului în care energia este reflectată de o țintă, sunt „reflexia speculară” și „reflexia difuză” . În lumea reală, de obicei, se găsește o combinație a ambelor tipuri.

Reflexia speculară, sau reflexia asemănătoare oglinzii, apare de obicei atunci când o suprafață este netedă și (aproape) toată energia este îndreptată departe de suprafață într-o singură direcție.

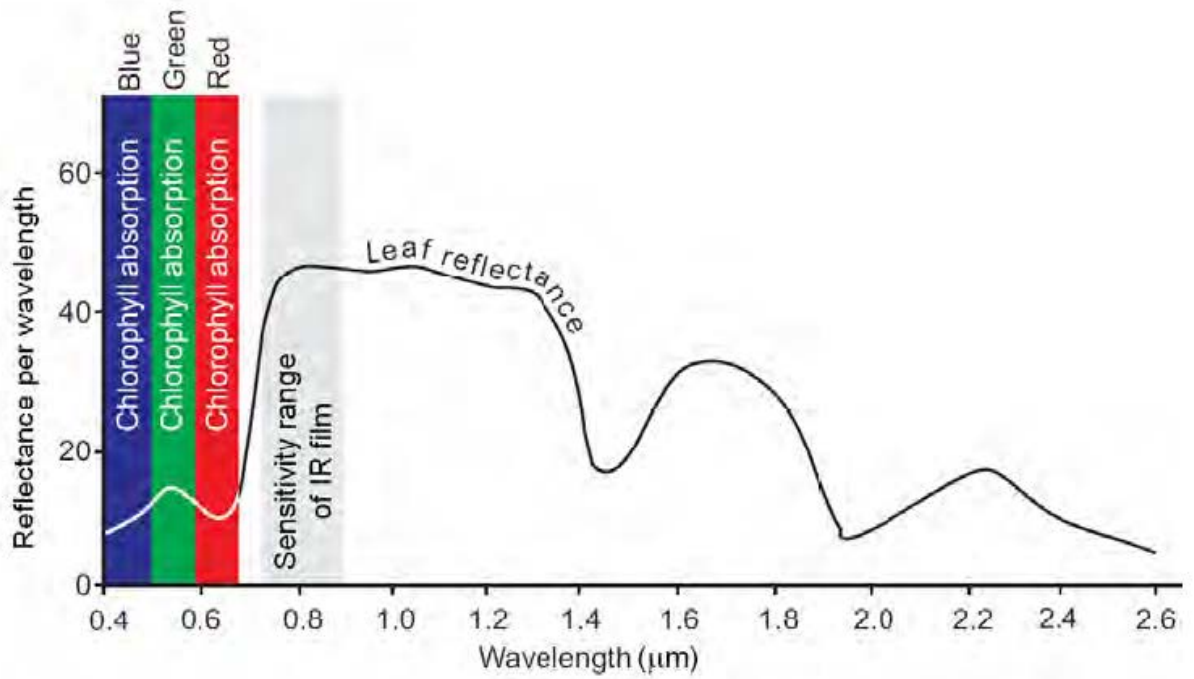
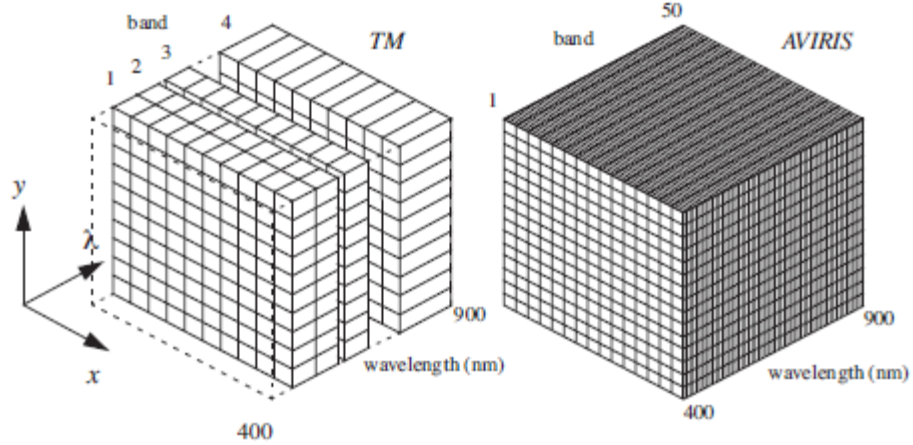
Reflexia speculară poate fi cauzată, de exemplu, de o suprafață de apă sau de un acoperiș de seră. Rezultă un punct foarte luminos (numit și „punct fierbinte”) în imaginile de teledetecție.

Reflexia difuză apare în situațiile în care suprafața este rugoasă și energia este reflectată aproape uniform în toate direcțiile. Dacă o anumită țintă reflectă specular, difuz sau ambele, depinde de rugozitatea suprafeței în raport cu lungimea de undă a radiației incidente.

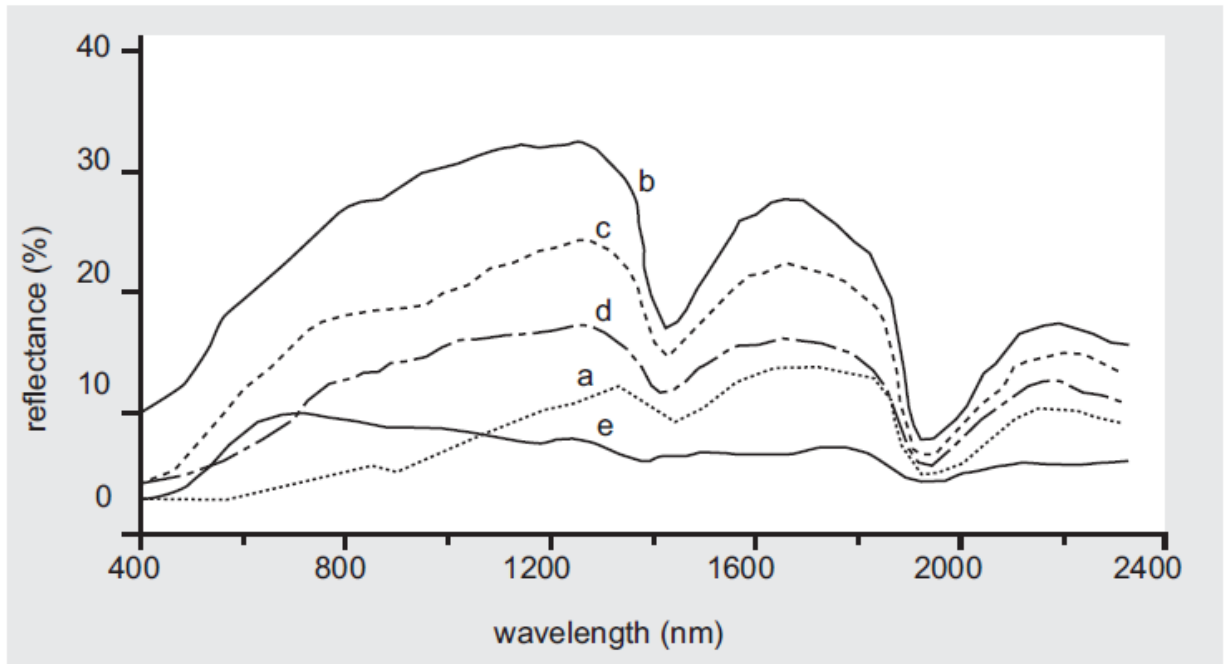


### Curbe de reflexie spectrală

Putem stabili pentru fiecare tip de material de interes o curbă de reflexie. O astfel de curbă arată partea din energia incidentă care este reflectată în funcție de lungimea de undă (exprimată ca procent). Senzorii de la distanță sunt sensibili la intervale (înguste) de lungimi de undă, nu doar la o anumită, de exemplu, „banda spectrală” de la  $\lambda = 0,4 \mu\text{m}$  până la  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ . Curba de reflexie spectrală poate fi utilizată pentru a estima reflectanța globală în astfel de benzi prin calcularea mediei măsurătorilor de reflexie în intervalele respective. Măsurătorile reflectanței pot fi efectuate într-un laborator sau pe teren folosind un spectrometru de teren. Curbele de reflexie sunt de obicei colectate pentru partea optică a electromagneticului spectrul și se fac eforturi mari pentru a stoca colecții de curbe tipice în „biblioteci spectrale”.



Curbă de reflectanță idealizată a vegetației



Curbă de reflectanță a solurilor: a – sol organic, b – sol minim alterat, c – sol cu fieru alterat, d- sol cu componenta organică alterată, e – sol cu fier.

Radianță vs. reflectanță

Care este diferența dintre strălucire și reflectanță?

Radianța este variabila măsurată direct de instrumentele de teledetecție. Practic, te poți gândi la strălucire ca la câtă lumină „vede” instrumentul de la obiectul observat. Când privești printr-o atmosferă, o parte de lumină împrăștiată de atmosferă va fi văzută de instrument și inclusă în strălucirea observată a țintei. O atmosferă va absorbi și lumina, ceea ce va scădea strălucirea observată. Radianța are cel mai adesea unități de wați/(steradian/metru pătrat).

Reflectanța este raportul dintre cantitatea de lumină care părăsește o țintă și cantitatea de lumină care lovește ținta. Nu are unitati. Dacă toată lumina care părăsește ținta este interceptată pentru măsurarea reflectanței, rezultatul se numește „reflexanță emisferică”.

Reflectanța (sau mai specific reflectanța emisferică) este o proprietate a materialului care este observat. Radianța, pe de altă parte, depinde de iluminare (atât de intensitatea, cât și de direcția acesteia), de orientarea și poziția țintei și de calea luminii prin atmosferă. Cu efort, multe dintre efectele atmosferice și iluminarea solară pot fi compensate în datele de teledetecție. Acest lucru produce ceva care se numește „reflectanță aparentă” și diferă de reflectanța reală prin faptul că umbrele și efectele direcționale asupra reflectanței nu au fost eliminate.

Pentru multe aplicații, radianța, reflectanța și reflectanța aparentă pot fi utilizate în mod interschimbabil. Cu toate acestea, deoarece reflectanța este o proprietate a materialului țintă în sine, reflectanța este cea mai corectă cantitate de utilizat, deși în realitate reflectanța aparentă este adecvată în multe cazuri.

În cazul datelor satelitare Landsat de exemplu, datele brute sunt stocate ca Digital Number (DN), iar pe baza coeficienților din metadata aceste DN pot fi transformat în radianță, la nivel de scenă, prin două metode.

Metoda 1 – cu offset și gain

Exemplu:  $0.05518 * (B1) + 1.2378$ , unde 0,05518 este gain și 1,2378 este offset.

Metoda 2 – cu factori de scalare a radianței spectrale  $L_{min}$  și  $L_{max}$

$$L = \left( \frac{L_{max} - L_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} \right) \times (DN - DN_{min}) + L_{min}$$

Apoi radianța este transformată în reflectanță la partea superioară a atmosferei prin formula:

$$\rho_{\lambda} = \pi \times L_{\lambda} \times \frac{d^2}{ESUN_{\lambda}} \times \cos \theta_s$$

Unde  $\rho_{\lambda}$  - reflectanța planetară,  $L_{\lambda}$  - radianța spectrală,  $d$  - distanța Pământ-Soare în unități astronomice,  $ESUN_{\lambda}$  - iradianța solară extra-atmosferică medie,  $\theta_s$  - unghiul de zenit al Soarelui.

Reflectanța la partea superioară a atmosferei trebuie apoi corectată cu influența atmosferei pentru a reprezenta reflectanța la suprafață.



## Întrebări

1. **Experiența d-voastră a inclus utilizarea aparatelor fotografice analoge sau digitale?**
2. **Dacă da, puteți explica sintetic care este tehnologia din spatele fotografierii?**
3. **Dacă nu, puteți să explicați logica unor sisteme precum GPS, RADAR sau ecolocația animalelor?**

## Posibile întrebări pentru evaluare

1. **Care au fost platformele de teledetecție de-a lungul timpului?**
2. **Care au fost aplicațiile teledetecției în trecut?**
3. **De ce este teledetecția destul de tânără ca tehnologie?**

## 4. Platforme de teledetecție

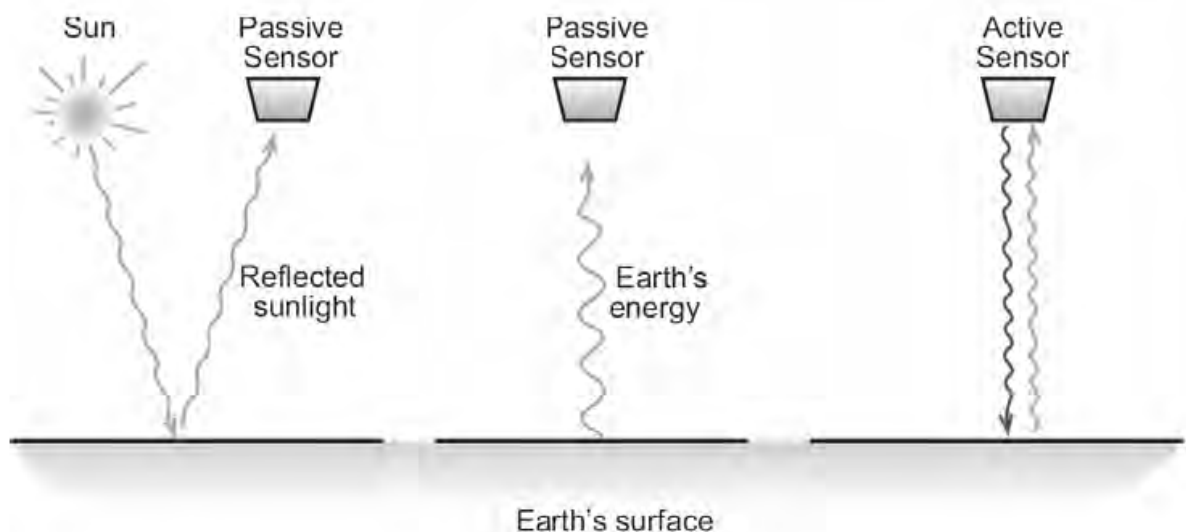
### Senzorii de teledetecție

Un senzor de la distanță este un dispozitiv care detectează energia EM, o cuantifică și, de obicei, o înregistrează, într-un mod analog sau digital. De asemenea, poate transmite date înregistrate (către o stație de recepție de la sol). Mulți senzori utilizați în observarea Pământului detectează energia solară reflectată. Alții detectează energia emisă de Pământ însuși.

Cu toate acestea, există câteva blocaje. Soarele nu strălucește întotdeauna puternic și există regiuni de pe glob aproape permanent sub acoperire de nori. Există regiuni cu anotimpuri cu cotă foarte scăzută a soarelui, astfel încât obiectele aruncă umbre lungi pe perioade lungi. Există timp de noapte doar cu „strălucire atmosferică de noapte” și poate lumina lunii. Senzorii care detectează energia solară reflectată sunt inutili la blocajele de detectare

noapte și se confruntă cu probleme în condiții de sezon și vreme nefavorabile.

Senzorii care detectează energia terestră emisă nu depind direct de Soare ca sursă de iluminare; pot fi operate oricând. Emisia Pământului, am aflat, este doar la lungimi de undă mai mari din cauza temperaturii relativ scăzute a suprafeței și undele EM lungi nu sunt foarte energetice, deci mai greu de detectat. De aceea se construiesc și senzori activi.



Majoritatea senzorilor de la distanță măsoară fie o schimbare de intensitate, fie o schimbare de fază a radiației EM. Unele - ca un simplu telemetru laser - măsoară doar timpul care trece între trimiterea unui semnal de energie și primirea lui înapoi. Senzorii radar pot măsura intensitatea sau fază atât intensitatea, cât și faza. Senzorii de măsurare a fazei sunt utilizați pentru precizie distanță (măsurarea distanței), de exemplu, prin „receptoare de fază” GPS sau scanere cu laser cu undă continuă. Intensitatea radiației poate fi măsurată prin energia fotonului care lovește suprafața sensibilă a sensorului.

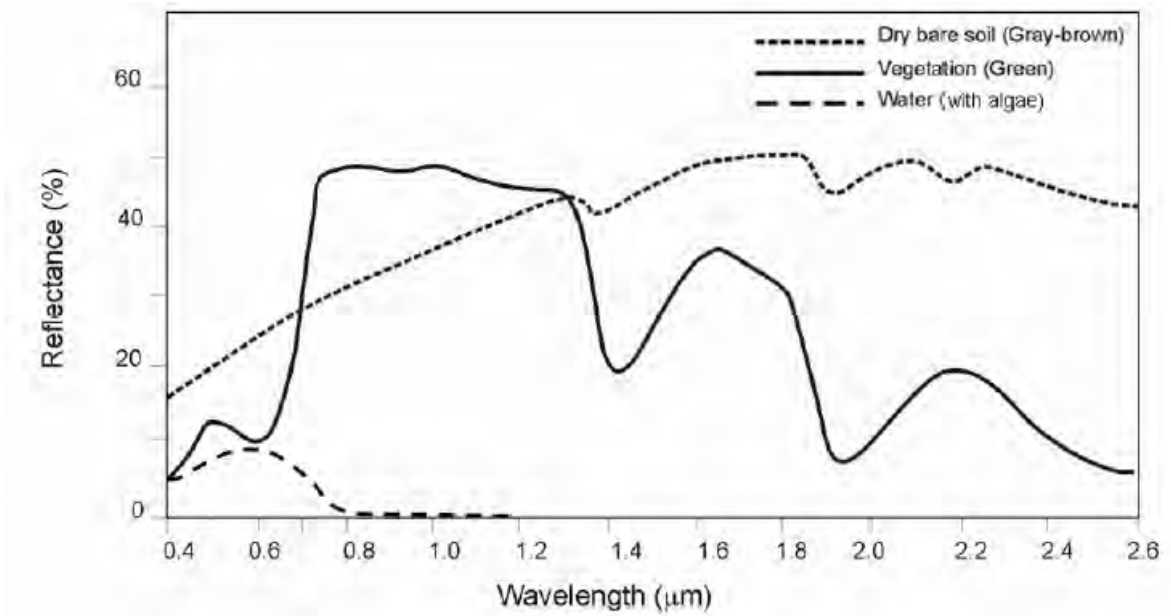
Când se detectează lumina reflectată, radiația de la detector este radiația de la suprafața Pământului atenuată de absorbția atmosferică plus radiația luminii difuzate:

$$L = \frac{\rho E \tau}{\pi} + \text{radiația atmosferică}$$

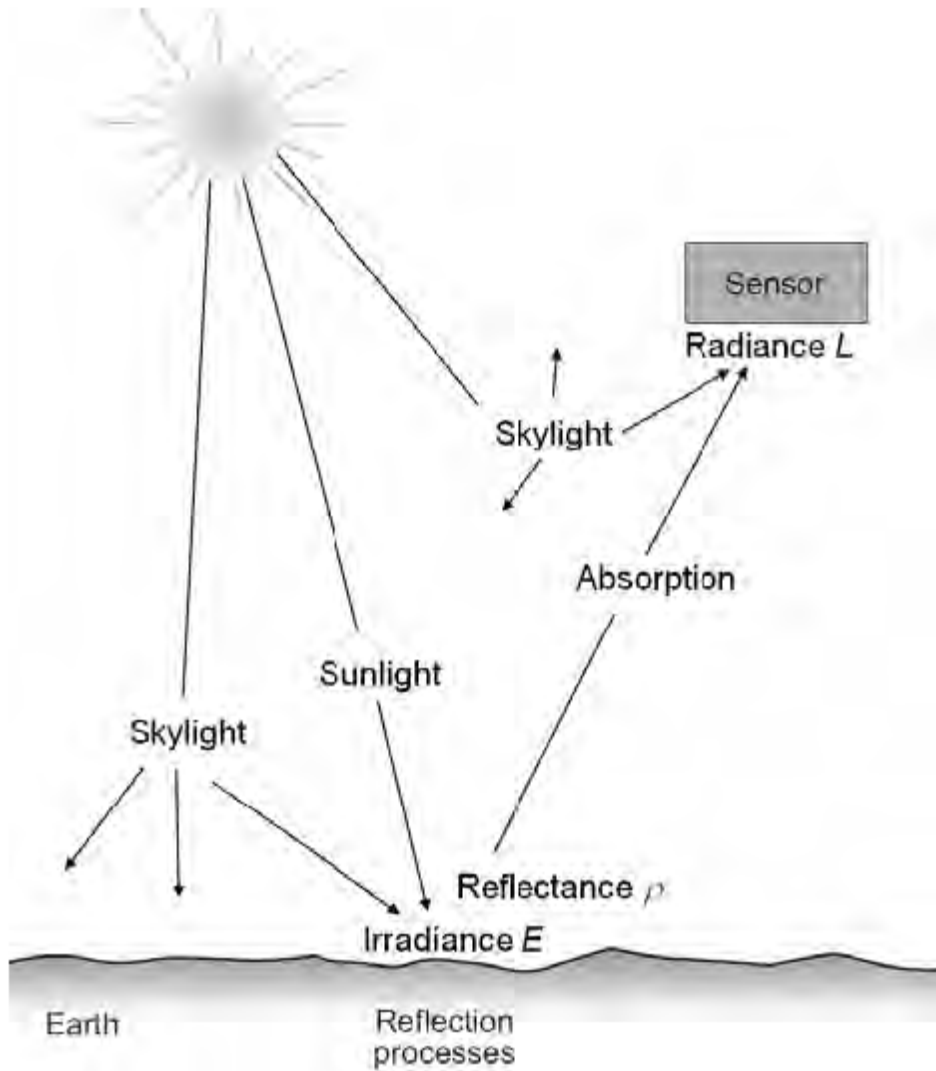
unde L este radiația totală la detector, E este iradierea la suprafața Pământului,  $\rho$  este reflectanța terenului și  $\tau$  este transmisia atmosferică. Radiația de la suprafața Pământului depinde de iradiere (intensitatea radiației solare incidente) și de reflectanța suprafeței terenului. Iradierea provine la rândul său din lumina directă a soarelui și lumina difuză, aceasta din urmă cauzată de difuzia atmosferică și cu atât mai mult într-o zi cețoasă. Acest lucru arată de ce trebuie realizată corecția radiometrică pentru a deduce mai bine caracteristicile suprafeței.

Radiația este observată pentru o „bandă spectrală”, nu pentru o singură lungime de undă. O bandă spectrală sau o bandă de lungime de undă este un interval din spectrul electromagnetic pentru care se măsoară radiația medie. Senzorii precum o cameră pancromatică, un senzor radar sau un scanner laser măsoară doar într-o bandă specifică, în timp ce un scanner multispectral sau o cameră digitală măsoară în mai multe benzi spectrale în același timp. Senzorii multispectrale au mai multe „canale”, câte unul pentru fiecare bandă spectrală. Teledetecția în mai multe benzi spectrale simultan ne permite să relaționăm proprietățile care apar bine în benzi spectrale specifice. De exemplu, caracteristicile de reflexie în banda spectrală de la 2 la 2,4  $\mu\text{m}$  (așa cum sunt înregistrate de Landsat-5 TM canal 7) ne spun ceva despre compoziția minerală a solului. Caracteristicile combinate de reflexie în benzile roșie și NIR (de la Landsat-5 TM canalele 3 și 4) ne pot spune ceva despre biomasă și sănătatea plantelor.

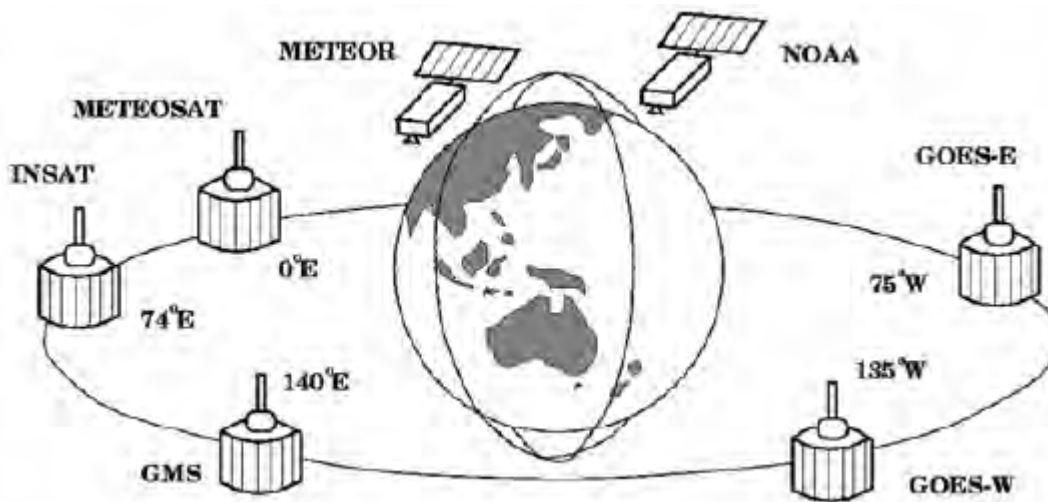
Landsat MSS (MultiSpectral Scanner), primul senzor civil de observare a pământului transportat în spațiu a avut detectoare pentru trei benzi spectrale destul de largi în partea vizibilă a spectrului, cu o lățime de 100 nm. Un scanner hiperspectral folosește detectoare pentru multe benzi mai înguste, dar mai înguste, care pot fi la fel de înguste până la 20 nm sau chiar mai puțin.

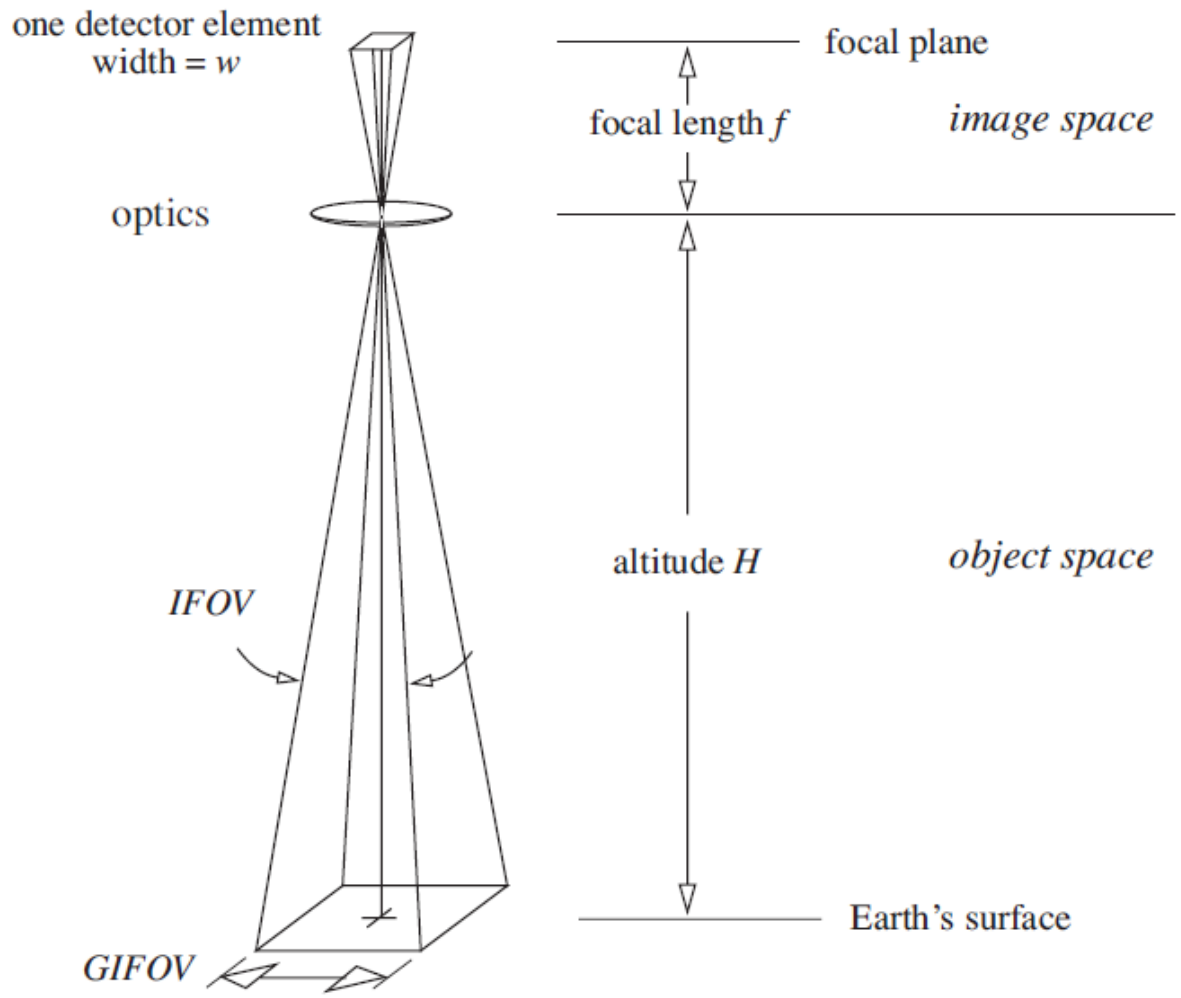


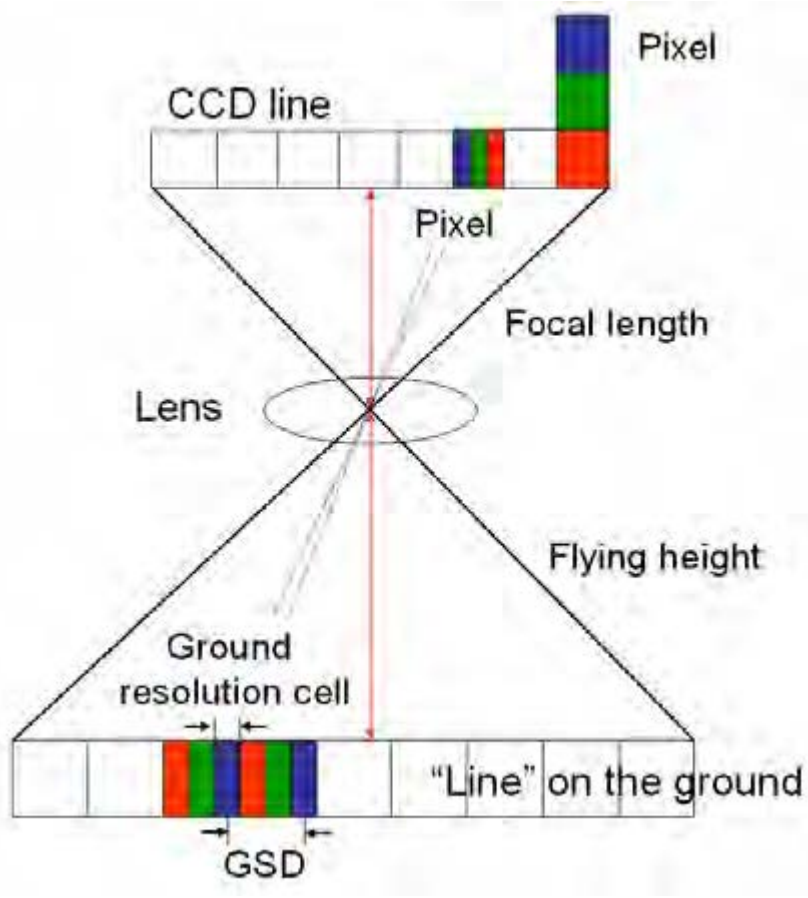
Terra Aster	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Landsat-5 TM	1	2	3	4	5	7			
Landsat MSS	1	2	3	4					
Spot XS	1	2	3	4					
Spot PAN	P								

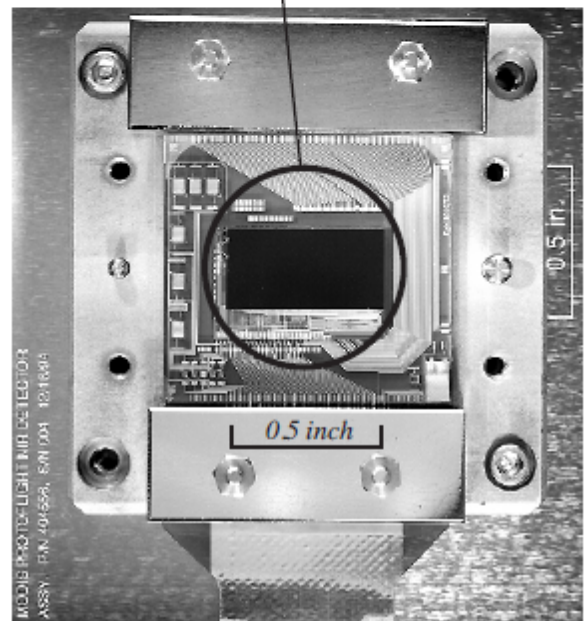
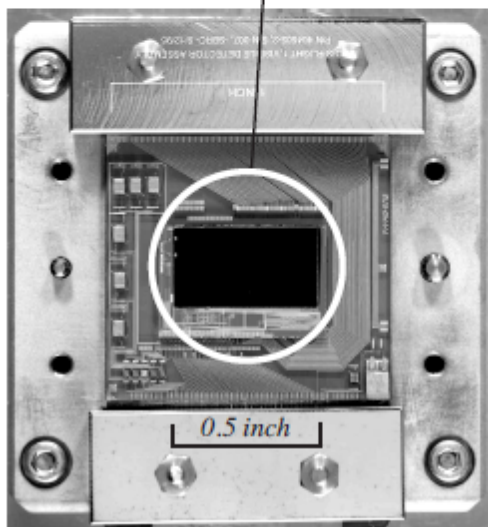
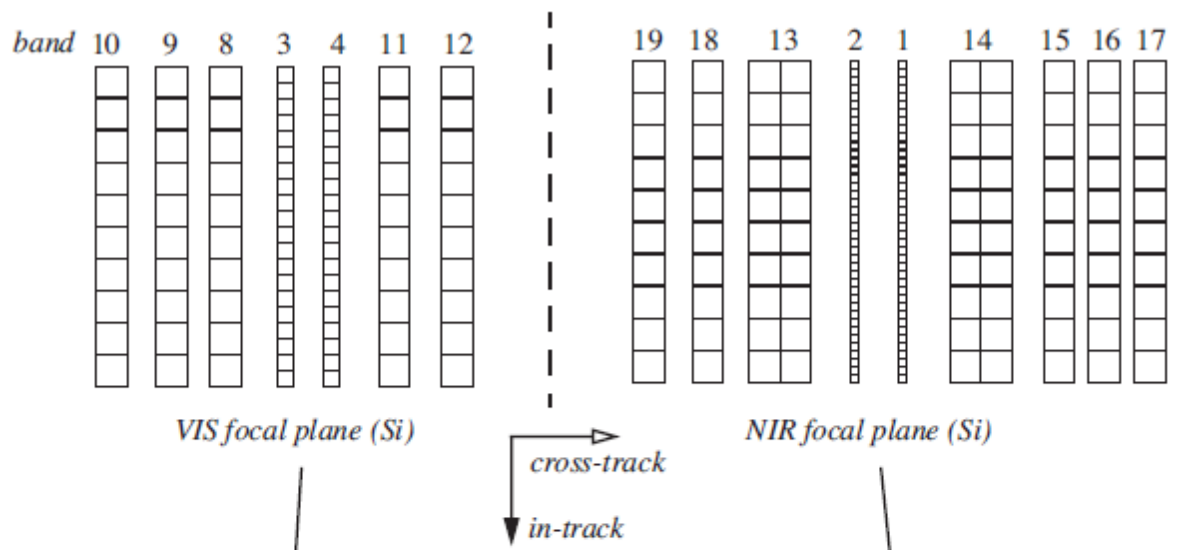


Orbita satelitară

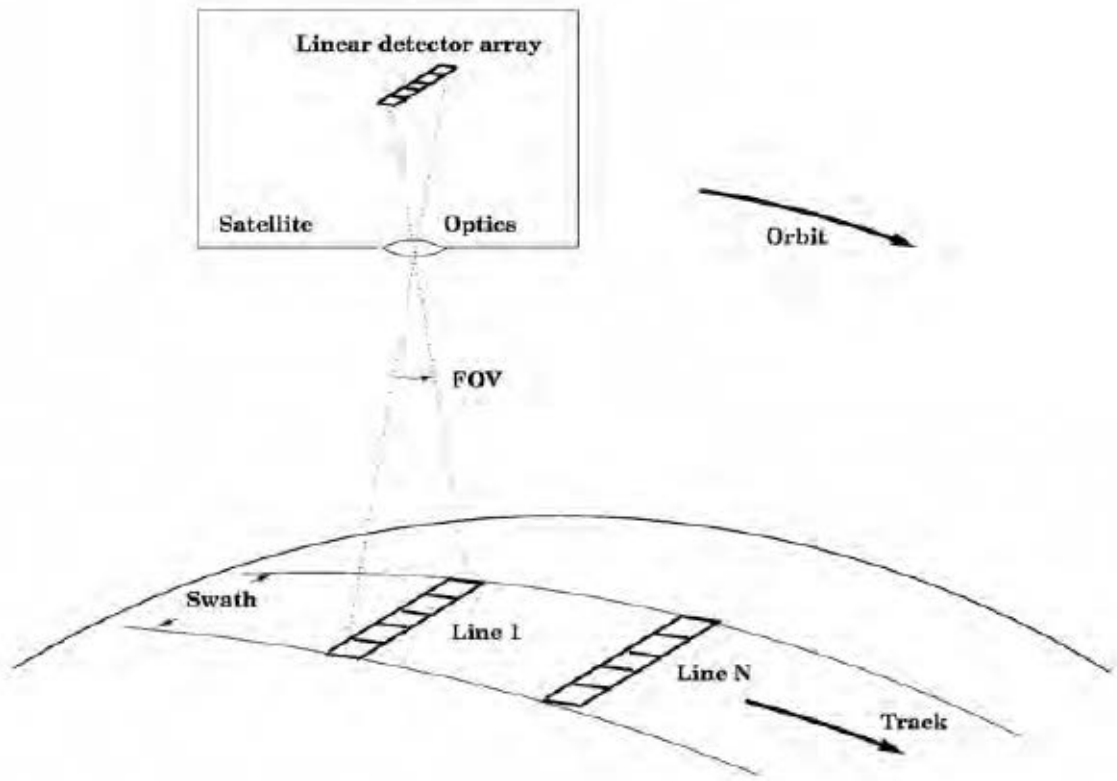
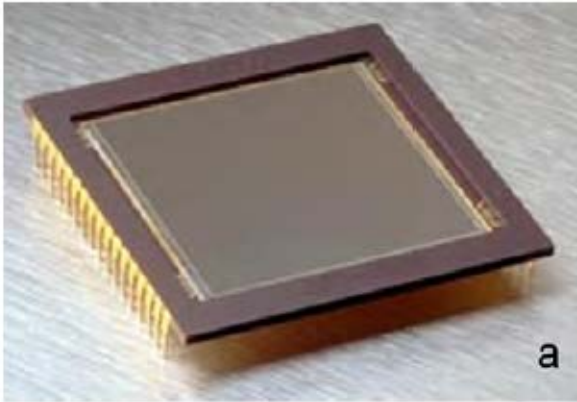


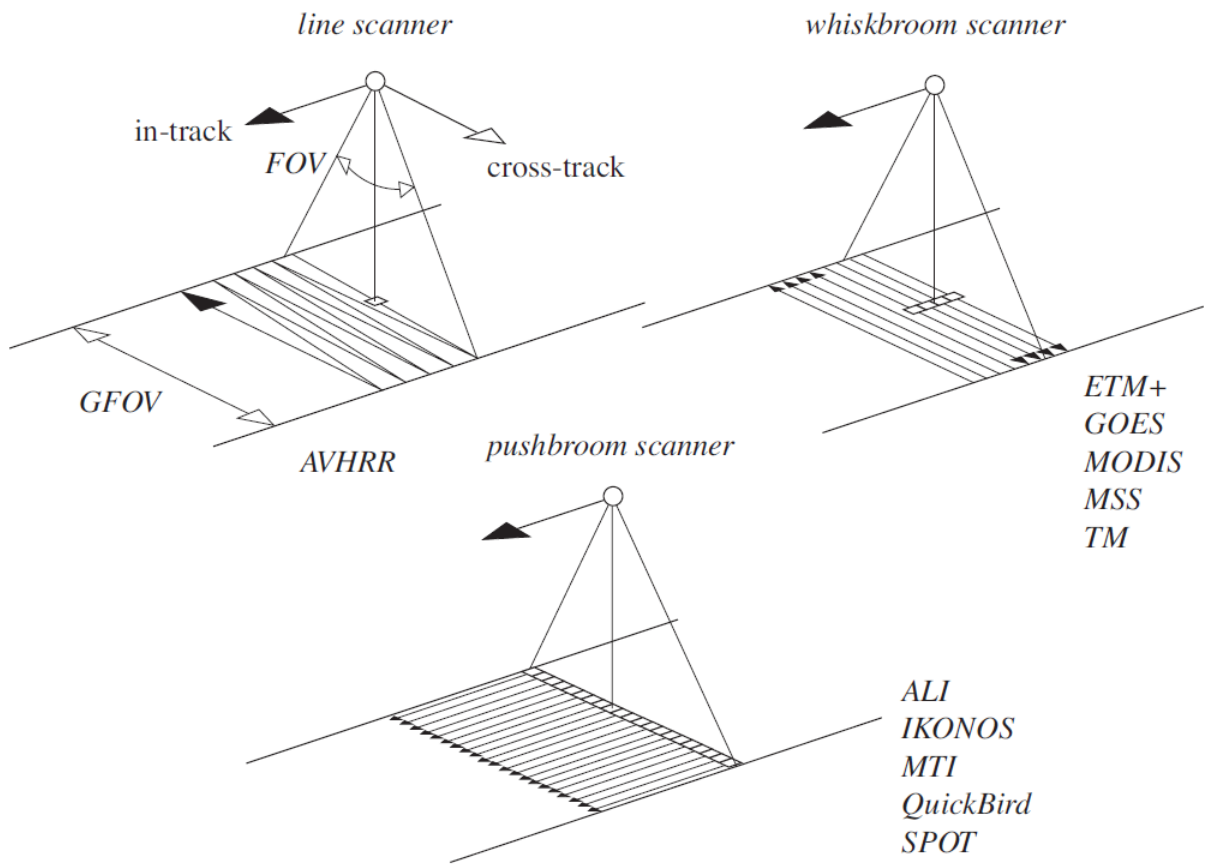


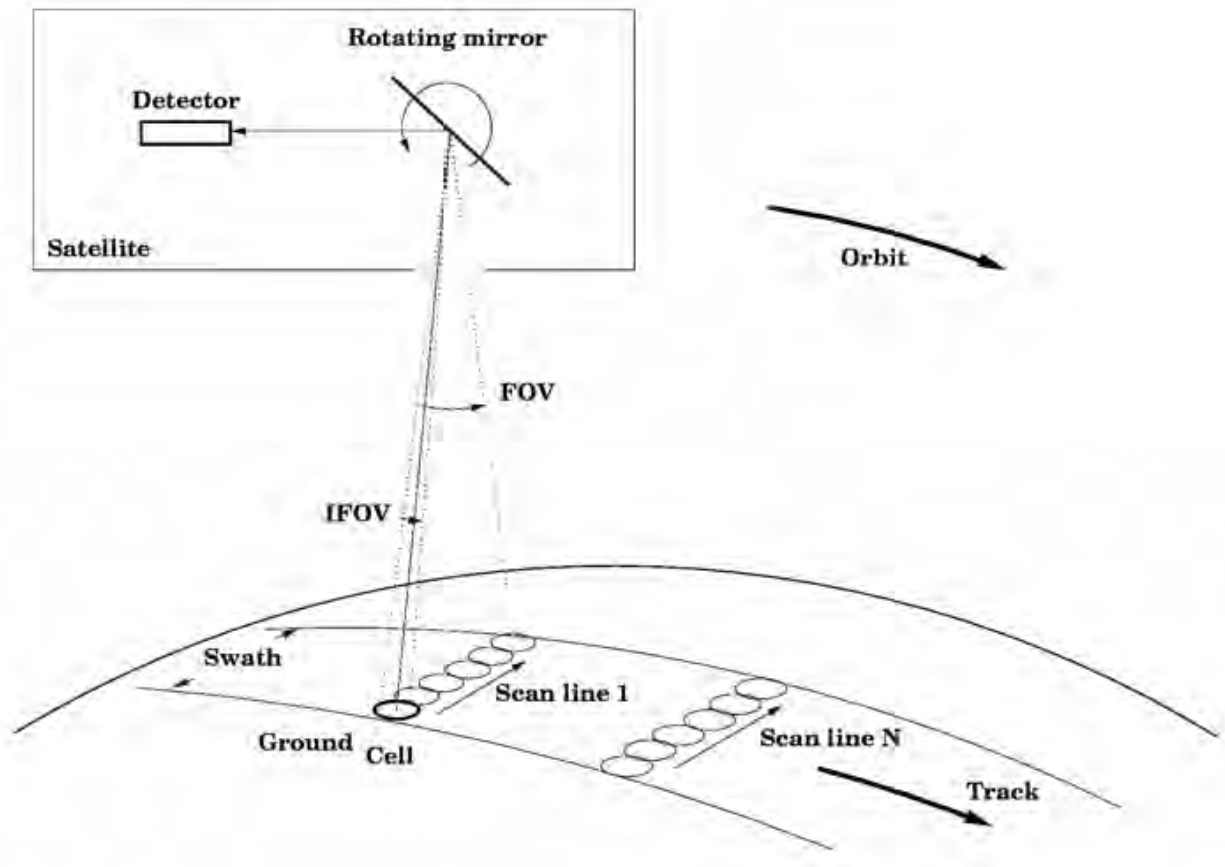


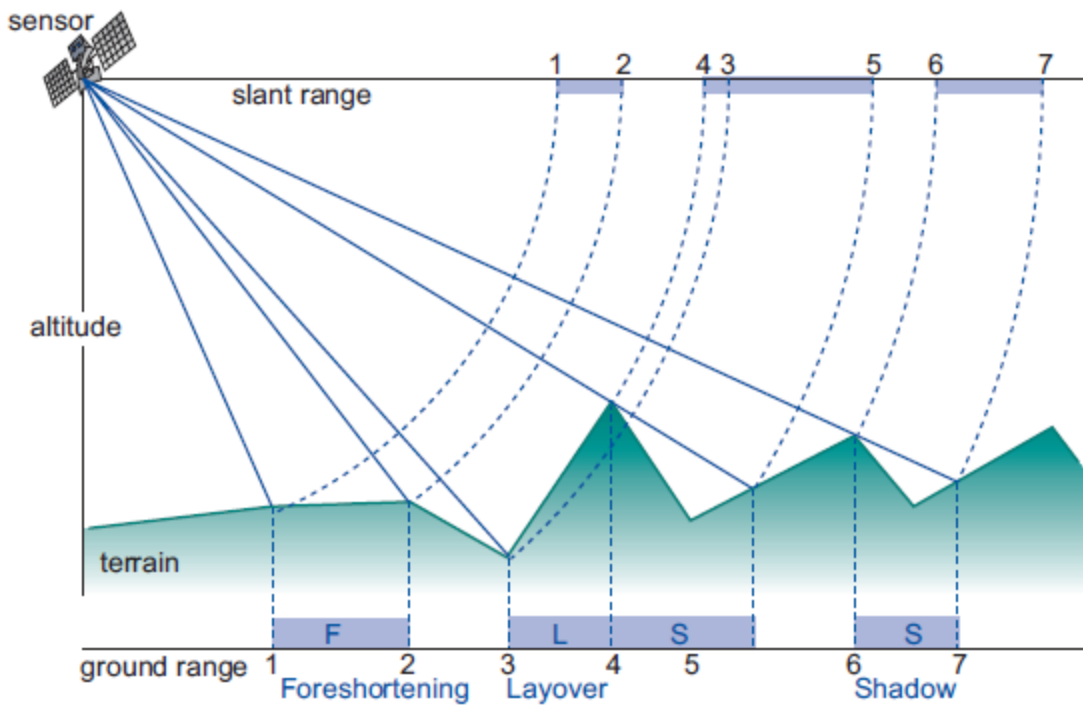
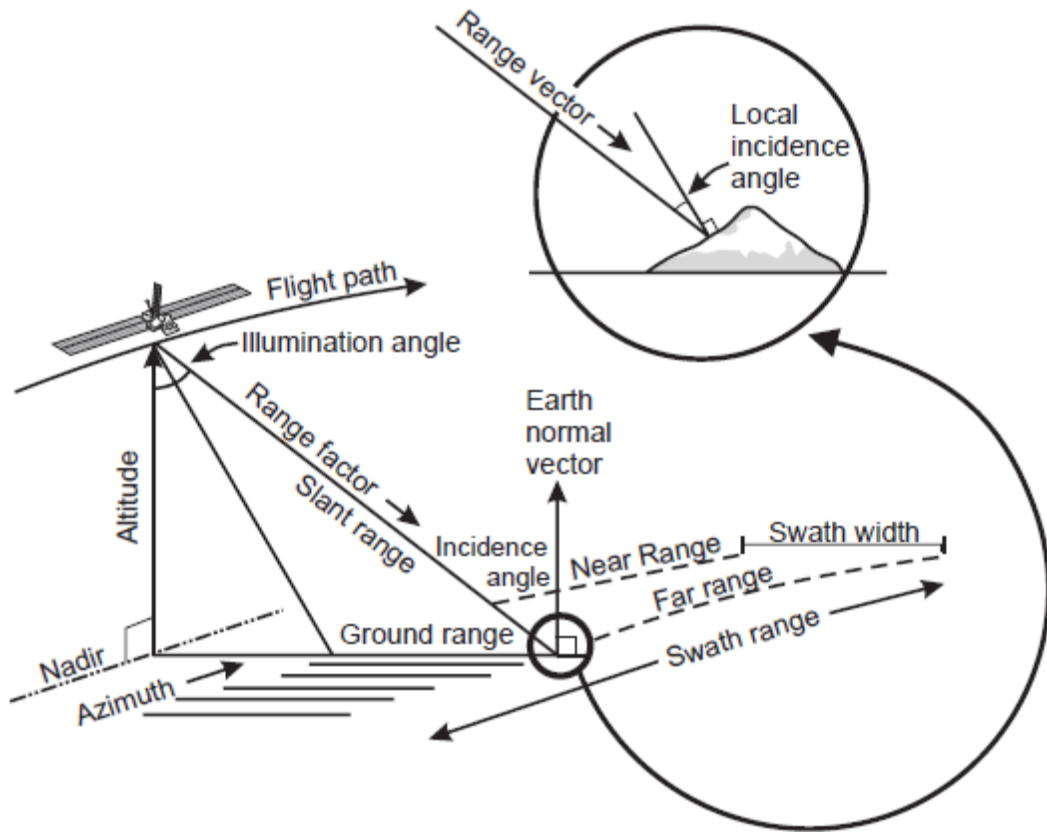


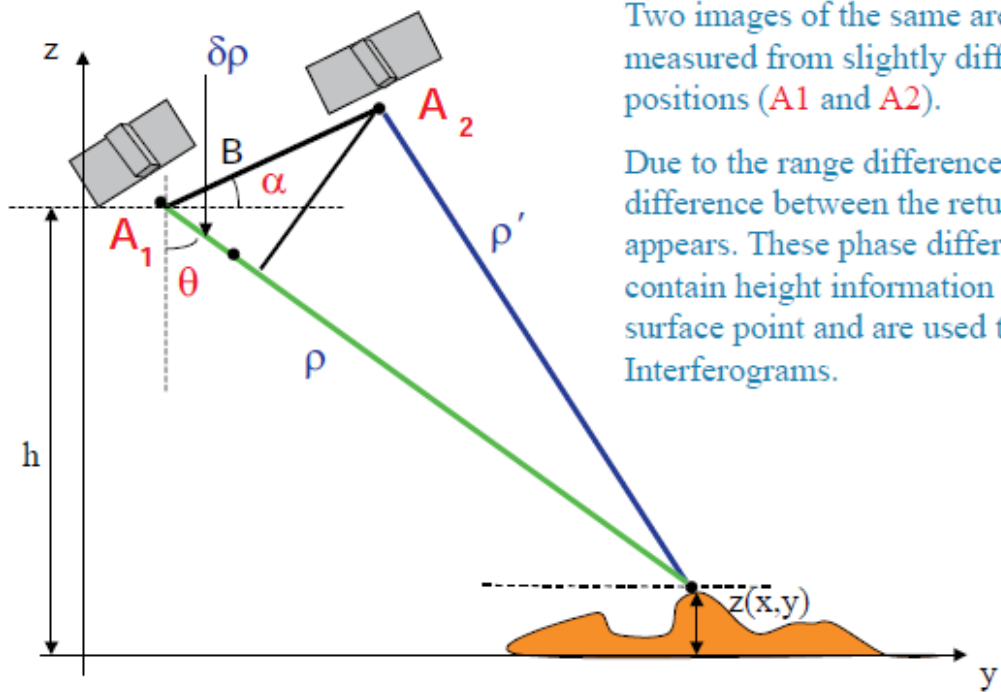






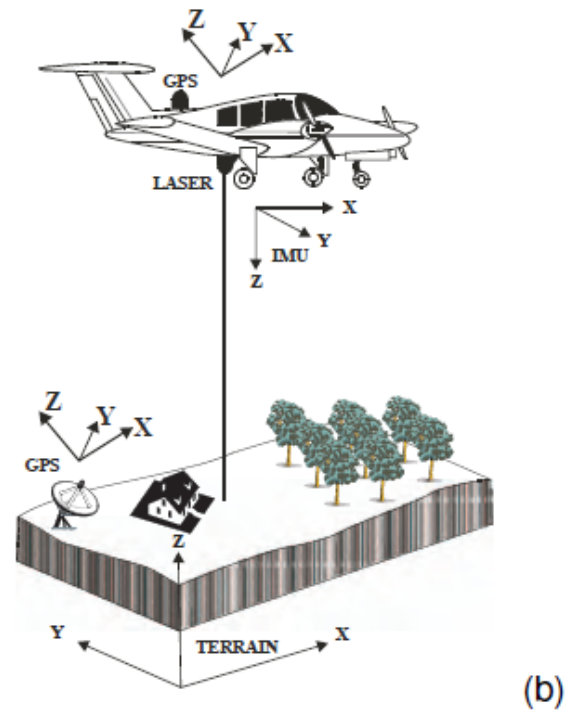
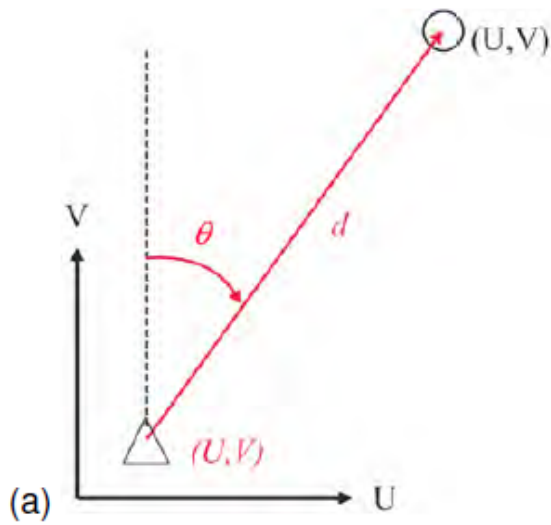


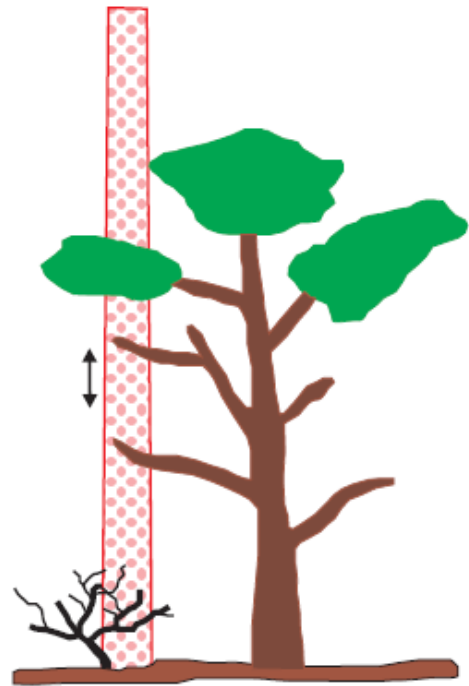
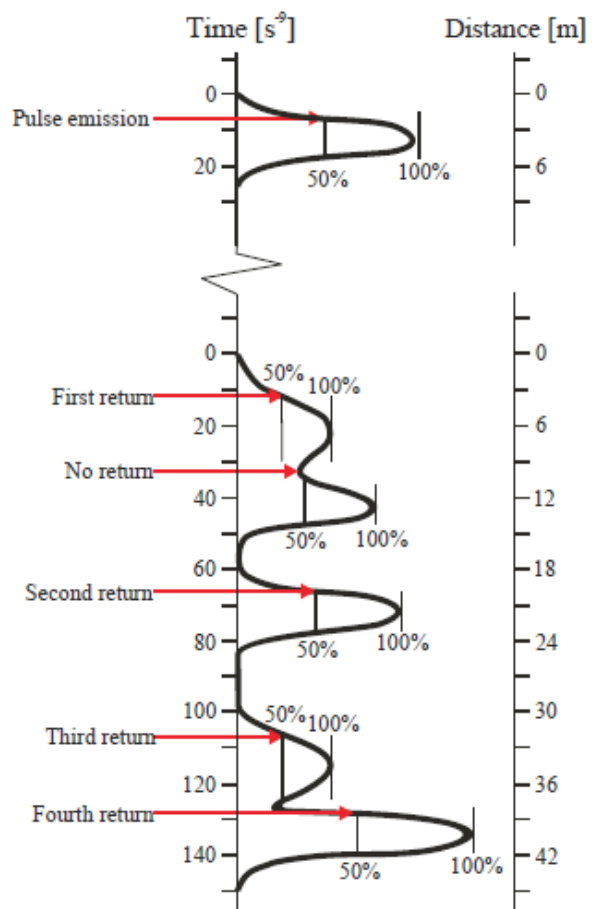


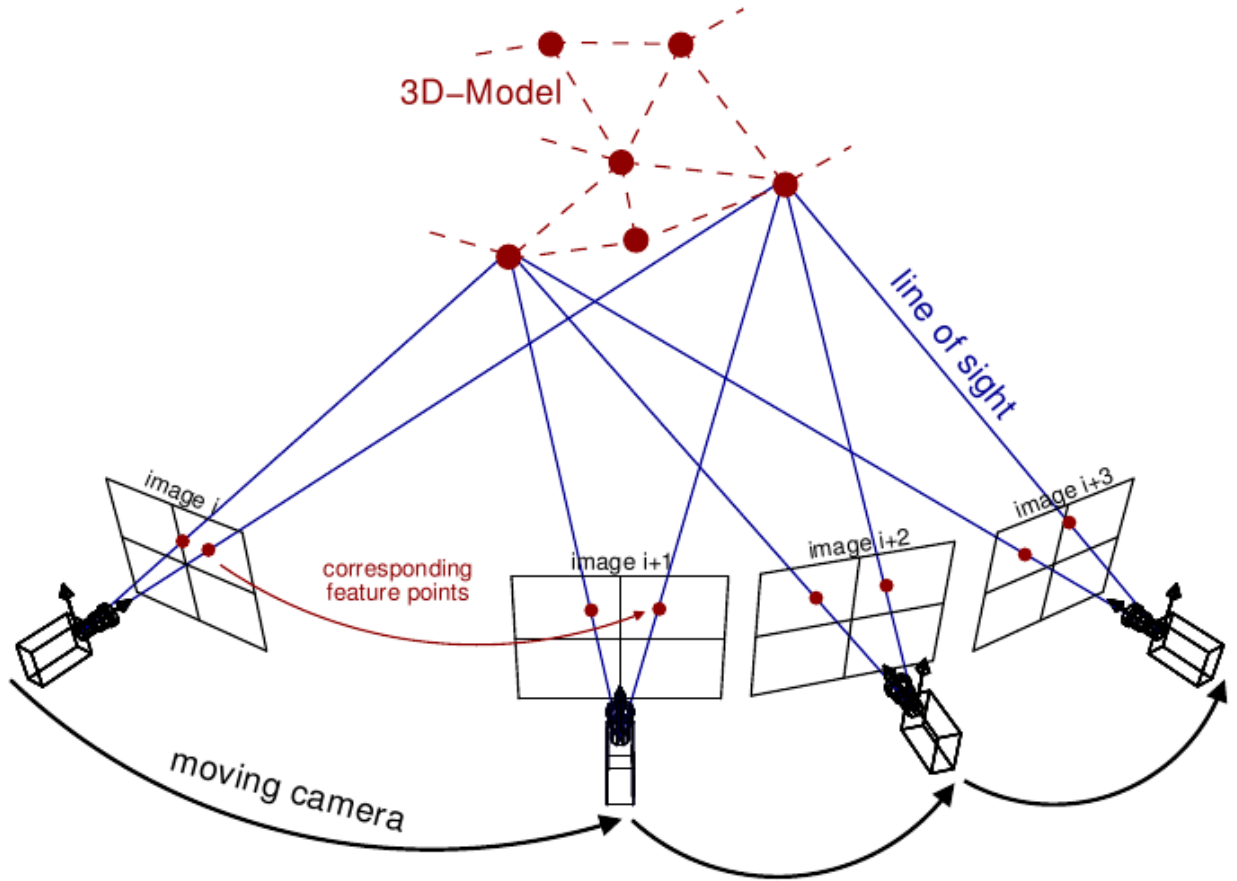


Two images of the same area are measured from slightly different positions ( $A_1$  and  $A_2$ ).

Due to the range difference,  $\delta\rho$ , a phase difference between the return signals appears. These phase differences contain height information of the surface point and are used to create the Interferograms.

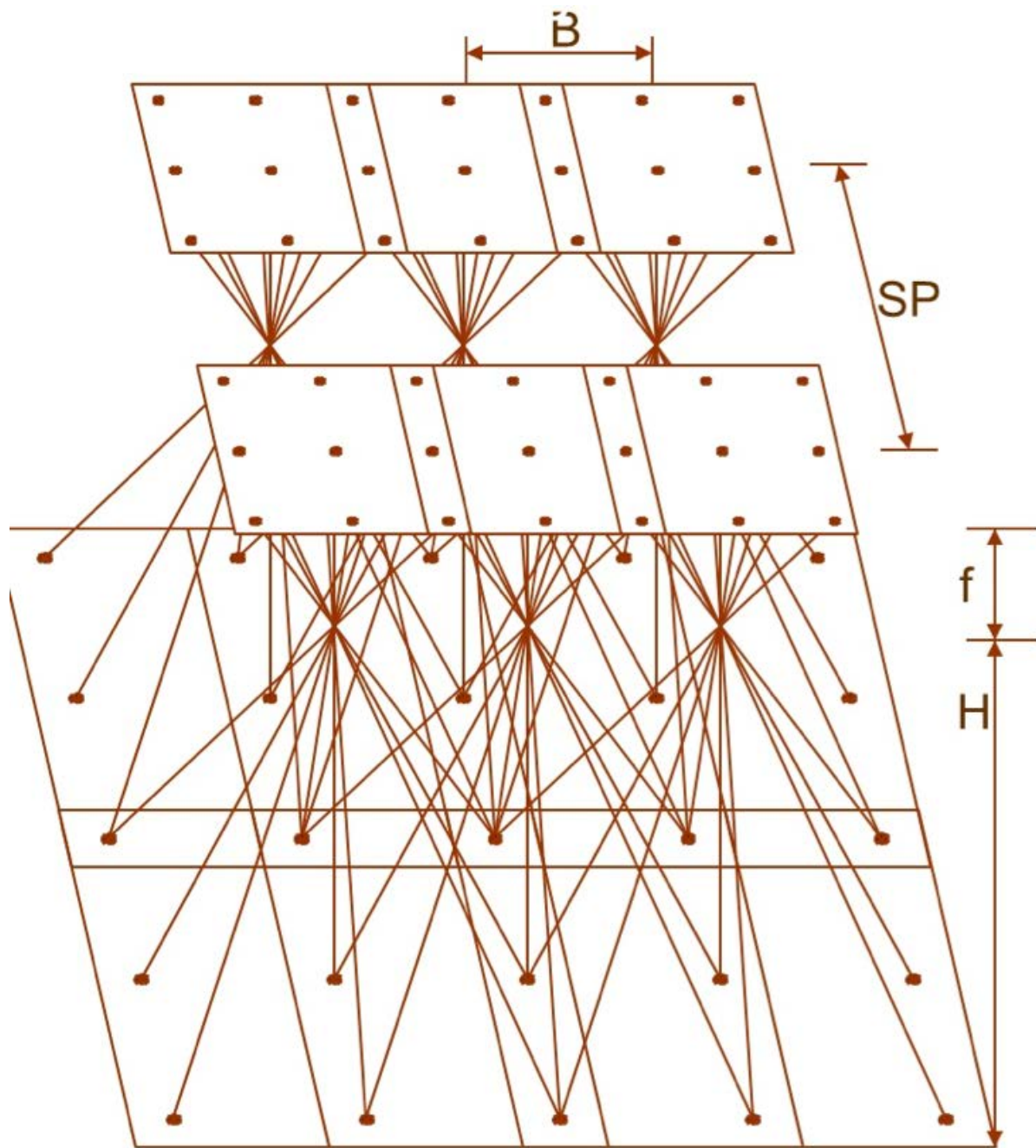


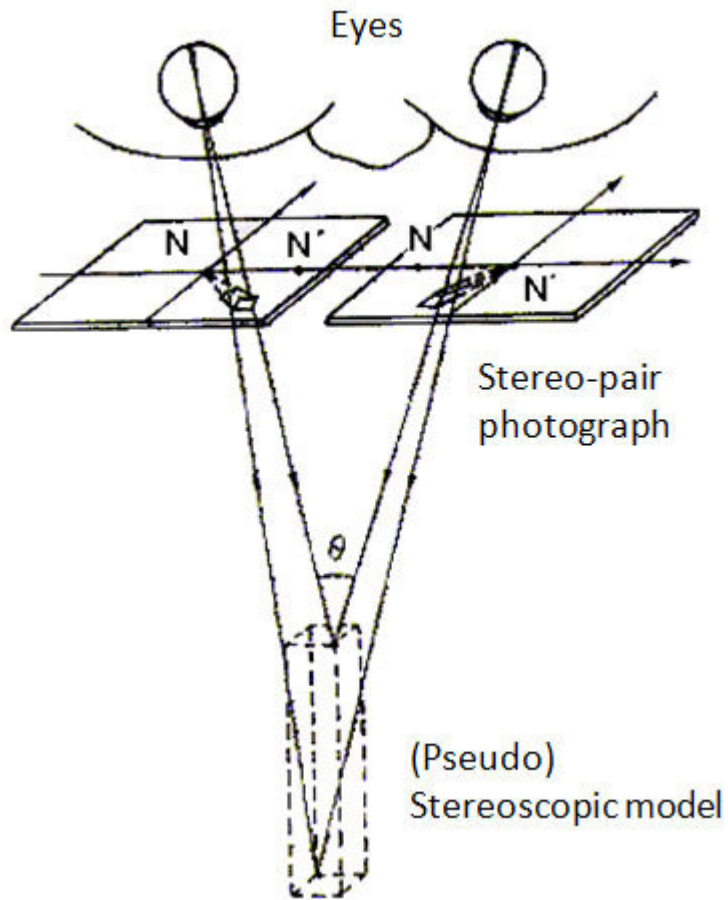














### Atmospheric Windows in the Electromagnetic Spectrum

