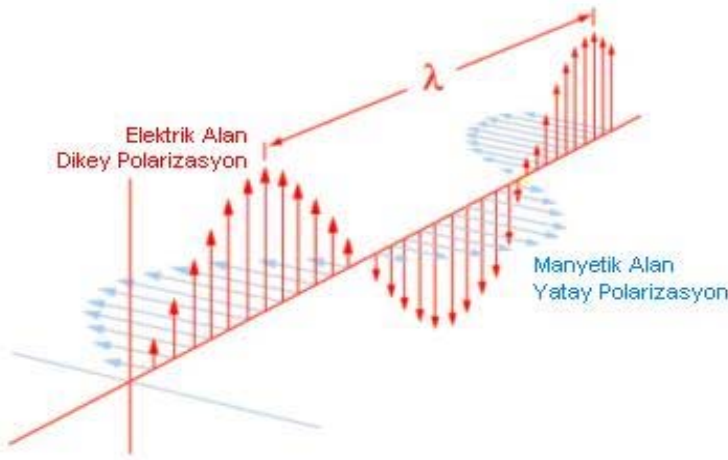


# ELEKTROMANYETİK DALGALAR

Elektromanyetik teorinin temeli olan Maxwell'in elde ettiği denklemler; zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alan oluşturması gibi, zamanla değişen bir elektrik alanın da bir manyetik alan oluşturacağını söyler. Buradan Maxwell teorisi ile elektrik ve manyetik alanlar arasındaki çok önemli bağlantı gerçekleştirildi. Maxwell'in teorik olarak ispatladığı dalgaların varlığını H.R. Hertz 1887 yılında bir indüksiyon bobini kullanarak ilk olarak üretilen ve onları algılayarak deneysel olarak kanıtladı.

Elektromanyetik dalgalar ivmelenendirilmiş elektrik yükleri tarafından oluşturulurlar. Yayınlanan bu tür dalgalar birbirlerine ve dalga yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen elektrik ve manyetik alanlardan ibarettir. Bu nedenle elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır.



Maxwell teorisi, bir elektromanyetik dalga içindeki elektrik ve manyetik alanların  $\vec{E}$  ve  $\vec{B}$  genliklerinin birbirlerine  $c = E/B$  ile bağlı olduğunu gösterir.

Maxwell denklemleri serbest uzayda

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \text{ (Gauss Yasası) ; Not: Boşlukta değeri sıfırdır.}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \text{ (adı yok)}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \text{ (Faraday Yasası)}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \text{ (Ampere Yasası)}$$

ile gösterilir. Bu denklemler,  $\vec{E}$  ve  $\vec{B}$ 'ye göre birinci dereceden çiftlenimli kısmi diferansiyel sistemi olurlar. İki alan arasındaki çiftlenimi ayırmak için üçüncü ve dördüncü denklemlerin rotasyonelini alırsak;

$$\nabla^2 \vec{E} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{ve} \quad \nabla^2 \vec{B} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

elde edilir. O halde,  $\vec{E}$  ve  $\vec{B}$  'nin herbir bileşeni;  $\nabla^2 f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}$  denklemini sağlar ve bu

denkleme klasik dalga denklemi denilir. Bu  $v$  hızı ile ilerleyen bir dalganın hareketini belirler. Yukarıdaki denklemlerle karşılaştırdığımızda, Maxwell denklemlerinin elektromanyetik dalga çözümlerini kabul ettiği ve bu dalgaların hızının

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

serbest uzayda dielektrik katsayısı  $\varepsilon_0 = 8.85418 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

manyetik geçirgenlik  $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb}/\text{A.m}$  olarak alındığında

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3.00 \times 10^8 \text{ m/sn}$$

## Ortamda Elektromanyetik Dalga

Eğer ki elektromanyetik dalgaları bir ortamda ilerlerken düşünersek  $\varepsilon_0$  yerine  $\varepsilon$ ,

$\mu_0$  yerine de  $\mu$  alırsak ortamdaki dalga hızı  $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{n}$  olur. Buradaki  $n$  ortamın

kırılma indisi olarak adlandırılır. Aşağıdaki gibi bir dalganın  $n_1$  ortamından  $n_2$  ortamına geçişi ile dalganın bir kısmı geçer bir kısmı da yansır. Ne kadar yansıtacağı iki ortam arasındaki sınır koşullarına bağlıdır.

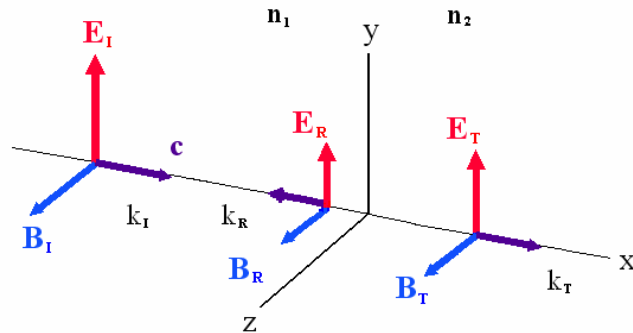
Sınır Koşulları:

$$1) \varepsilon_1 \vec{E}_{1\perp} = \varepsilon_2 \vec{E}_{2\perp}$$

$$2) \vec{B}_{1\perp} = \vec{B}_{2\perp}$$

$$3) \vec{E}_{1\parallel} = \vec{E}_{2\parallel}$$

$$4) \frac{\vec{B}_{1\parallel}}{\mu_1} = \frac{\vec{B}_{2\parallel}}{\mu_2}$$



Buna göre +x yönünde ilerleyen  $\omega$  frekanslı bir dalganın polarizasyonu y yönünde ise;

$$\text{Gelen Dalga; } E_I(x,t) = E_{0I} e^{i(k_I x - \omega t)} \vec{j}$$

$$B_I(x,t) = B_{0I} e^{i(k_I x - \omega t)} \vec{k} = \frac{E_{0I}}{v} e^{i(k_I x - \omega t)} \vec{k}$$

Yansıyan Dalga;  $E_R(x,t) = E_{0R} e^{i(k_1 x - \omega t)} \vec{j}$

$$B_R(x,t) = B_{0R} e^{i(k_1 x - \omega t)} \vec{k} = -\frac{E_{0R}}{v} e^{i(k_1 x - \omega t)} \vec{k}$$

Geçen Dalga;  $E_T(x,t) = E_{0T} e^{i(k_T x - \omega t)} \vec{j}$

$$B_T(x,t) = B_{0T} e^{i(k_T x - \omega t)} \vec{k} = \frac{E_{0T}}{v} e^{i(k_T x - \omega t)} \vec{k}$$

## Elektromanyetik Dalgalarla Taşınan Enerji

Elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar ve uzayda yayılırken yollarının üzerinde bulunan cisimlere enerji aktarırlar. Bir elektromanyetik dalgadaki enerji akış hızı Poynting vektörü (S) ile tanımlanır.

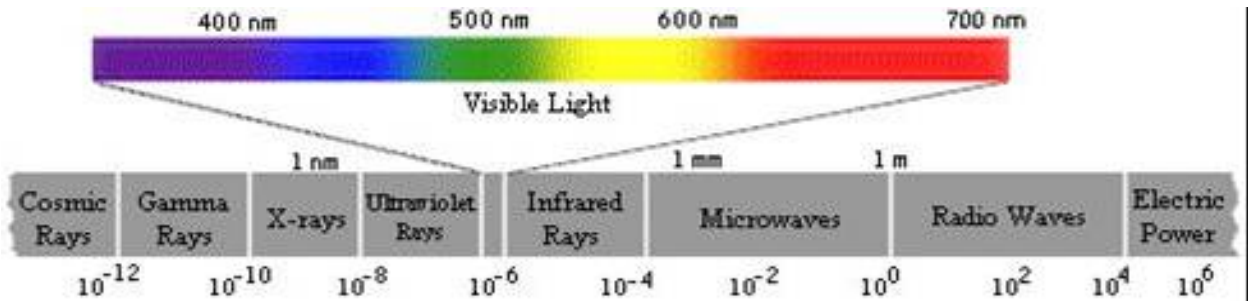
$$S = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

Poynting vektörünün büyüklüğü akış yönüne dik olan birim yüzeyden enerjinin geçiş hızını ifade eder. S'nin yönü dalganın yayılma doğrultusu boyuncadır.

## Elektromanyetik Dalgaların Spektrumu

Elektromanyetik dalgalar, iki etkinin sonucunda oluşurlar. 1) Manyetik alanın değişimi bir elektrik alan oluşturur, 2) elektrik alanın değişimi bir manyetik alan oluşturur. Bu nedenle, durgun elektrik yükleri ve kararlı akımlar elektromanyetik dalgalar oluşturmazlar. Bir telden geçen akım zamanla değişirse tel elektromanyetik dalga yayar.

Bütün elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızı ile yayılır. Bu dalgalar, belirli kaynaktan bir alıcıya enerji ve momentum taşırlar. Bütün elektromanyetik dalgalar boşlukta c hızı ile yayıldıklarından frekansları ve dalgaboyları arasında  $c = \lambda \nu$  bağıntısı vardır.



Bant	Kısaltma	Frekans Aralığı	Dalga boyu Aralığı
Ses Frekansı	AF	20 to 20,000 Hz	15,000,000 to 15,000 m
Radyo Frekansı	RF	10 kHz to 300,000 MHz	30,000 m to 0.1 cm
Çok düşük frekans	VLF	10 to 30 kHz	30,000 to 10,000 m
Kısa frekans	LF	30 to 300 kHz	10,000 to 1,000 m
Orta Frekans	MF	300 to 3,000 kHz	1,000 to 100 m
Yüksek frekans	HF	3 to 30 MHz	100 to 10 m
Çok yüksek frekans	VHF	30 to 300 MHz	10 to 1 m
Ultra yüksek frekans	UHF	300 to 3,000 MHz	100 to 10 cm
Süper yüksek frekans	SHF	3,000 to 30,000 MHz	10 to 1 cm
Extreme yüksek frekans	EHF	30,000 to 300,000 MHz	1 to 0.1 cm
Isı ve Infrared*	IR	$10^6$ to $3.9 \times 10^8$ MHz	0.03 to $7.6 \times 10^{-5}$ cm
Görünür Bölge*	vis	$3.9 \times 10^8$ to $7.9 \times 10^8$ MHz	$7.6 \times 10^{-5}$ to $3.8 \times 10^{-5}$ cm
Ultraviyole*	UV	$7.9 \times 10^8$ to $2.3 \cdot 10^{10}$ MHz	$3.8 \times 10^{-5}$ to $1.3 \times 10^{-6}$ cm
X-ışınları*	X- ray	$2.0 \times 10^9$ to $3.0 \cdot 10^{13}$ MHz	$1.5 \times 10^{-5}$ to $1.0 \times 10^{-9}$ cm
Gama ışınları*		$2.3 \times 10^{12}$ to $3.0 \cdot 10^{14}$ MHz	$1.3 \times 10^{-8}$ to $1.0 \times 10^{-10}$ cm
Kozmik ışınlar*		$>4.8 \times 10^{15}$ MHz	$<6.2 \times 10^{-12}$ cm
* Değerler yaklaşıktır.			

### Gama Işınları:

Radyoaktif çekirdekler tarafından belirli nükleer tepkimeler süresince ve belirli nükleer tepkimeler süresince yayılan elektromanyetik dalgalarıdır. Bu ışınlar yüksek derecede girginlik özelliğine sahiptir; canlı dokular tarafından soğurulduğunda metabolizmaya zarar verirler.

### X Işınları

X ışınlarının kaynağı, bir metal hedefi bombardımana tabi tutan yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıdır. Bu ışınlar da yüksek enerji taşıdıklarından canlı dokulara zarar verirler, öldürücü etki yaparlar.

### Morötesi (Ultraviyole) Dalgalar:

Güneş morötesi ışınların en önemli kaynağıdır. Güneş'ten gelen morötesi ışının çoğu atmosferin bir katmanı olan stratosferdeki atomlar tarafından yutulur. Stratosferin önemli bir bileşeni morötesi radyasyonun oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda oluşan ozon (O<sub>3</sub>)'tür. Bu ozon tabakası öldürücü yüksek enerjili morötesi radyasyonu ısıya dönüştürür ve sonuçta stratosfer tabakası ısınır.

### Görünür Bölge:

İnsan gözünün görebildiği kısımdır. Işık, atom ve moleküllerdeki elektronların yeniden düzenlenmeleri ile oluşur. Mordan kırmızıya gökkuşağı renklerini içerir.

### Kızılötesi Dalgalar:

Sıcak cisimler ve moleküller tarafında oluşturulan bu dalgalar, çoğu maddelerce kolaylıkla soğurulurlar. Bir maddenin soğurduğu kızılötesi enerjisi ısı şeklinde kendini gösterir. Çünkü madde tarafından soğurulan bu enerji vasıtası ile, cismin atomları

yerinden oynadığından, onların titreşim ve öteleme hareketleri artar, dolayısıyla maddede bir sıcaklık artması meydana gelir.

**Extreme yüksek frekans (EHF):**

Kısa boylu radyo dalgalarıdır ve dümdüz yayılırken çok güçlüdürler. Yağmur veya sis gibi kötü hava koşullarında uzak mesafelere yayılmada zorluk çekdiklerinden dolayı kısa aralık radyo haberleşmeleri için kullanılırlar. Ayrıca, radyo astronomi, radar, uydu haberleşmesi, basit radyo, sabit telsizlerde de büyük oranda kullanılır.

**Süper Yüksek Frekans (SHF):**

Bunlar da dümdüz kolayca yayıldıklarından belli bir yöne doğru iletimde çok uygundur. Çok büyük miktarda verinin taşınmasına uygun canlı yayın programlarında, uydu haberleşmesinde, uydu yayınlarında, radarlarda, radyo astronomide ve daha pek çok alanda kullanım alanı bulunur.

**Ultra Yüksek Frekans (UHF):**

Bunların da dümdüz yayılmaları güçlüdür tabi binalar ve dağlar gibi engellere rastlayana kadar. Bu frekans bölgesi; 880-960 MHz arasında GSM900 ve 1710-1880 Mhz arasında DCS1800 cep telefonu haberleşmesinde, 450 MHz'de NMT araç telefonlarında, 2450 MHz'de evlerde kullandığımız mikrodalga fırınlarda kullanılır. Bunun yanında, TV yayınlarında, felaket durumlarında, tren haberleşmelerinde, radarlarda, amatör radyolarda da geniş bir kullanım alanı mevcuttur.

**Çok yüksek frekans (VHF):**

Bunlar da dümdüz ilerler fakat iyonosferden yansıtılmazlar. Kısa dağlarda, tepelerde ve binalardan engellenirler. Bunlar da büyük miktarda veri taşıyabilirler ve FM yayınlarında, TV yayınlarında, hava trafik kontrol haberleşmelerinde, çağrı cihazlarında, telsiz telefonlarda, amatör radyolarda, demiryolu ve itfaiye haberleşmelerinde kullanılır.

**Yüksek Frekans (HF):**

Dalgaboyları 10 ile 100 metre arasındadır ve yerden 200 ile 400 km yükselerek iyonosferin F tabakasından yansıyarak gezegenin diğer tarafına geçebilir. Bu nedenle, uzun mesafede uçaklarla, okyanuslarda gemilerle haberleşilebilir ve uluslararası yayınlarda ve amatör telsiz haberleşmelerinde de kullanılır.

**Orta Frekans (MF):**

Bu dalgalar yaklaşık 100 km yükselerek iyonosferin E tabakasından yansır. Bu frekans ile iletişim için geniş antenler ve vericiler kullanıldığından pek pratik değildir. AM haberleşmesinde ve amatör telsizciler tarafından kullanılır.

**Kısa Frekans (LF):**

Dalgaboyu 1 ile 10 km olduğundan çok uzaklara iletim yapılabilir. 1930'lara kadar radyotelegraf için kullanıldı ancak şu anda zaman sinyali gönderen yayınlarda ve radyo beacon'larında kullanılır.

**Çok kısa Frekans (VLF):**

Dalgaboyu 10 ile 100 km arasındadır ve yeryüzeyinden küçük tepeleri de aşarak iletim yapabilir.

**Ses Frekansı (AF):**

Bizim kulağımızın hassas olduğu 20 Hz ile 20000 Hz'lik frekans aralığını içerir. Bu aralıktaki sesleri duyabiliriz.

**Kaynaklar:**

Griffiths, David J, "Elektromanyetik Teori", Arte, 1996

Serway, Raymond A, "Fizik 2" Saunders College Publishing, 1992

Poole, Ian, "Radio Waves and the Ionosphere", ARRL, 1999

"Electromagnetic Wave Propagation", National Imagery and Mapping Agency, USA

Thide, Bo "Electromagnetic Field Theory", Uppsala, Sweden 2003

<http://www.tele.soumu.go.jp/e/search/index.htm>

Mayıs 2003

Umut YILDIZ  
Ankara Üniversitesi  
Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü  
98055002