

EEM 226**ELECTROMAGNETIC WAVE THEORY I**
INTRODUCTION TO THE COURSE
0C

Prof. S. Gökhun Tanyer

A-404, Department of Electrical-Electronics Engineering.

Faculty of Engineering

Baskent University, Ankara

Phone: (312) 246-66-66 Ext: 1221

gokhuntanyer@baskent.edu.tr

www.researchgate.com

www.linkedin.com

KAYNAKÇA

Üniversitemizde kaynak kitap olarak kullanılmakta olan ve D. Cheng tarafından yayınlanmış kitaplardan aynen faydalanılmıştır.

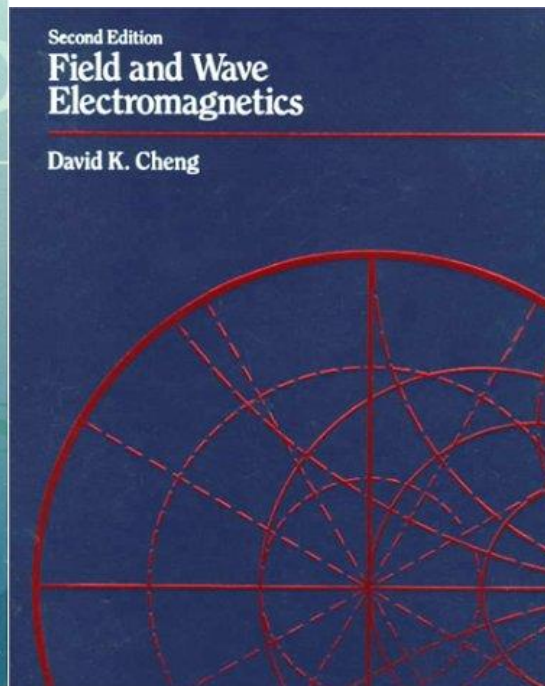
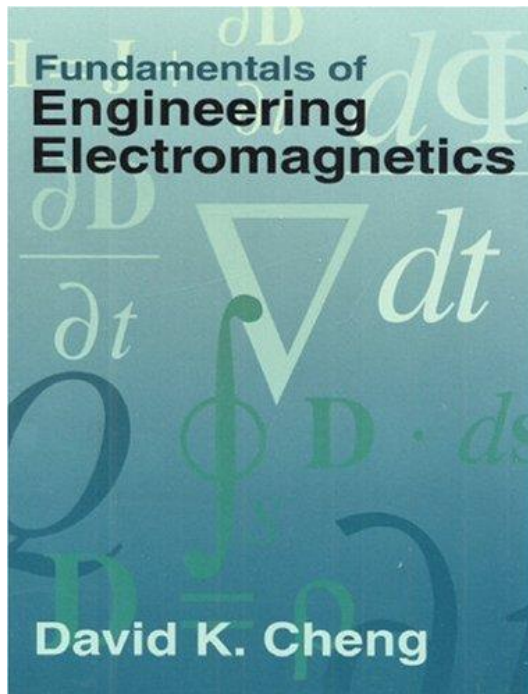
Kaynağı belirtilmeyen ve Dr. S. G. Tanyer tarafından hazırlanmamış olan tüm şekil, tablo, eşitlik ve denklemler vb., *Course Outline* dokümanında yer alan kaynaklardan alınmıştır. Copyright problemlerinden dolayı bu dokümana erişim imkanı sağlanamayacaktır. Doğrudan kaynağın kendisine erişilmesi gerekmektedir.

Ders kapsamında paylaşılan dosyaların basılı ve/veya bilgisayar sürümleri, sadece Başkent Üniversitesi öğrencilerinin kullanımı için hazırlanmıştır. Dokümana erişim sağlayan kişiler tarafından kopyalanması, internet vb. ortamlarda yayınlanması, ancak dokümanın sahibinin izni ile mümkündür.

REVIEW OF ELECTROMAGNETIC WAVE THEORY I

EEM226

We will review 'Static E and H Fields' in this lecture:



Second Edition

Field and Wave Electromagnetics

David K. Cheng

Life Fellow, I.E.E.E.;
Fellow, I.E.E.; C. Eng.

WHY DO WE HAVE THIS COURSE ?

- EEM ELECTROMAGNETIC WAVE THEORY I

RELATED COURSES

AND TOPICS:

EEM 226

Electromagnetic Wave Theory I

EEM 323

Electromagnetic Wave Theory II

EEM 423

Antenna Theory and Electromagnetic Propagation

EEM 424 Microwave Theory and Applications

EEM 538/649, EEM 549/649



SOME OF THE KEYWORDS:

Vector algebra

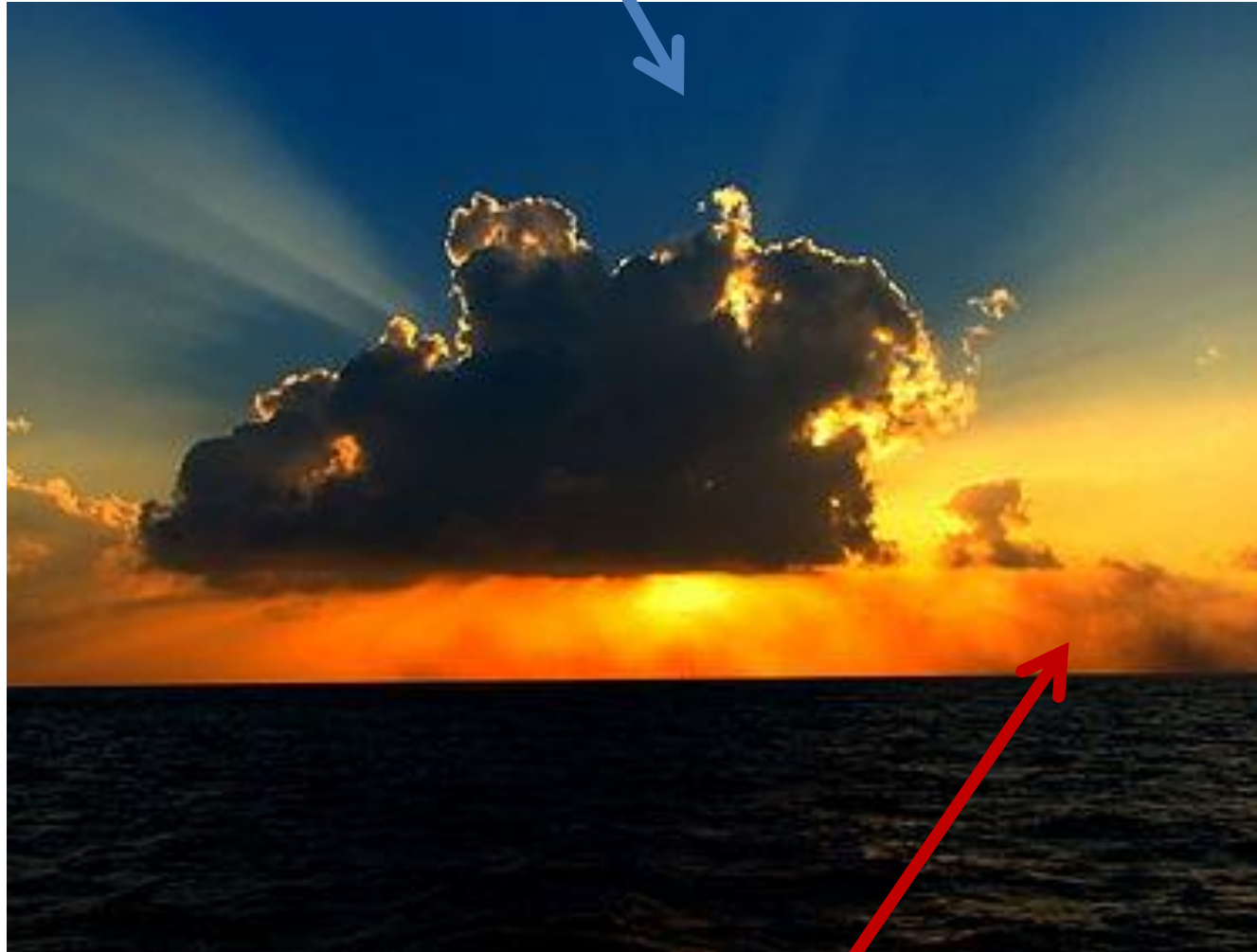
Line, surface and volume integrals

Vector operators

Wave dynamics

- Understanding of sound, water and EM waves
- Wave equations in their general form
- Static fields for E and H
- Time varying fields, Wave dynamics and **STANDING WAVES !**
- Electromagnetic waves and **LIGHT**

QUESTION: Why is the sky blue?

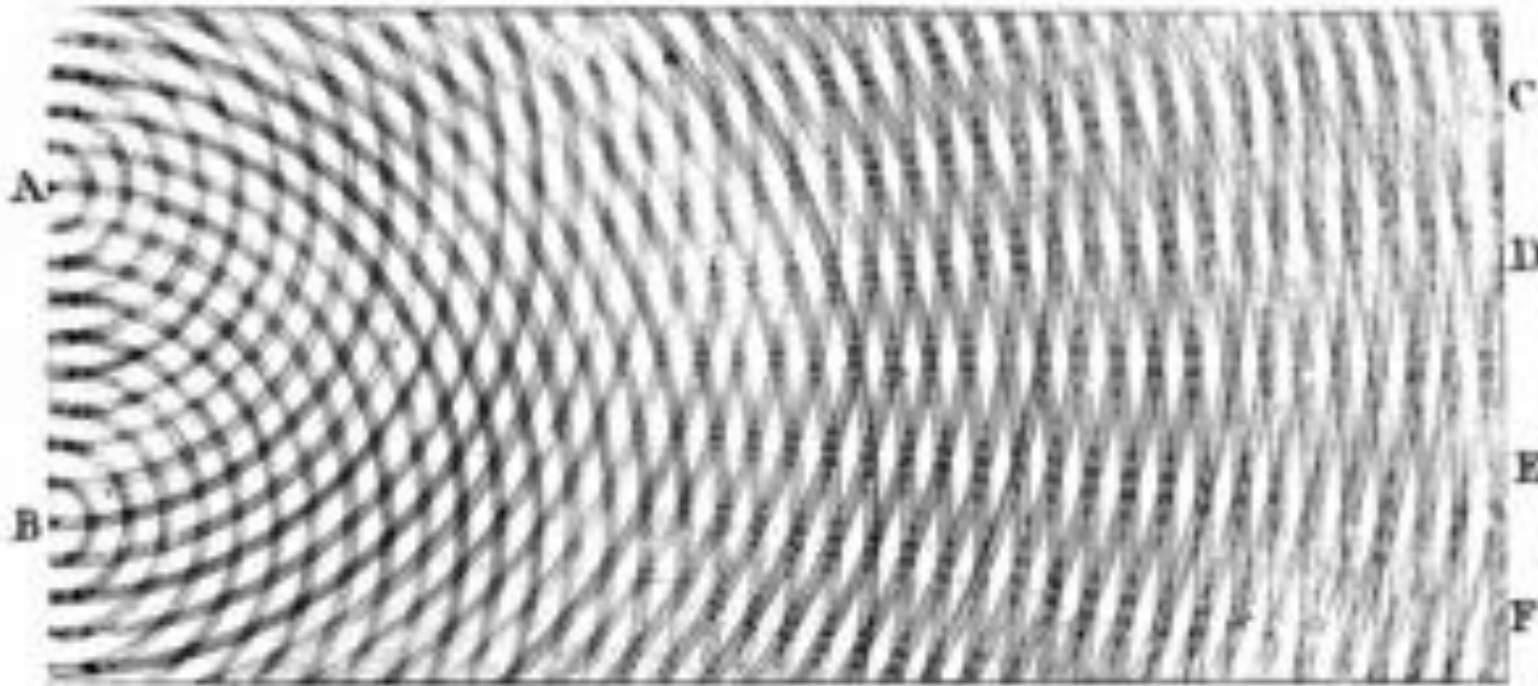


THEN, WHY IS THE SUNSET RED?

HOMEWORK 1 (Internet): What is Rayleigh scattering? Explain.

PARTICLE AND WAVE PROPERTIES OF LIGHT.

HOW DO YOU DEFINE INTERFERENCE?



HOMEWORK 1 (Internet): What is interference? Explain.

WHAT IS POLARIZATION?



HOMEWORK 1 (Internet): What is polarization? Explain.

HISTORY OF ELECTROMAGNETICS



Charles-Augustin de Coulomb (1736 – 1806)



Carl Friedrich Gauss (1777-1855)

He is sometimes referred to as the **Princeps mathematicorum** [1] (Latin, "**the Prince of Mathematicians**" or "the foremost of mathematicians") and "**greatest mathematician since antiquity**".

Gauss had a remarkable influence in many fields of mathematics and science and is ranked as one of history's most influential mathematicians.[2]

[en.wikipedia.org]



LAPLACE'S EQUATION

Pierre-Simon Laplace (1749-1827)

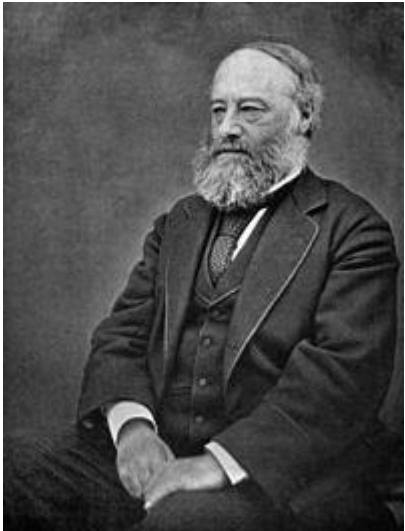


POISSON'S EQUATION

Siméon Poisson (1781-1840)



Georg Simon Ohm (1789-1854)



James Prescott Joule (1818-1889)



Jean-Baptiste Biot (1774-1862)



Félix Savart (1791-1841)



André-Marie Ampère (1775-1836)



Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894)



Michael Faraday
(1791, 1867)



James Clerk Maxwell (1831–1879)

GİRİŞ

Elektromanyetik dersi, mühendislik dalının en temel konularından biridir. Elektrik ve manyetik alan ile ilgili kurallar, bir çok elektrik, elektronik ve manyetik cihazın çalışma prensiplerini anlamada temel oluşturur. Uzaktan

algılama gibi konuların anlaşılmasında doğanın elektromanyetik ile ilgili kurallarının iyi bilinmesi gereklidir.

Elektromanyetik değişkenler ve öğreneceğimiz fonksiyonları uzayda üç boyutlu olmaları ve zaman içerisinde değişim gösterebildiklerinden dolayı, **üç boyutlu uzay ve zaman koordinatlarını** göreceğiz.

Elektromanyetik dersinde çok önemli mühendislik altyapısı sağlanarak “iyi bir mühendis olabilmenin bir anahtarı” olan “Vektör Analizi” konusu öncelikle işlenecektir. Bu kapsamda, koordinat sistemleri, skaler ve vektörün tanımları, skaler ve vektör işlemleri, “**Artış vektörü Gradient**”, “**Iraksama miktarı (Divergence)**”, “**Bukle (Curl)**” operatörleri. Michael Faraday’ın elektrik ve manyetik alanının ilişkisini hissedip matematiksel olarak ifade edemediği ve o günlerde çok aradığı tarihi önemi olan operatörlerdir.

Bu ders kapsamında, elektrik-elektronik mühendisliğinde çok önemli yeri olan; elektrik motorları, elektrik iletim hatları, dalga kılavuzları, antenler, anten dizileri ve radar sistemleri için temel altyapı verilecektir.

Elektrostatics: DURGUN ALAN

Electromagnetics: Sabit veya zamanla değişken elektrik ve manyetik alanının incelendiği bilim alanı.

Batı tarihinde geçen ilk çalışma: Antik Yunan Thales amber taşıyı ipek veya yüne sürttüğünde saman veya kağıt parçalarını çektiğini keşfetti (veya bu Mısırlılardan öğrenilmişti). Bunun kaynağı olarak amberi gösterdi. Antik yunancada **kehribar=elektron**. Diğer terimler de buradan çıkmıştır.

Michael Faraday: bir ciltçi çırağıydı. Hayatı boyunca düzgün bir eğitim fırsatı bulamamıştır. Endüstri çağının bilime meraklı halk gruplarının düzenledikleri kahvehanelerdeki bilimsel sohbetlerle merakı derinleşmişti. O günlerde üç kuvvet; yer çekimi, elektrik ve manyetik kuvvetlerin bir bütün olduğuna inanılıyor ancak ispatlanamamıştı.

Hans Orsted tarafından elektrik akımının açılması/kapatılması ile mıktatıs ibresinin titrediği bulunmuştu.

SORU: Neden sürekli değil de anlık? (Türevin hissedilmesi) Faraday bu olay ile, elektrik alanının değişimi ile mıktatıs yaratmanın mümkün olduğunu anlamıştır.

SORU: Elektrik ile manyetik alan yaratılıyor ise neden manyetik alanla elektrik yaratılamıyor? (Daha sonrasında elektrik motorunu temellerini icat etmişti. Tarih: 29 Ağustos 1831)

Charles-Augustin Coulomb: elektrik alanının uzaklığın karesi ile azaldığını buldu.

Alessandro Volta: pili icat etti.

James Clerk Maxwell: Zaman içinde değişim gösteren elektrik akımı manyetik alan, hareket eden mıknatıs elektrik alanı yaratıyordu. Ancak, matematiksel bir ifade bulunamamıştı. Maxwell Faraday'ın buluşunu matematiksel denklemler haline getirdi. Tarih: 1865.

EEM 224 ve EEM 323 derslerimize doğrudan katkıda bulunmuş olan bazı önemli bilim adamları:

**Ampere
Coulomb
Decartes
Edison
Faraday
Fraunhoffer
Fresnel
Friis
Gauss
Gilbert
Green
Guericke
Helmholtz
Henry
Hertz
Huygens
Joule**

**Kirchhoff
Laplace
Leiden
Lenz
Lorentz
Ohm
Orsted
Pointing
Siemens
Snell
Stoke
Maxwell
Michelson
Tesla
Volta
Weber**

HISTORY OF LIGHT AND THE SPEED OF LIGHT:

Speed of light claim

Empedocles

Finite

Aristotle

It is not a movement !

Euclid

Light is emitted from the eye

Ptolemy

Light is emitted from the eye

Heron of Alexandria

Infinite

Alhazen (Ibn al-Haytham)

Light moves from an object into the eye,
Speed is finite and decreases in denser bodies !

Abü Rahyan al-Birüni

Finite and much faster than speed of sound.

Kepler

Infinite !

Descartes

Infinite !

Pierre de Fermat

Finite speed, slower in denser medium

Rømer

Estimate / measurement of light

Huygens	Estimate / measurement of light (220,000 km/s)
Newton	Measurement – All colors travel in space at the same speed
Fizeau	Speed: 315,000 km/s
Foucault	298,000 km/s
Kirchhoff	Measurement of electric signals along the wire
Maxwell	Equation of light, LIGHT = EM WAVE
Michelson and Morley	Measurement of the speed of light
Lorentz	
Poincare	
Einstein	

NBS (National Institute of Standards and Technology) in Boulder, Colorado determined the speed of light in vacuum to be
 $c = 299\,792\,456.2 \pm 1.1 \text{ m/s}$.

The remaining uncertainty was mainly related to the definition of the metre.

The 15th Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) in 1975 recommended using the value $299\,792\,458 \text{ m/s}$ for the speed of light

REDEFINITION OF METER: The metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of $1/299\,792\,458$ of a second (SI system of units)

FASTER-THAN-LIGHT NEUTRINO ANOMALY

In 2011, the OPERA experiment mistakenly observed neutrinos appearing to travel faster than light. Even before the mistake was discovered, the result was considered anomalous because speeds higher than that of light in a vacuum are generally thought to violate special relativity, a cornerstone of the modern understanding of physics for over a century.

[en.wikipedia.org]

BACK TO OUR REVIEW – EMT 1 & 2

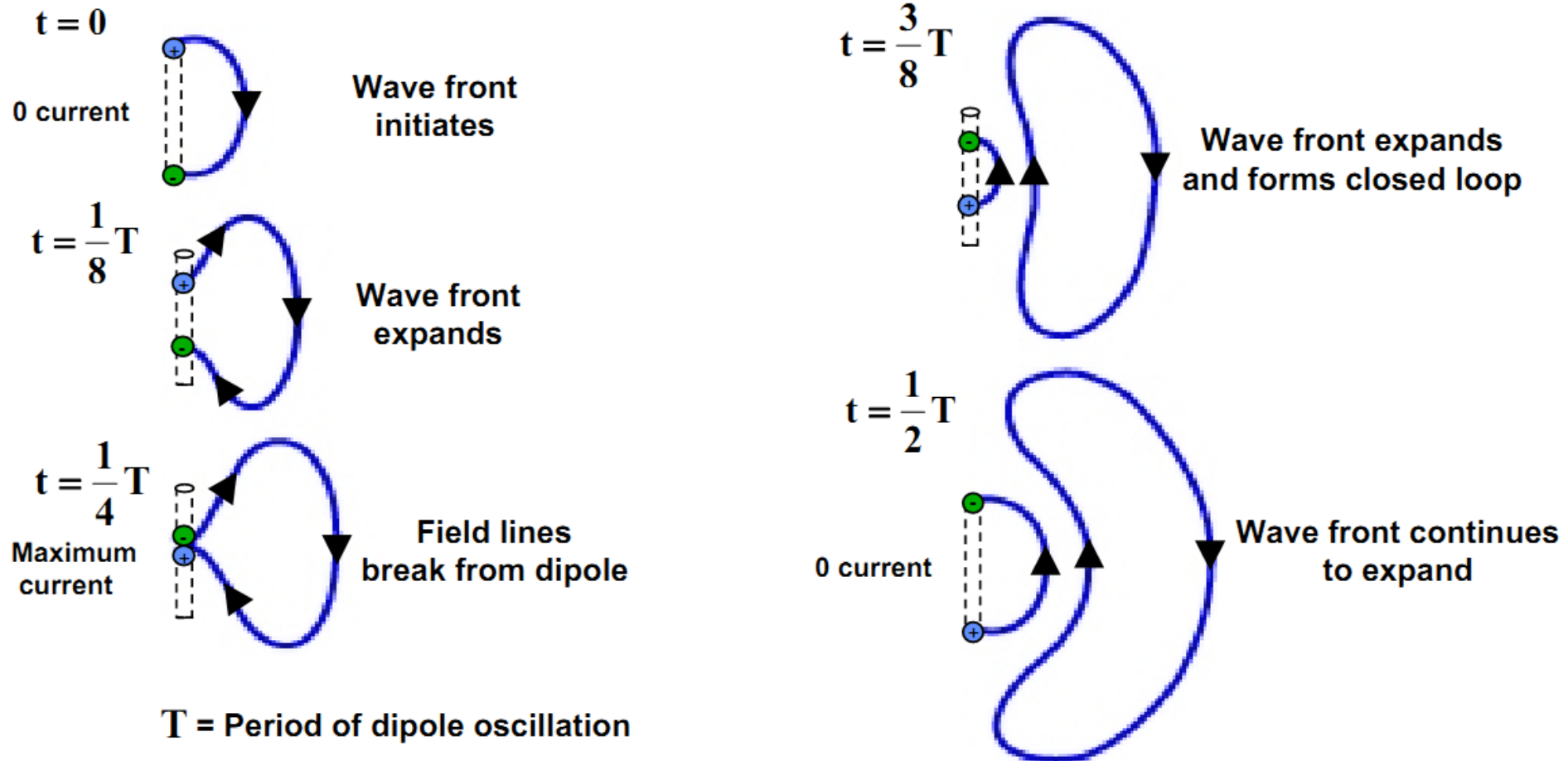
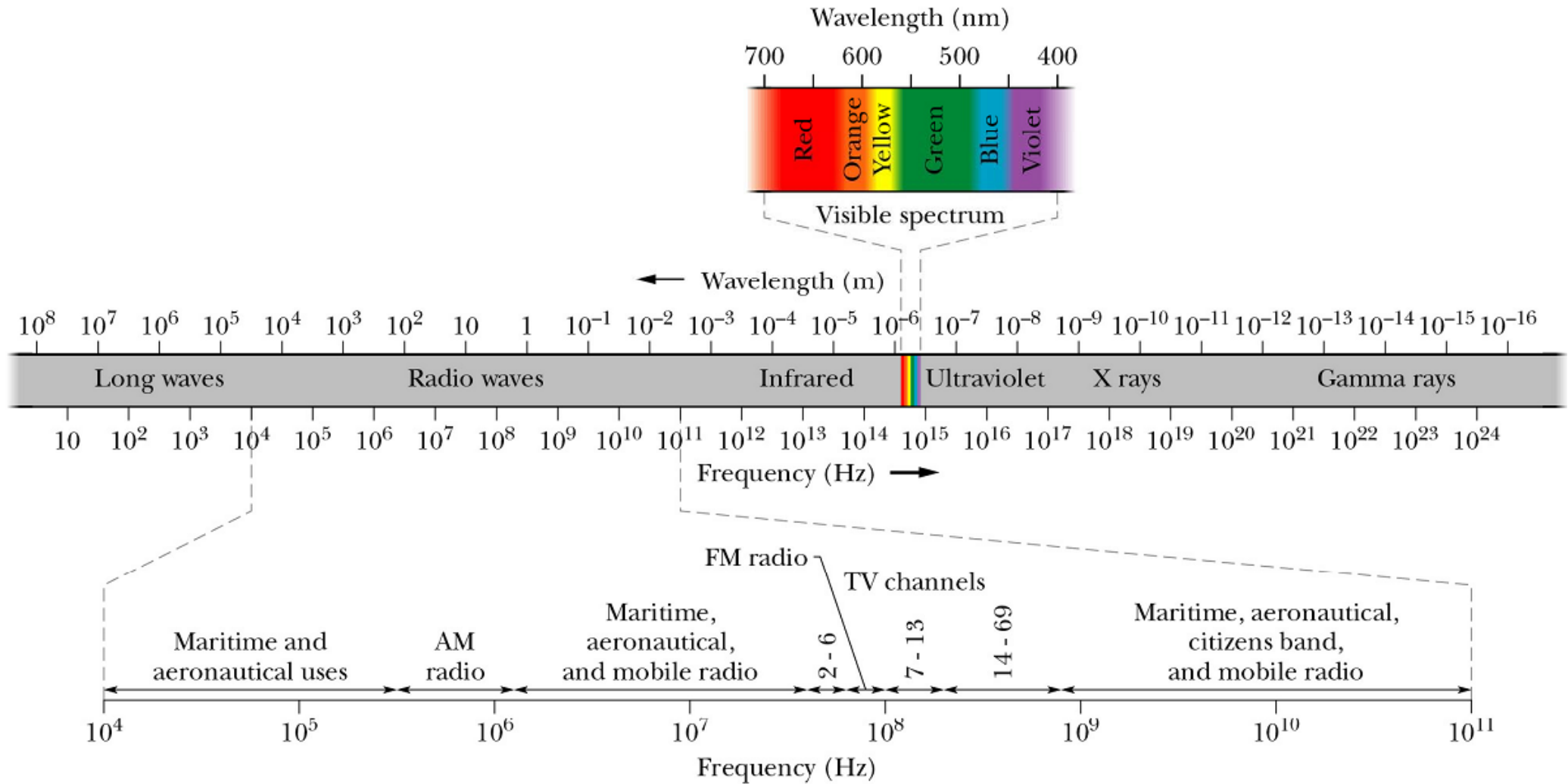


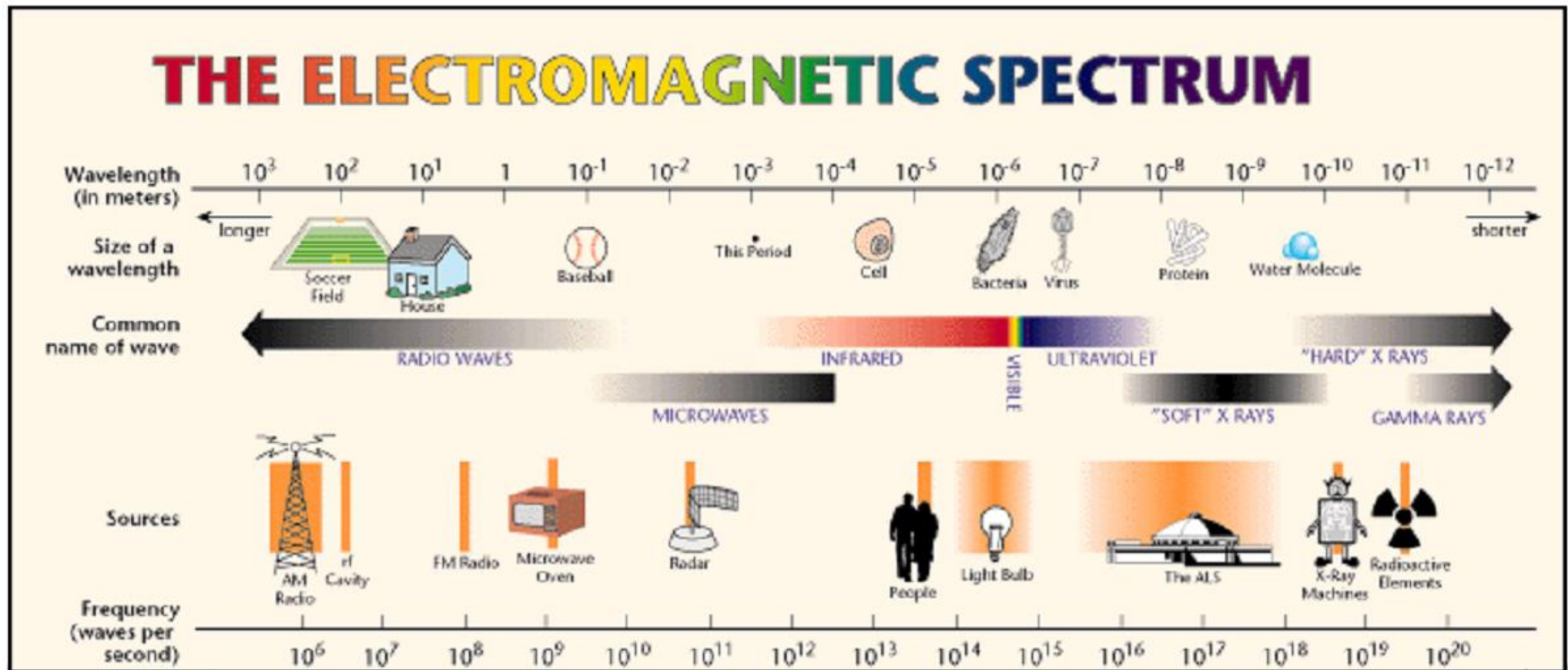
Illustration of propagation and detachment of electric field lines from the dipole
Two charges in simple harmonic motion

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



[S-O. PARK]

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

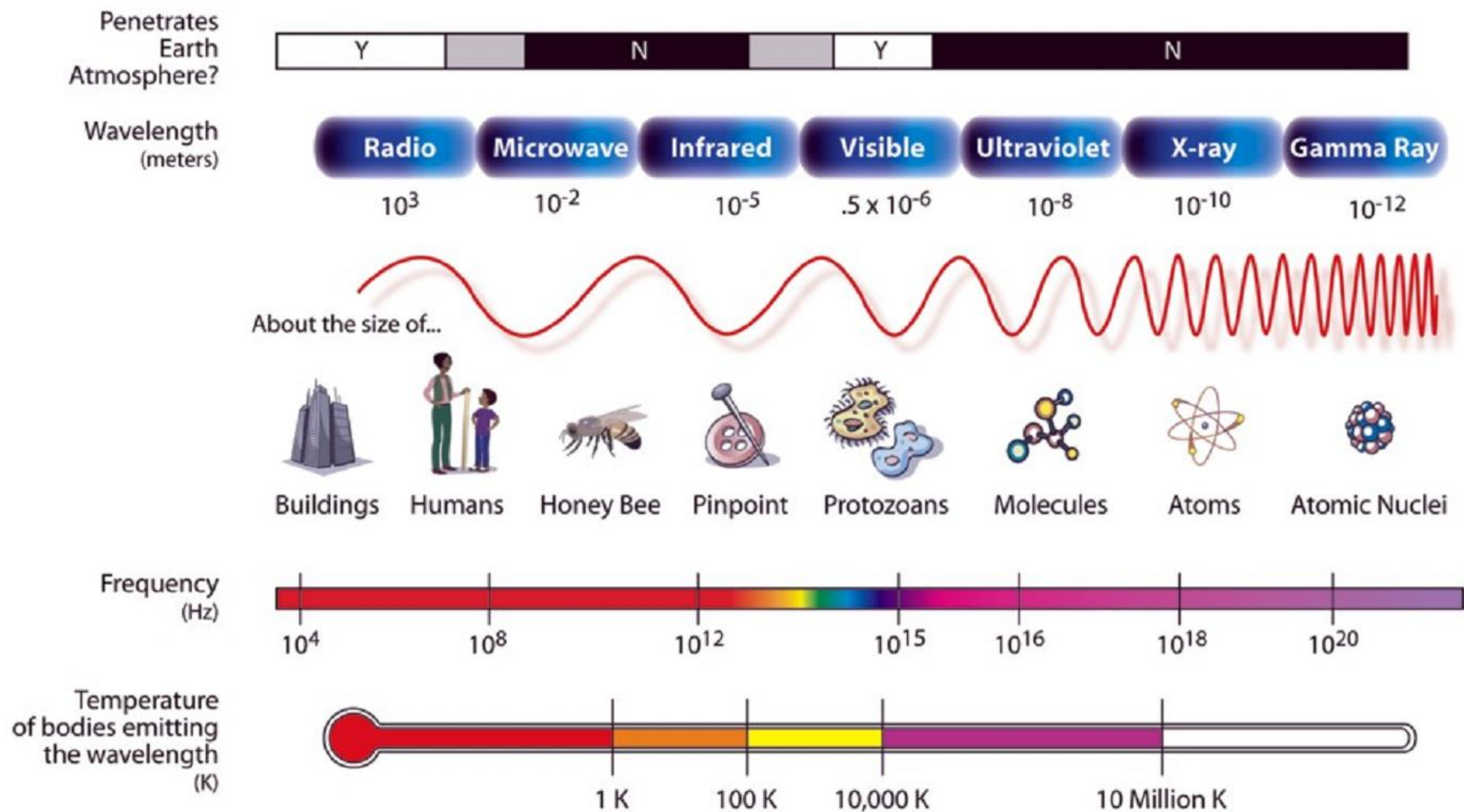


Courtesy Berkeley National Laboratory

Radar Frequencies

[R. M. O'DONNELL]

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



[KEVIN CHEN]

Microwaves as part of the electro magnetic spectrum

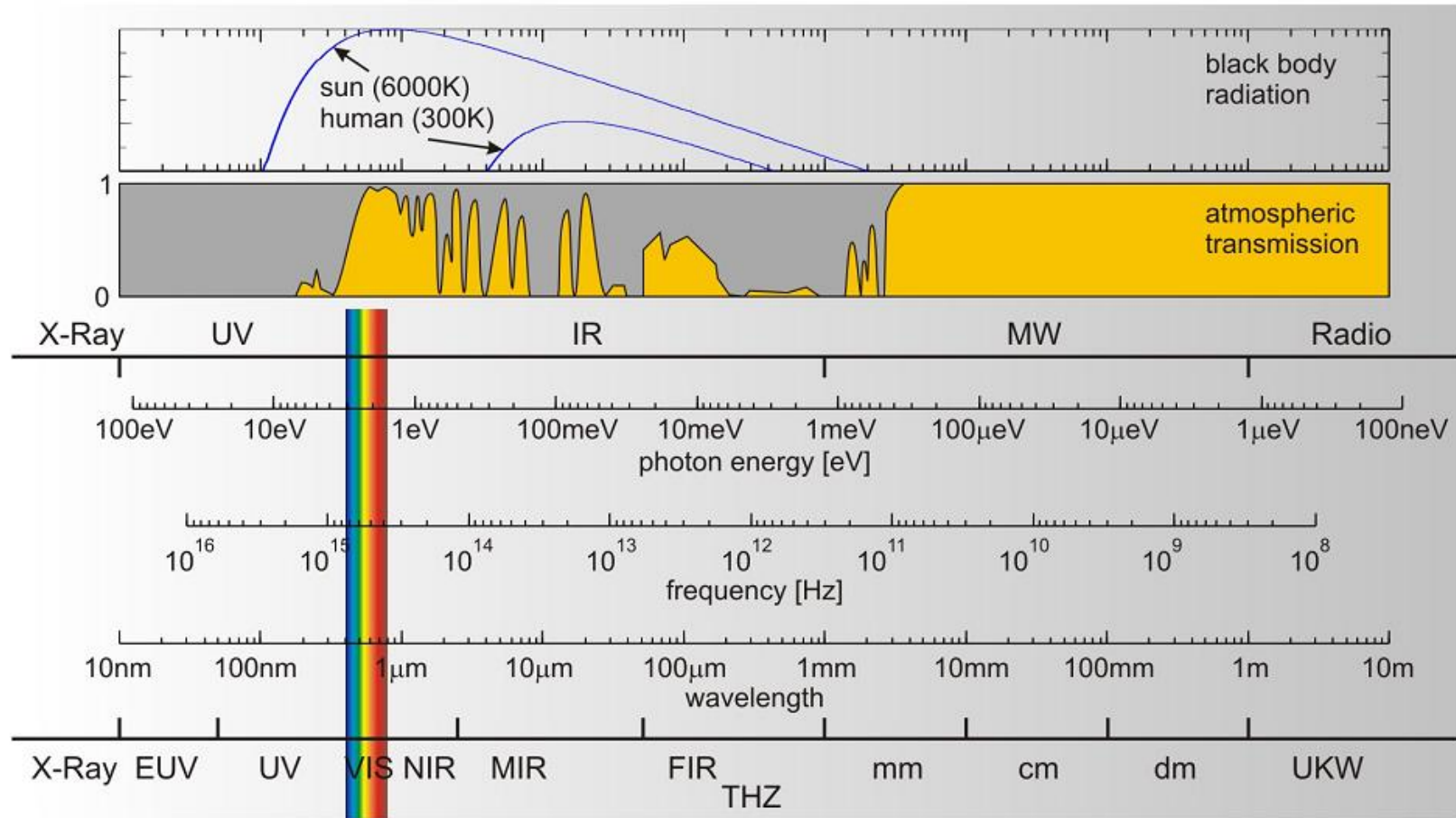
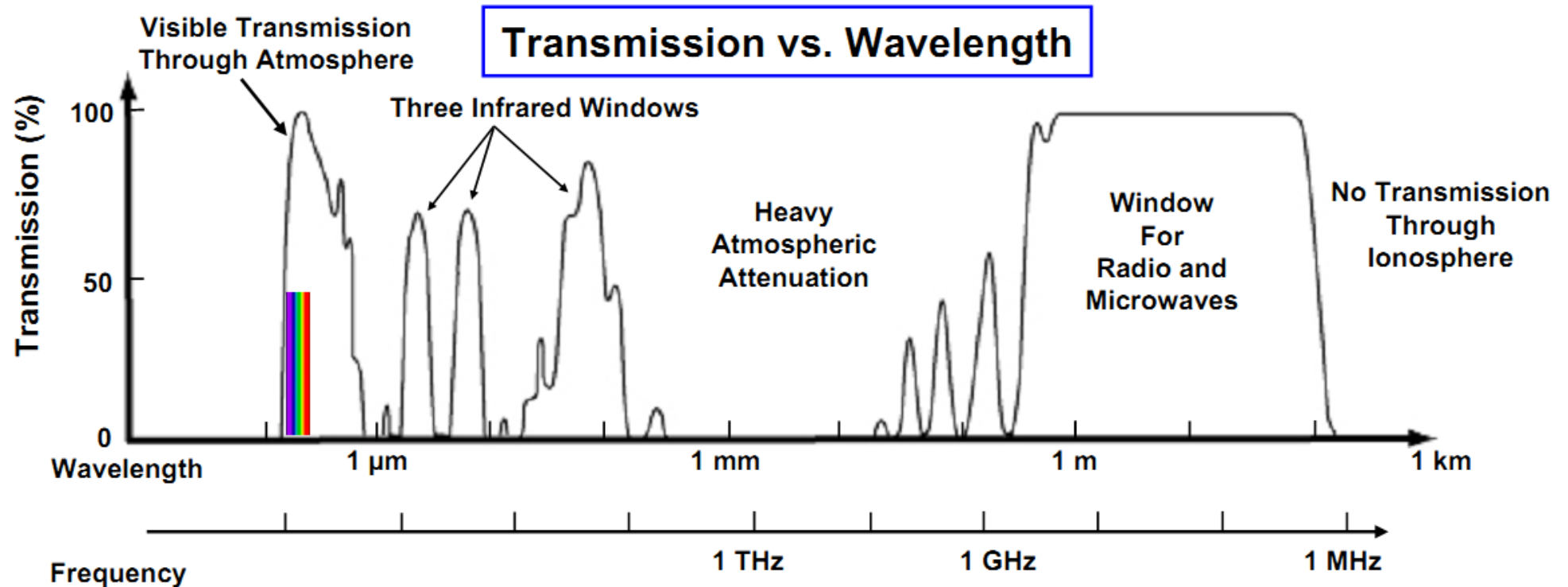


Figure from Th.Feurer

$$\lambda[\text{mm}] = \frac{300}{\nu[\text{GHz}]}$$

[KAMPFER, MURK]

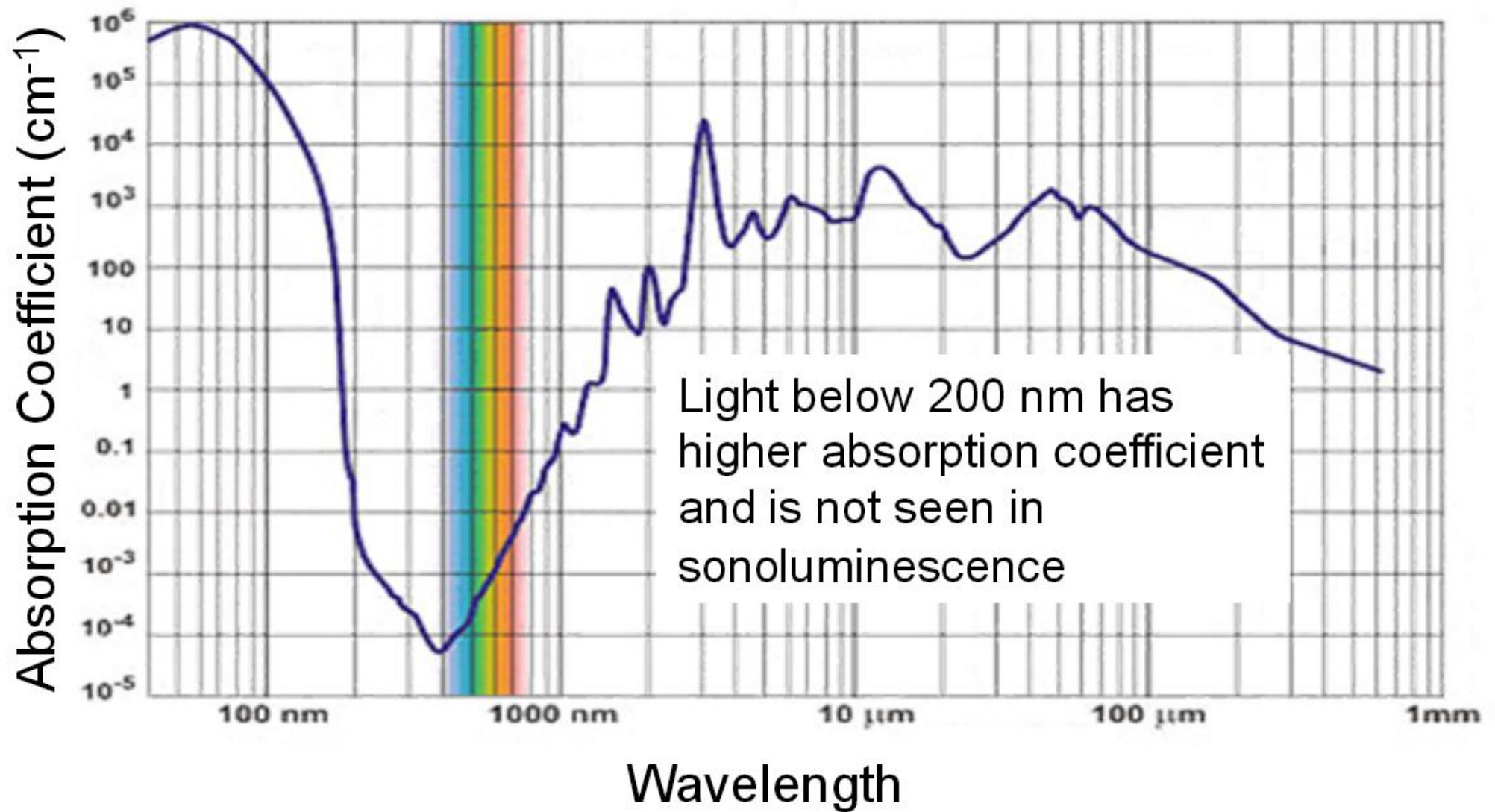
WHY MICROWAVES ?



The microwave region of the electromagnetic spectrum (~3 MHz to ~ 10 GHz) is bounded by:

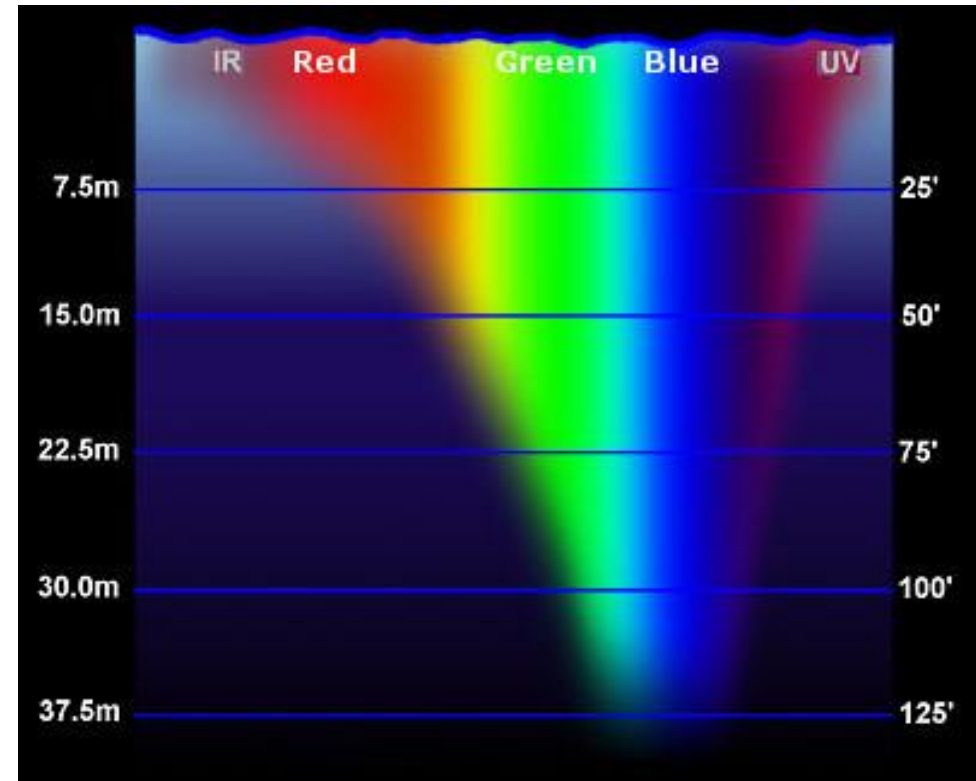
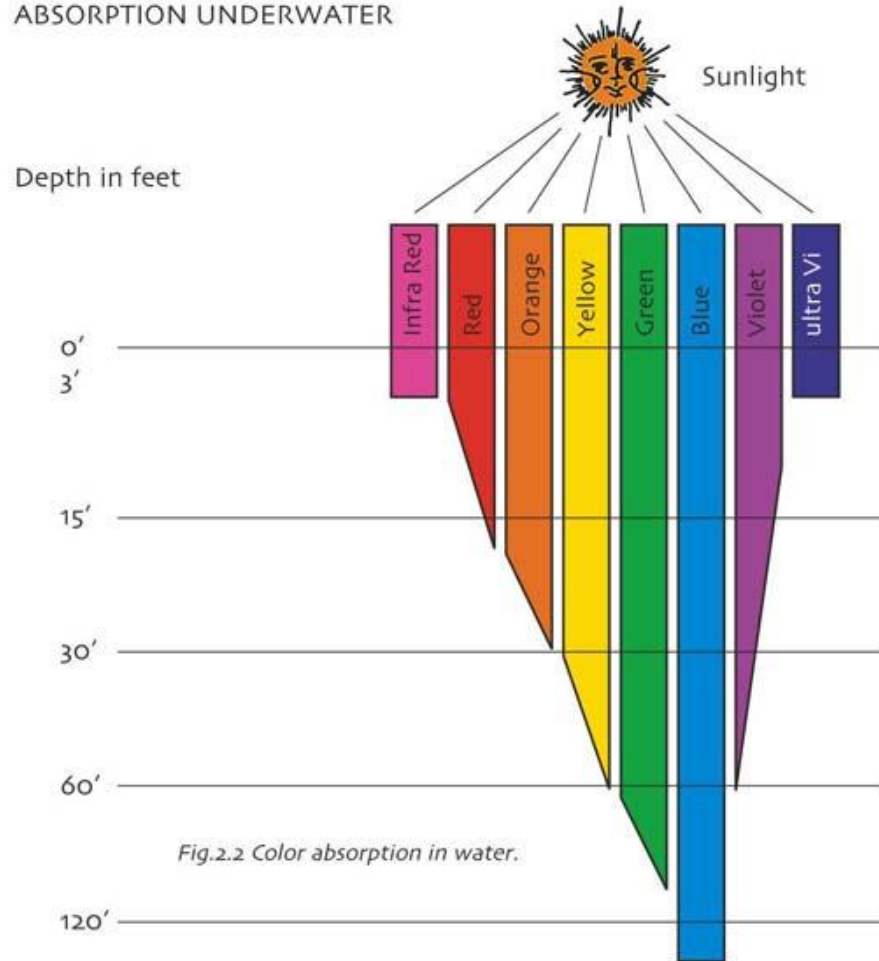
- One region (> 10 GHz) with very heavy attenuation by the gaseous components of the atmosphere (except for windows at 35 & 95 GHz)
- The other region (< 3 MHz), whose frequency implies antennas too large for most practical applications

EM ABSORPTION IN WATER



EM ABSORPTION IN WATER

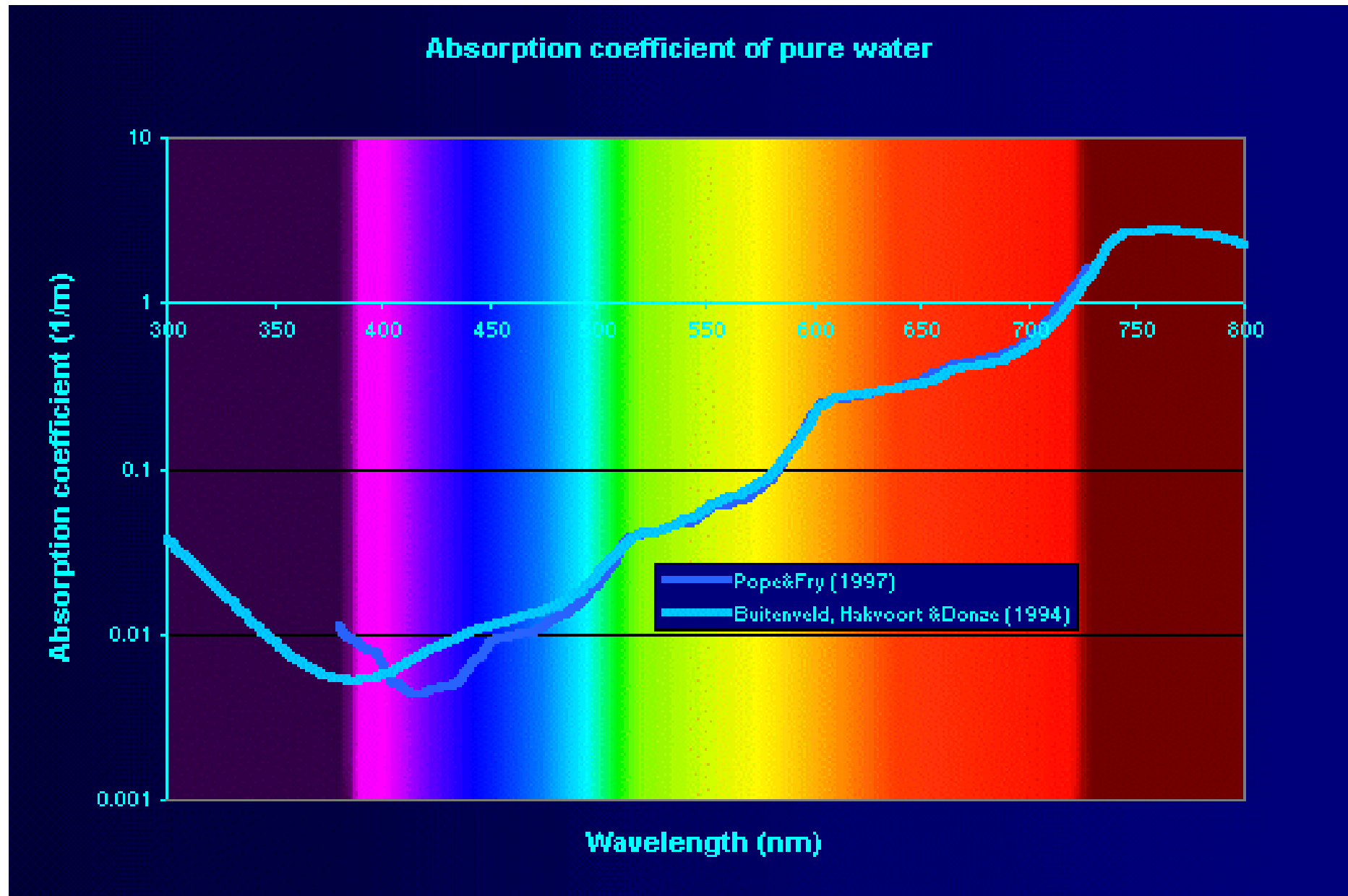
SELECTIVE COLOR
ABSORPTION UNDERWATER



[\[http://www.johneasley.com/Instruction.aspx\]](http://www.johneasley.com/Instruction.aspx)

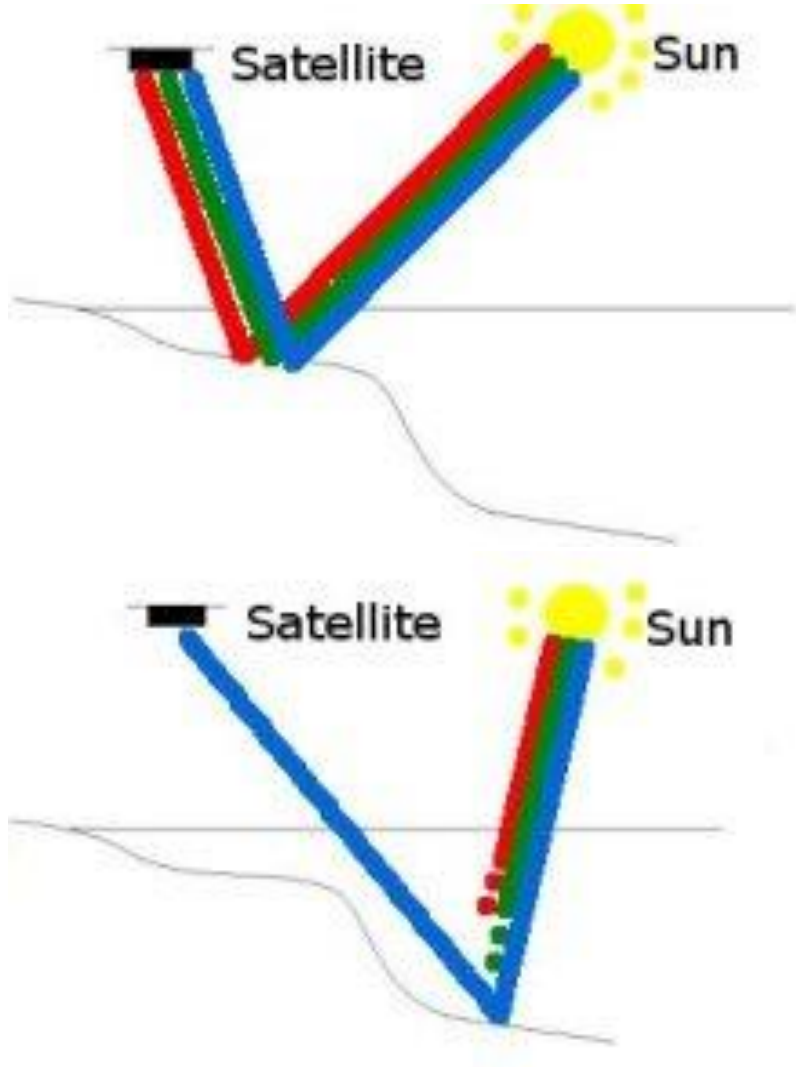
[\[http://www.seos-project.eu/modules/coralreefs/coralreefs-c05-p04.html\]](http://www.seos-project.eu/modules/coralreefs/coralreefs-c05-p04.html)

EM ABSORPTION IN WATER

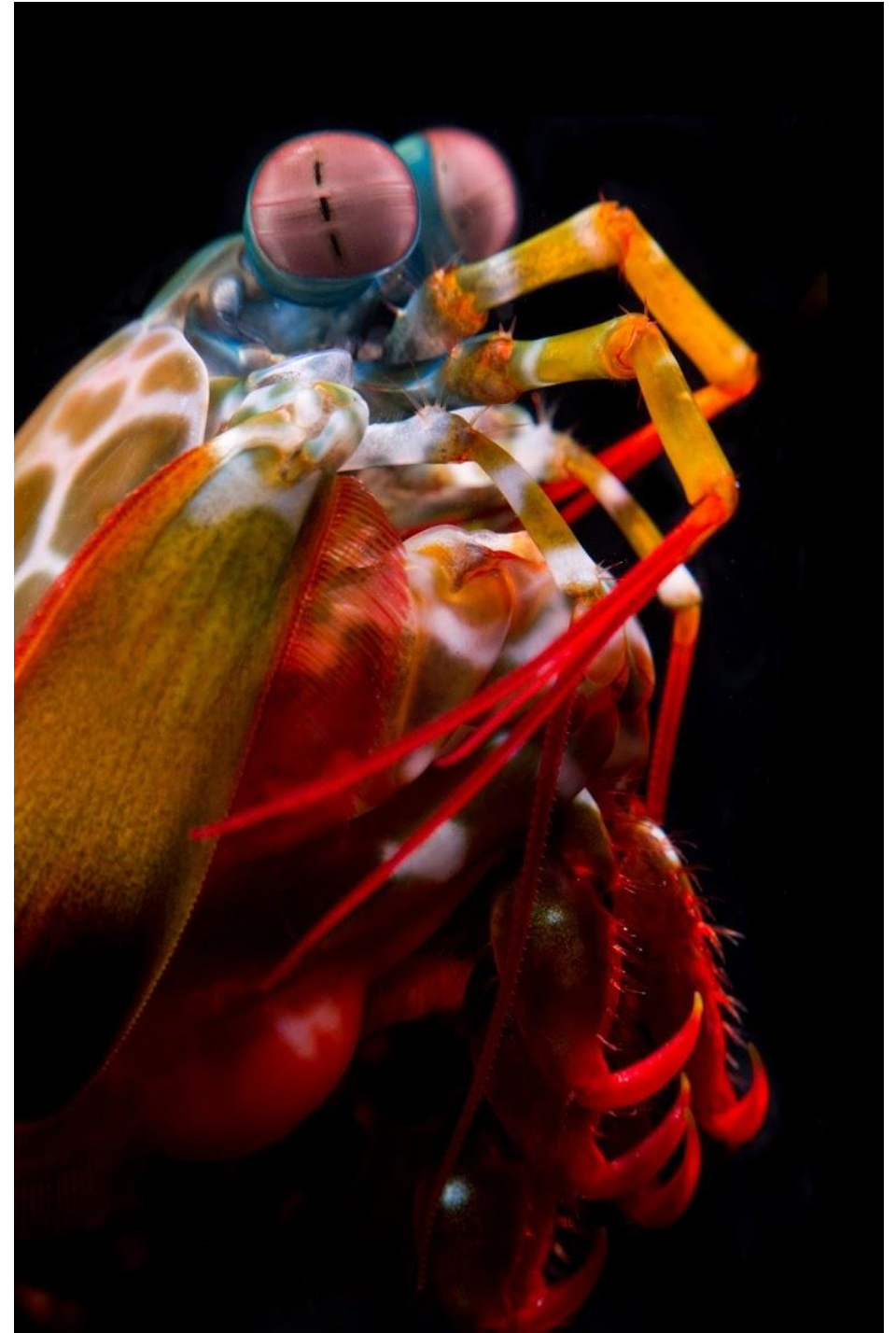


[<http://www.deepocean.net/deepocean/index.php?science07.php>]

**WE LIVE IN AIR /FREE SPACE AND
CURRENTLY ARE (LUCKILY) NOT INTERESTED IN
ELECTROMAGNETIC WAVE PROPAGATION IN WATER**



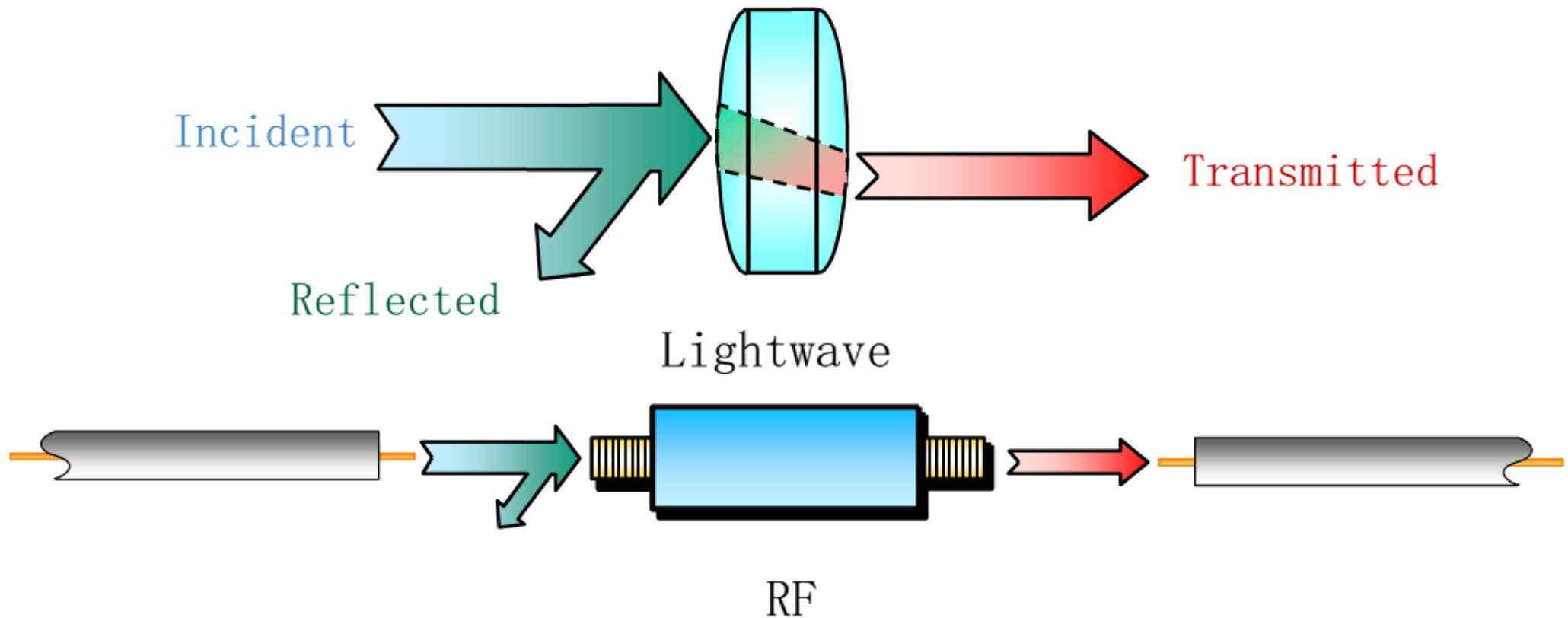
**UNFORTUNATELY
UNDERWATER
IS LOT MORE COLORFUL**



<http://arthropoda.southernfriedscience.com/>

ANALOGY: RF AND OPTICS

Lightwave Analogy to RF Energy



[S-O. PARK]

Hidden objects made visible at THz frequencies



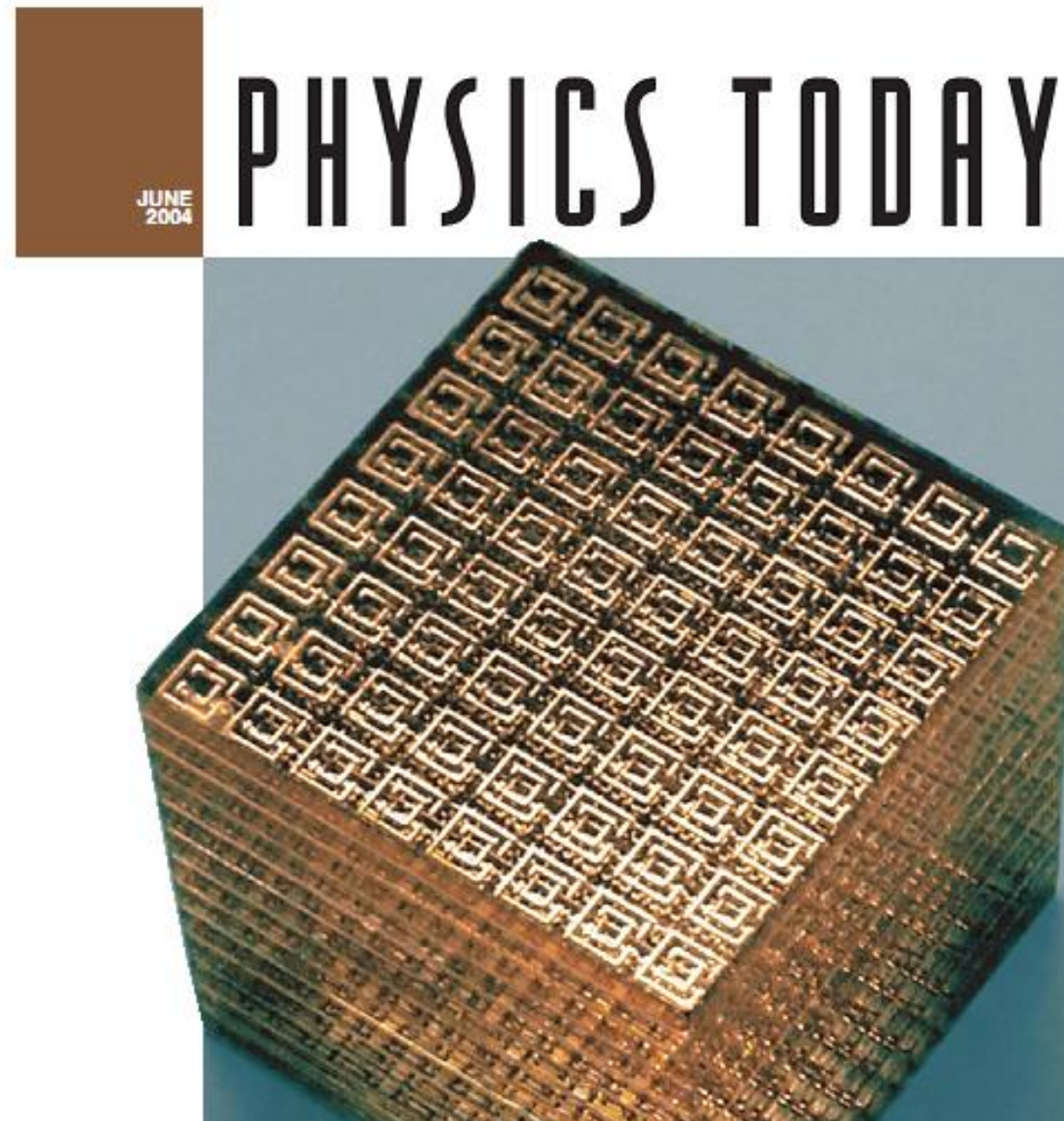
Bodyscanner at airport



image obtained from
bodyscanner

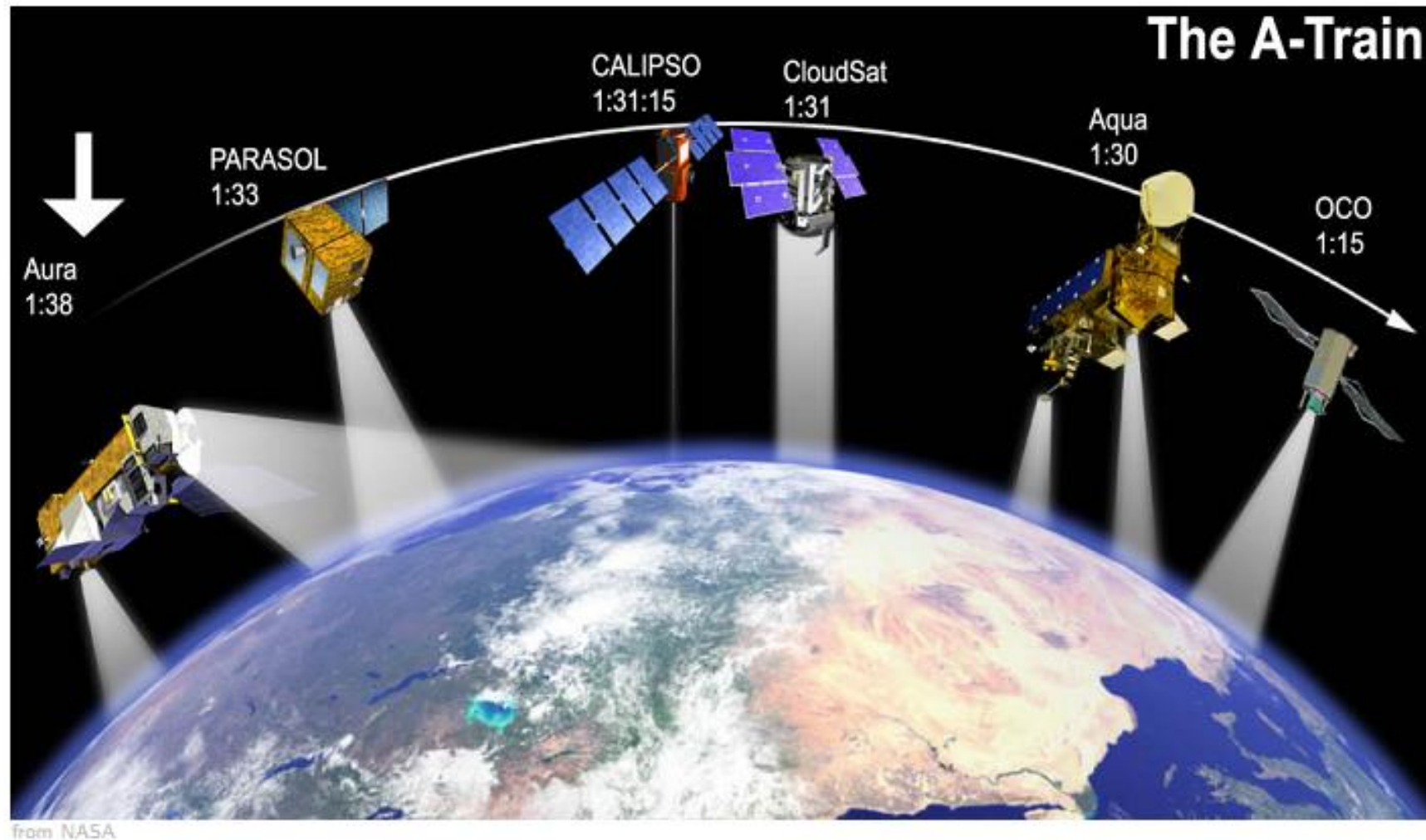
[KAMPFER, MURK]

Metamaterials



[KAMPFER, MURK]

Whole trains of satellites survey the Earth



The so called A-train

[KAMPFER, MURK]

We are surrounded by microwaves

Two experiments with respect to microwave radiation:

radiation from a microwave oven



radiation from our environment



[KAMPFER, MURK]

WHY DO WE NEED THE COURSE EEM 226?

AND WHAT IS SO MUCH ABOUT ELECTROMAGNETICS?

EEM 423 ANTENNA THEORY AND EM PROPAGATION

TEL ANTENLER (WIRE ANTENNAS)

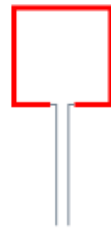


Dipole

Dikdörge

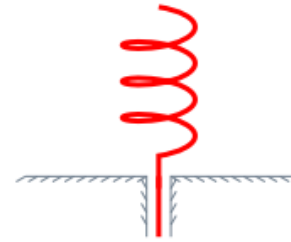


Circular loop

Heliks
halka

Rectangular loop

halka



Helix

Dipol

Dairesel

TV alıcı
anteniAraba radyo
alıcı anteniGSM baz
istasyonuVHF TV
verici ant.

EEM 423 ANTENNA THEORY AND EM PROPAGATION

IŞINIM MEKANİZMASI

12 Chapter 1 Antennas

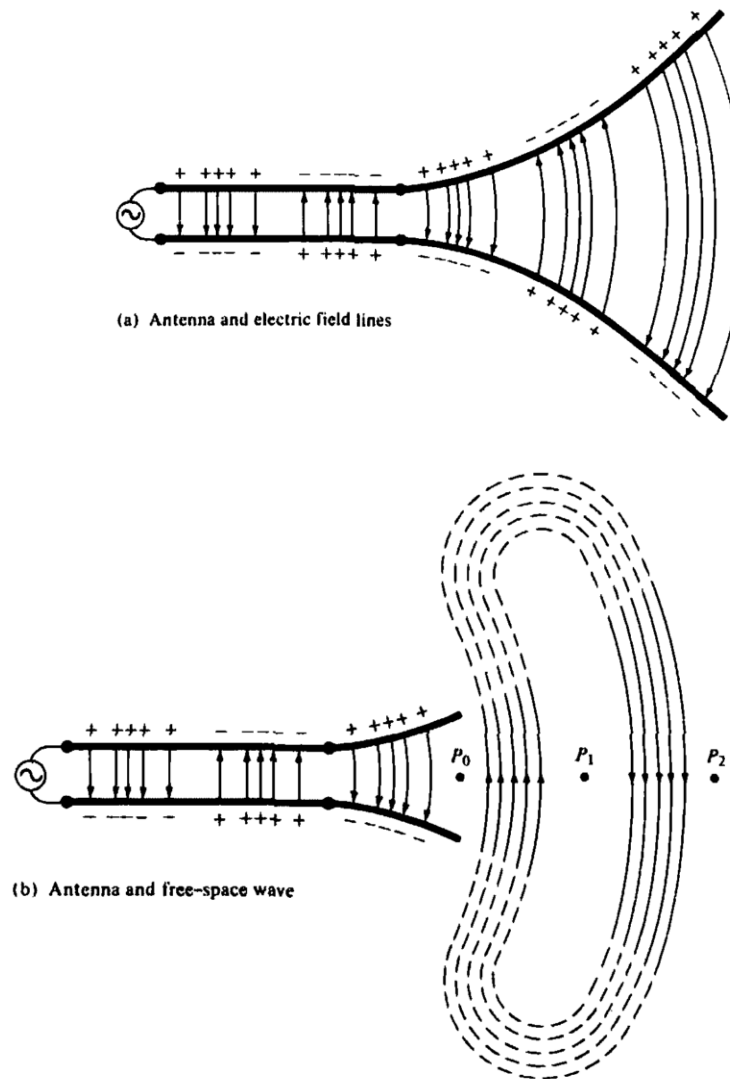


Figure 1.11 Source, transmission line, antenna, and detachment of electric field lines.

EEM 423 ANTENNA THEORY AND EM PROPAGATION

MİKROŞERİT ANTENLER (MICROSTRIP ANTENNAS)

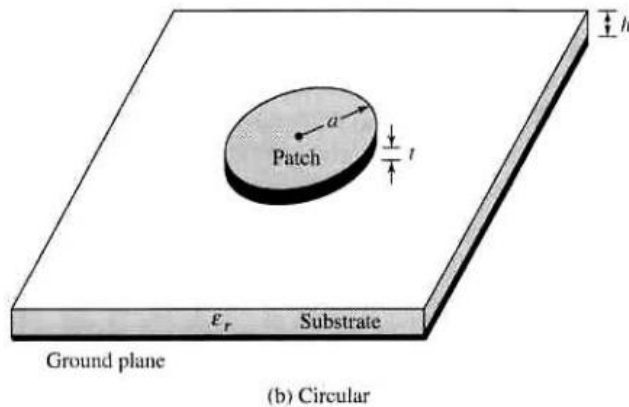
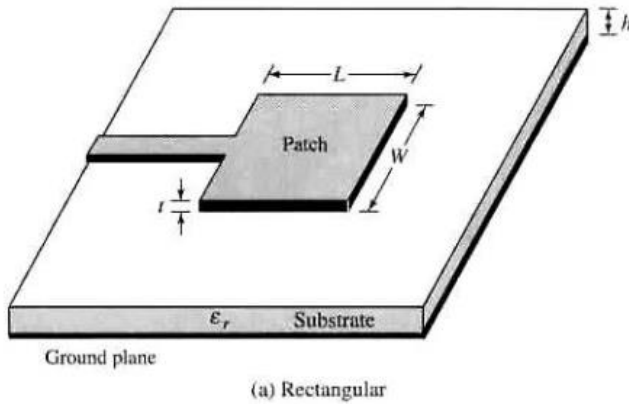


Figure 1.5 Rectangular and circular microstrip (patch) antennas.



Mobile phone antenna [7]

Dikdörtgen ve dairesel
mikroşerit anten

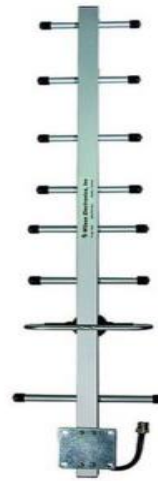
Şerit üretim
mikrostrip anten

Mobil cep telefonu

EEM 423 ANTENNA THEORY AND EM PROPAGATION

Reflector array [8]

Yansıtıcı anten dizisi



Yagi Uda [2]

Yagi-Uda
anten dizisi

Slotted waveguide [3]

Açıklıklı anten
dizisi

EEM 424**MICROWAVE THEORY AND APPLICATIONS****EEM 538 / EEM 638****RADAR SYSTEMS AND THEIR VULNURABILITIES****EEM 549 / EEM 649****OPTICAL WAVE THEORY**