

Okan Üniversitesi MYO

MUTK216

TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaođlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS 3

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

<http://okanuni.eren.xyz>

Web adresinden indirebilirsiniz.

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TEMEL KAVRAMLAR



TEMEL KAVRAMLAR: Fiziksel Etkiler ve Özellikler

Işık

Ses

Manyetizma

Titreşim

Elektrik Sinyali

İletkenlik

TEMEL KAVRAMLAR: Fiziksel Etkiler ve Özellikler

Mekanik Dalga (Ses, Ultrason, Titreşim)

Elektromanyetik Dalga (Işık, Elektrik)

Sinyal İşleme

Elektrik Sinyali

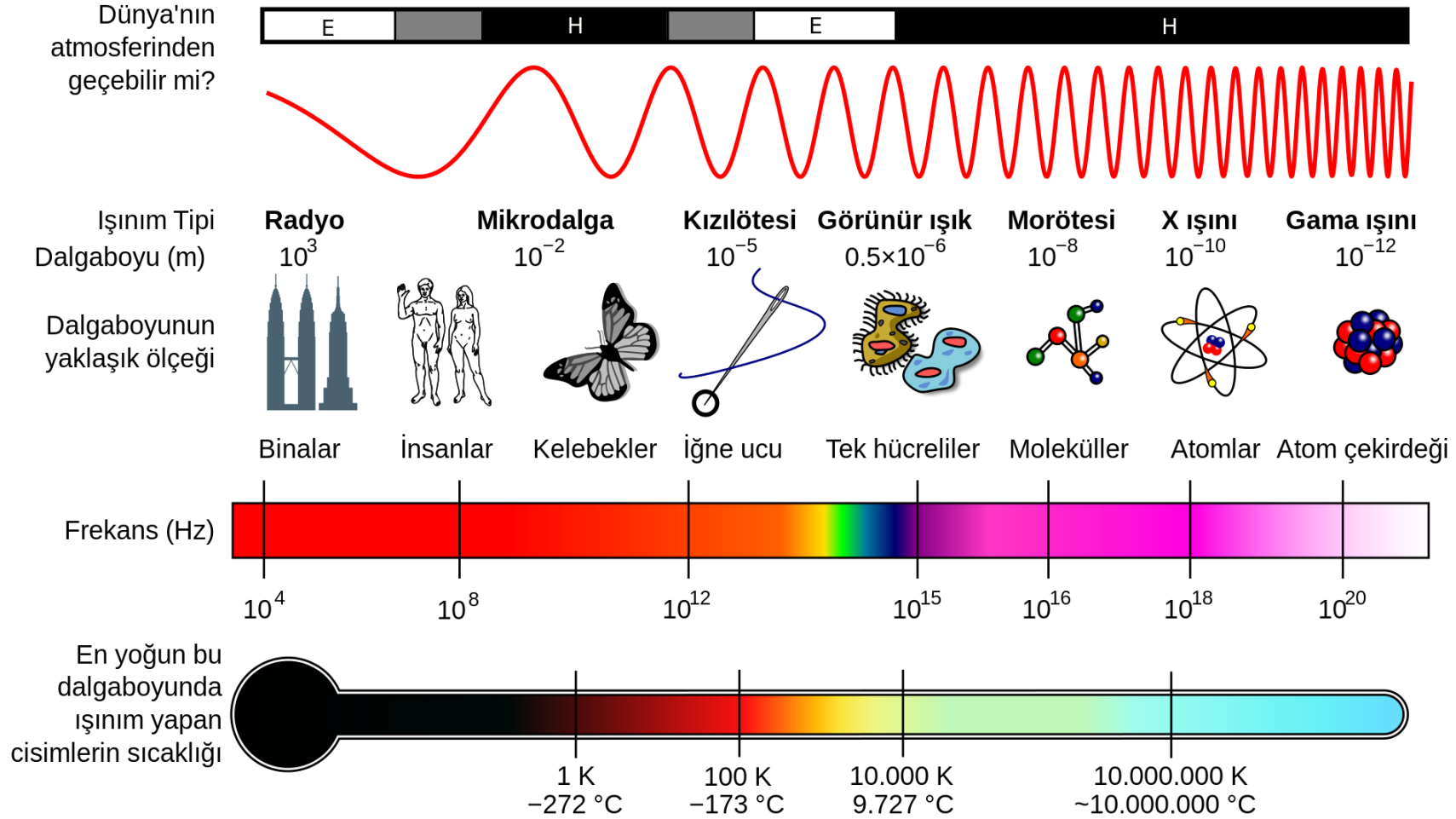
TEMEL KAVRAMLAR: Işık

- Işık veya görünür ışık, elektromanyetik spektrumun insan gözü tarafından algılanabilen kısmı içindeki elektromanyetik radyasyondur.
- Görünür ışık genellikle 400-700 nanometre (nm) aralığında ya da kızılötesi ve morötesi arasında 4.00×10^{-7} ile 7.00×10^{-7} m dalga boyları olarak tanımlanır. Bu dalga boyu yaklaşık 430-750 terahertz (THz) frekans aralığı anlamına gelir.
- Işığın özellikleri arasında şiddeti, yayılma yönü, frekansı, kutuplanması ve vakumda 299.792.458 m/s olan hızı yer alır.
- Işık da diğer elektromanyetik ışınımlar (EMI) gibi foton adı verilen "paketlerden" oluşur. Fotonlar dalgaların ve parçacıkların özelliklerini gösterir. Bu, fizikte dalga parçacık ikiliği olarak adlandırılır. Işığı inceleyen fiziğin alt dalı optiktir.

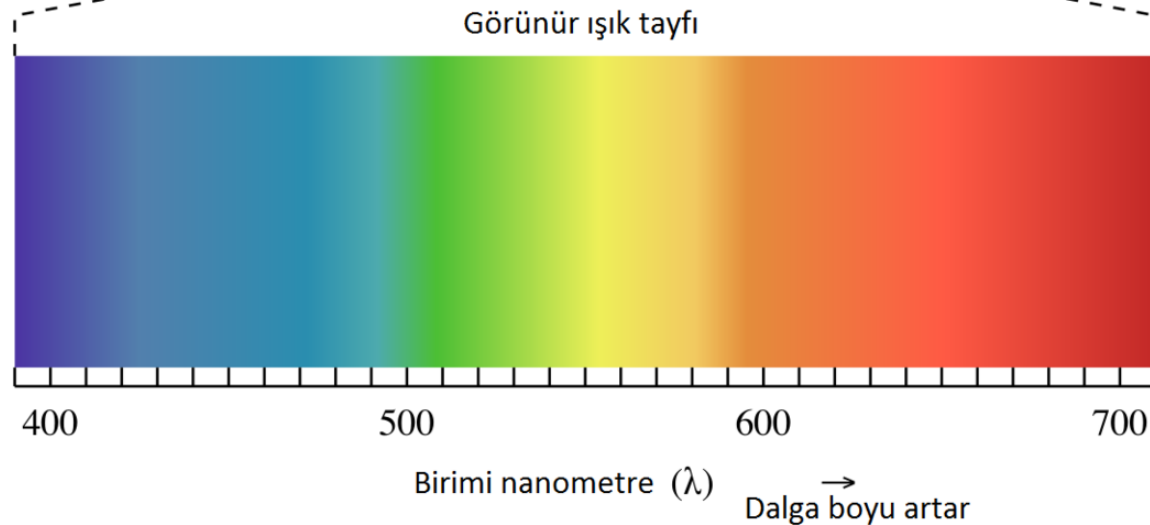
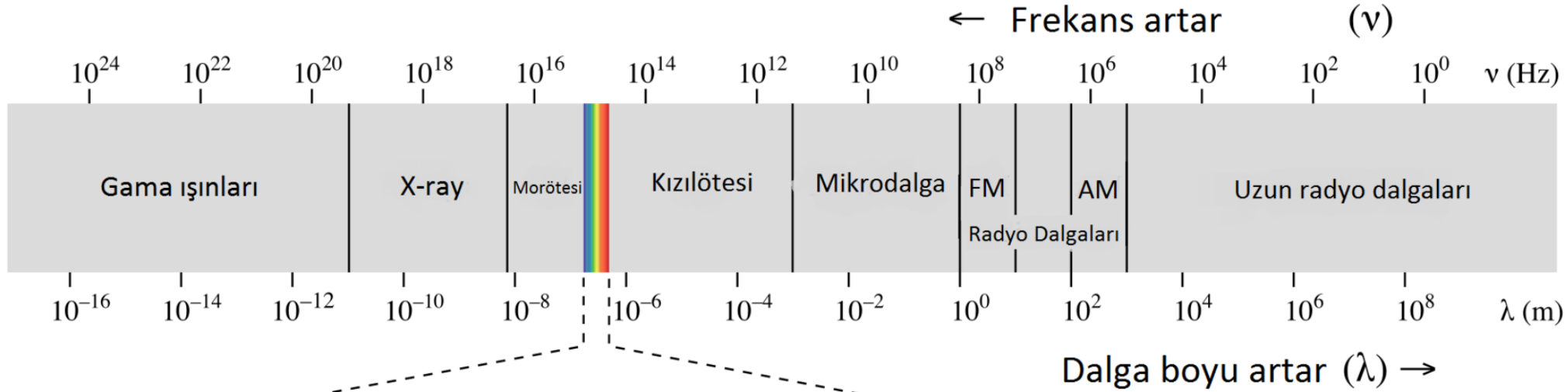
* 1 nm = 10^{-9} m

TEMEL KAVRAMLAR: Elektromanyetik Radyasyon

• Elektromanyetik Tayf



TEMEL KAVRAMLAR: Işık



*Görsel muayene, termografi (kızılötesi), radyografi (X-ışını) gibi tekniklerde ışığın değişik dalga boylarından faydalanılır.

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TEMEL KAVRAMLAR

Işık Ses Manyetizma Titreşim **Elektrik Sinyali**
Dalga **Transduser** Kompozitler Yorulma
Hasar Malzeme Hata Tespit Standartlar

TEMEL KAVRAMLAR

- Tahribatsız muayene uygulamalarında kullanılan cihaz ve ölçüm araçları, çeşitli **fiziksel özellikleri ve etkilerini** algılayıp ölçmek suretiyle işlevlerini yerine getirmektedir.
- Muayene faaliyetleri, **1*** algılama, **2*** veri toplama (data acquisition) ve sinyalleri işleme (signal processing), **3*** inceleme, **4*** karşılaştırma, **5*** değerlendirme (evaluation) gibi adımlardan meydana gelmektedir.

TEMEL KAVRAMLAR: Fiziksel Etkiler ve Özellikler

Dalga

Dalganın Özellikleri

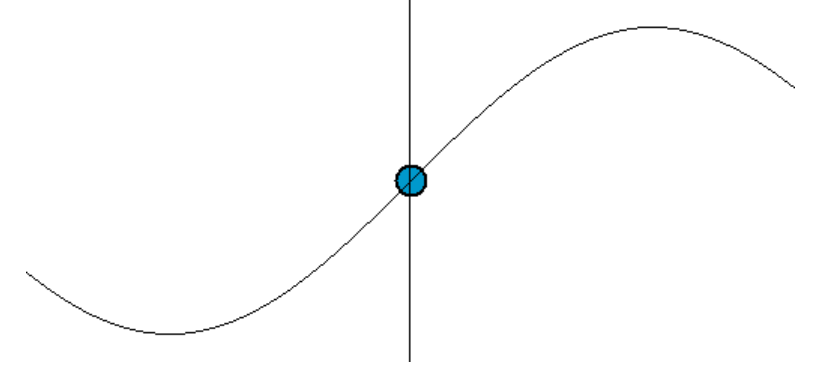
Frekans / Dalga Boyu / Genlik

Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

Ters Kare Yasası

TEMEL KAVRAMLAR: Dalga

- **Dalga**, bir fizik terimi olarak uzayda ve maddede yayılan ve enerjinin taşınmasına yol açan titreşime denir.
- **Titreşim** bir denge noktası etrafındaki salınımdır. Bu salınımlar bir sarkacın hareketi gibi **periyodik** olabileceği gibi çakıllı bir yoldaki tekerleğin hareketi gibi **rastgele** de olabilir.



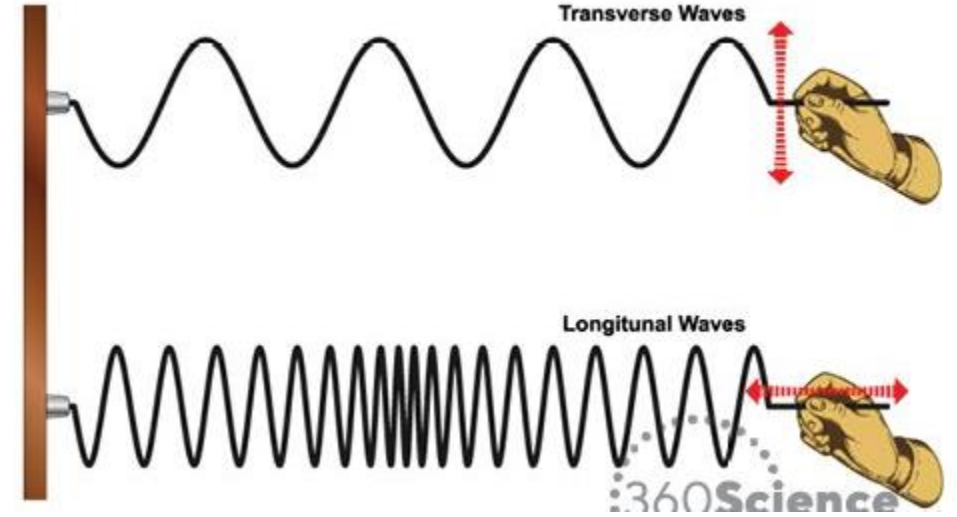


Dalga

- **Dalga hareketi**, ortamdaki parçacıkların yer değişimi olmadan, yani çok az ya da hiç **kütle taşınımı olmadan**, enerjiyi bir yerden başka bir yere taşır.
- Dalgalar sabit konumlarda oluşan titreşimlerden oluşur ve zamanla nasıl ilerlediğini gösteren bir dalga denklemi ile tanımlanırlar. Bu denklemin matematiksel tanımı dalga çeşidine göre farklılık gösterir.

Dalgaların Sınıflandırılması

- **Enine Dalga (Transverse)**
- **Boyuna Dalga (Longitudinal)**



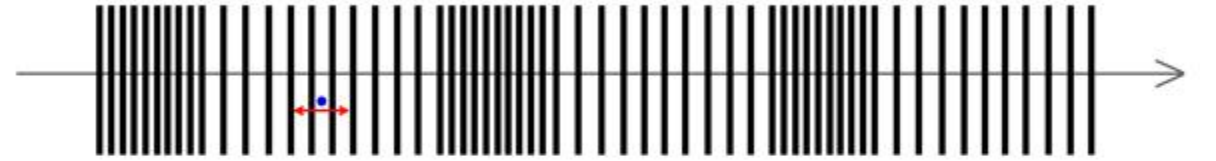
Bir dalganın titreşim doğrultusu ile ilerleme doğrultusu aynı ise **boyuna dalga** (örn. ses dalgası), titreşim doğrultusu ilerleme doğrultusuna dik ise **enine dalga** (örn. elektromanyetik dalga) olarak sınıflandırılır.

Dalgaların Sınıflandırılması

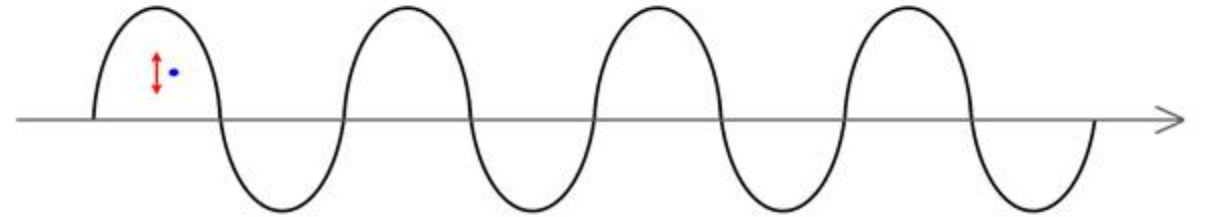
- Enine Dalga (Transverse Wave)
- Boyuna Dalga (Longitudinal Wave)

Mekanik bir dalganın taşındığı ortamdaki partiküllerin salınım doğrultusu ile yayılma doğrultusu (paralel) aynı ise **boyuna dalga**, salınım doğrultusu yayılma doğrultusuna dik ise **enine dalga** olarak sınıflandırılır.

Longitudinal Wave: Particles vibrate parallel to the direction of propagation of the wave.



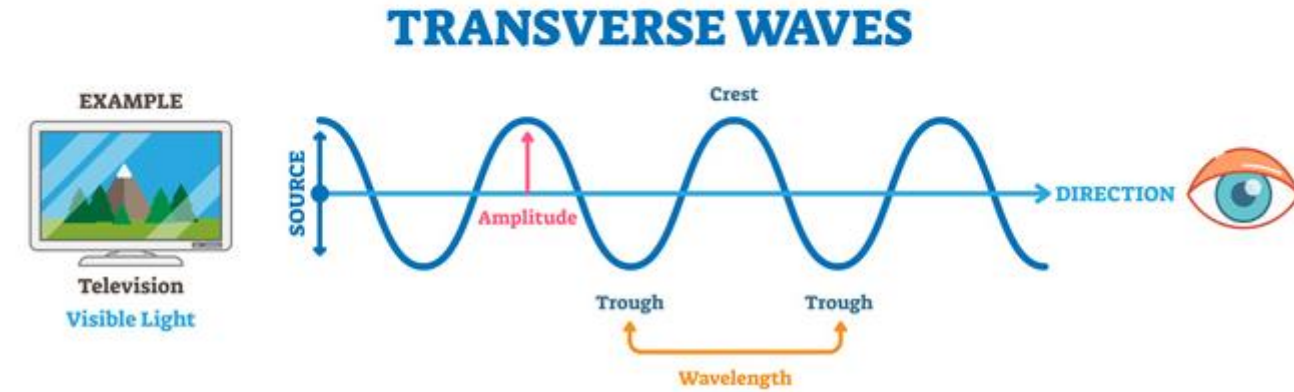
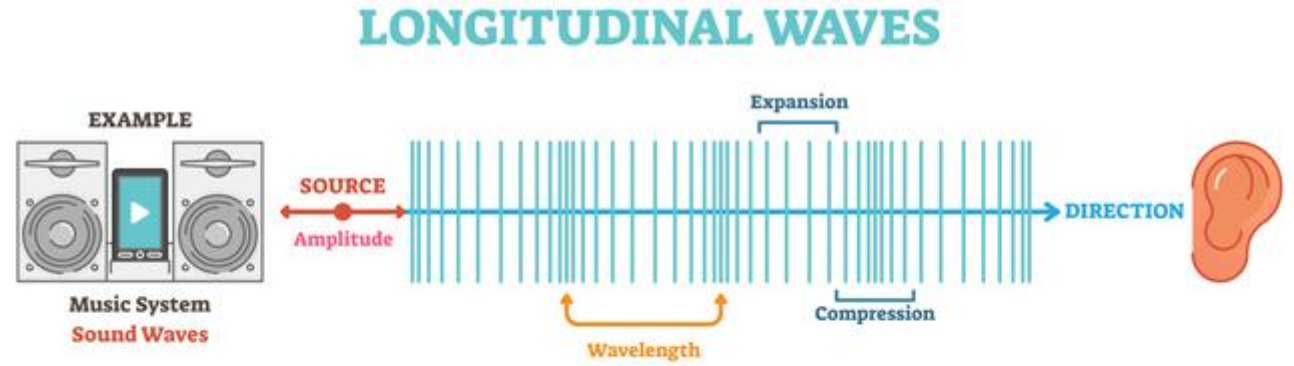
Transverse Wave: Particles vibrate perpendicular to the direction of propagation of the wave.



Dalgaların Sınıflandırılması

- Enine Dalga (Transverse)
- Boyuna Dalga (Longitudinal)

Dalganın titreşim doğrultusu ile yayılma doğrultusu aynı ise **boyuna dalga** (ses), titreşim doğrultusu yayılma doğrultusuna dik ise **enine dalga** (ışık) olarak sınıflandırılır.



TEMEL KAVRAMLAR: Dalga / Frekans / Yayılma Hızı

Frekans (f): Bir parçacığın saniyedeki titreşim sayısı olup birimi (Hz)'dir. $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$

Dalga boyu (λ): Aynı titreşim fazında bulunan iki komşu parçacık arasındaki mesafe olup birimi (m)'dir.

Periyot (T): Bir titreşimin tamamlanması için geçen süre olup frekansın tersine eşittir.

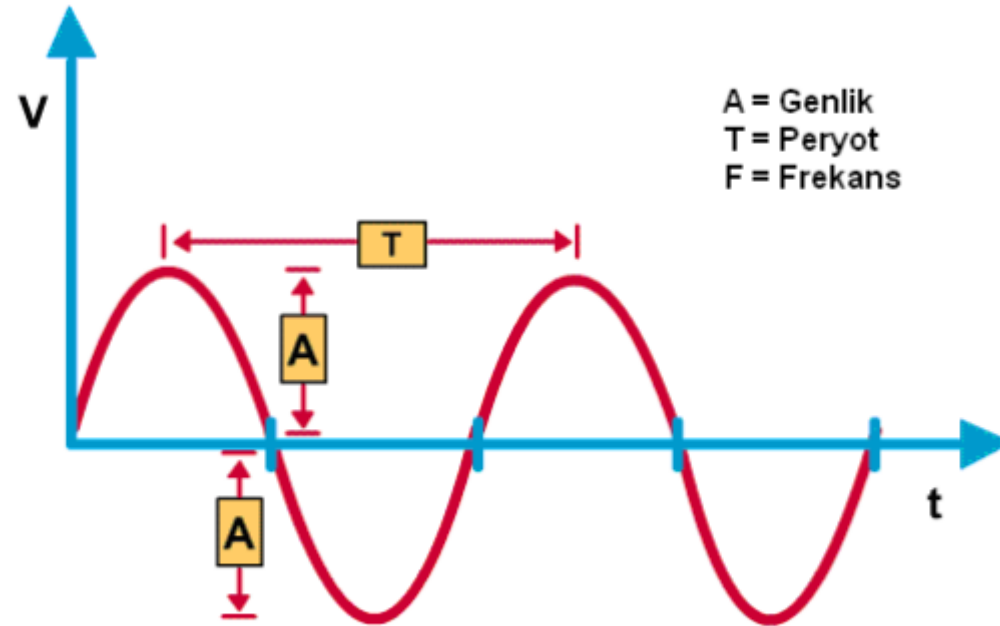
$$T = 1 / f \text{ (sn)}$$

Yayılma hızı (C): Belli bir dalga fazının birim zamanda aldığı yol miktarı olup dalga boyu ile frekansın çarpımına eşittir. Buna faz hızı da denir.

$$C = \lambda \times f \text{ (m/sn)}$$

TEMEL KAVRAMLAR: Dalganın Özellikleri

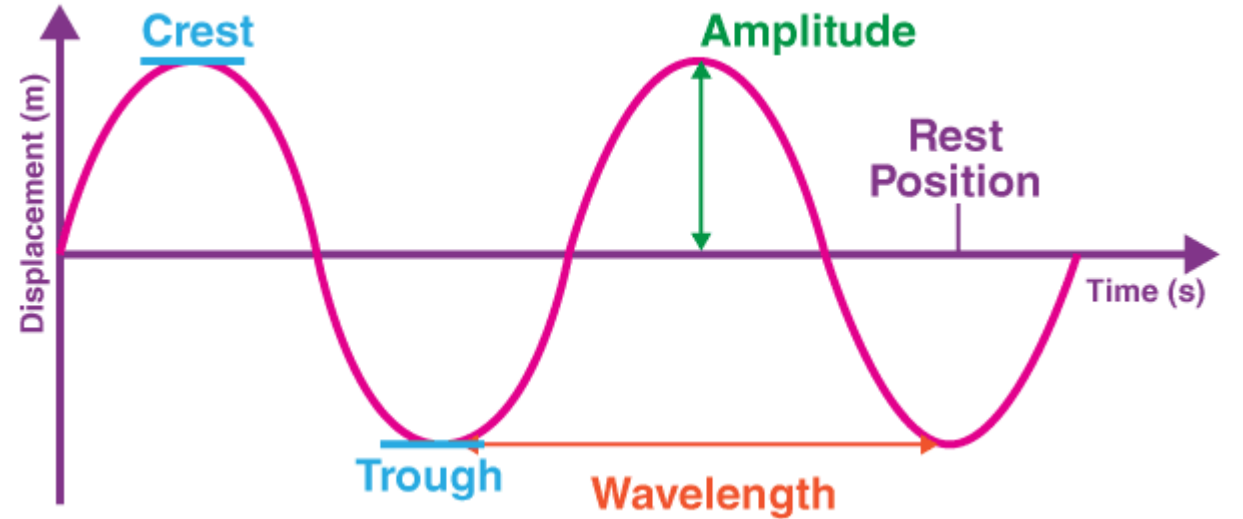
- Genlik (A)
- Periyot (T)
- Frekans ($1/T$)



Şekil 4.1: Bir sinyalin özellikleri

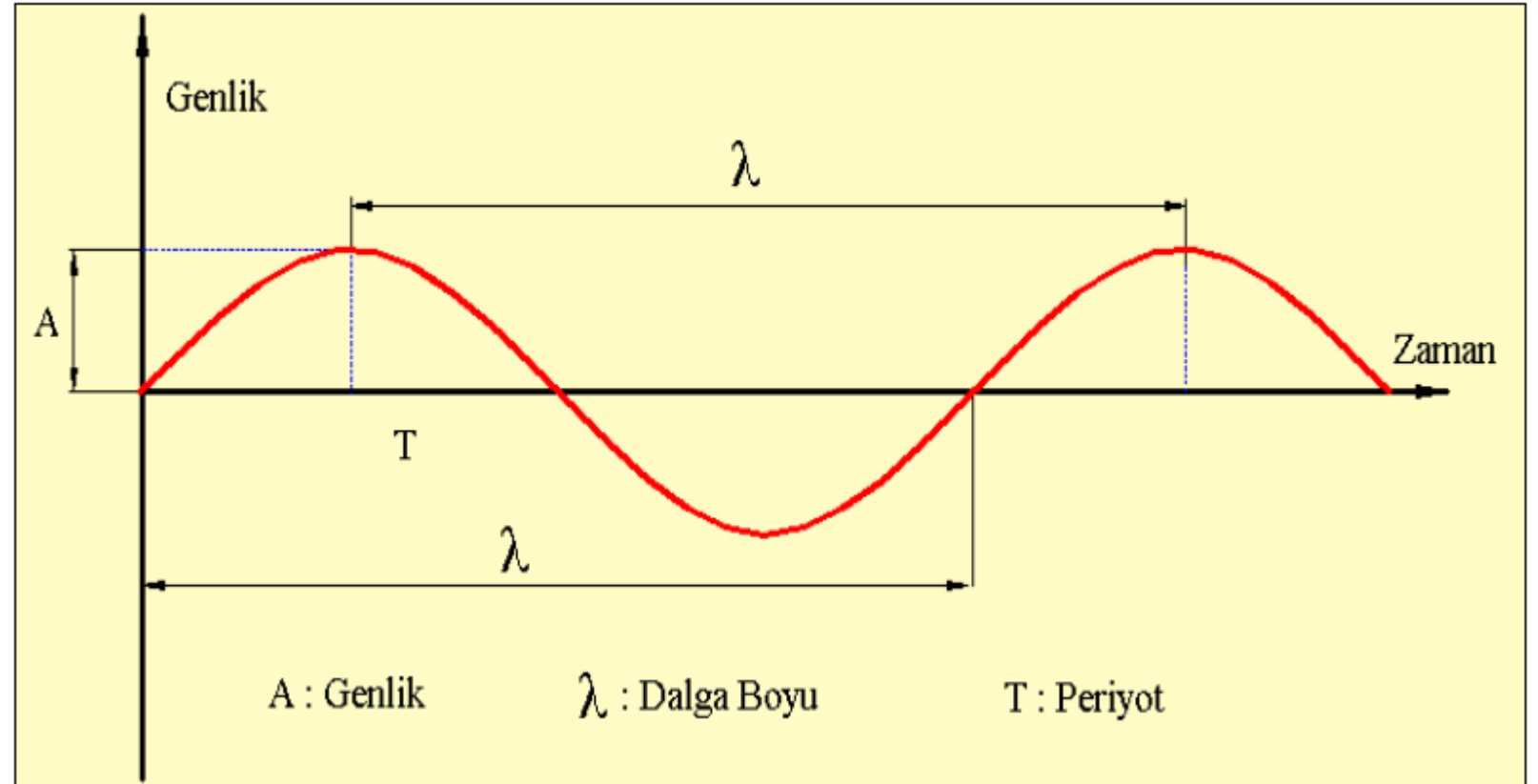
TEMEL KAVRAMLAR: Dalganın Özellikleri

- *Amplitude*: Genlik (**A**)
- *Crest*: Dalga Tepesi
- *Trough*: Dalga Çukuru
- *Wavelength*: Dalga Boyu
- *Rest Position*: Hareketsiz Durum
- *Displacement*: Yer değiştirme / deplasman

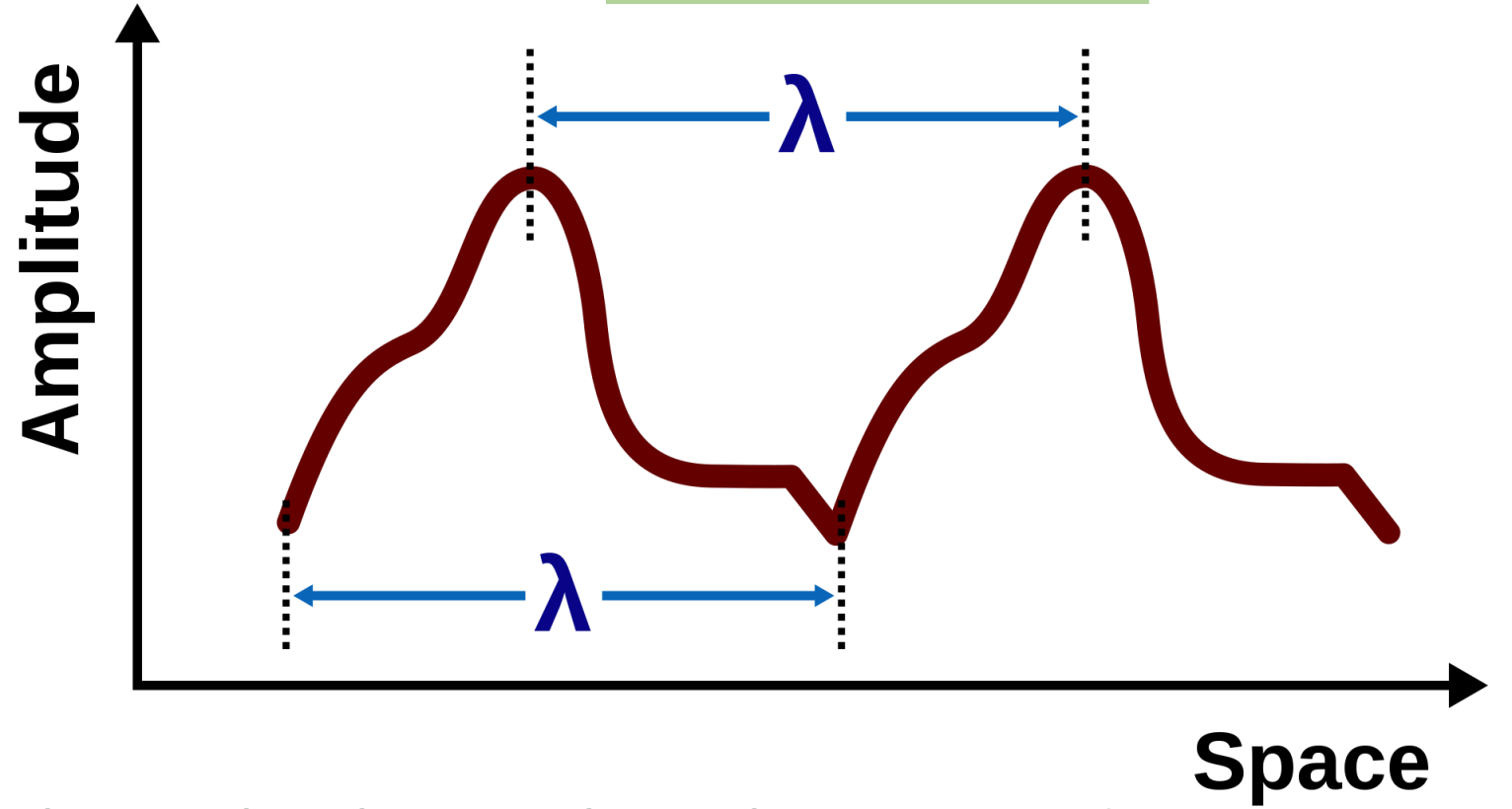


Dalganın Temel Özellikleri

- Genlik (A)
- Dalga Boyu (λ)
- Periyot (T)



Dalga Boyu



- Dalga boyu, λ , tekrarlayan herhangi iki nokta arasında ölçülebilir.

(λ : wave length, amplitude: genlik)

TEMEL KAVRAMLAR: Dalga

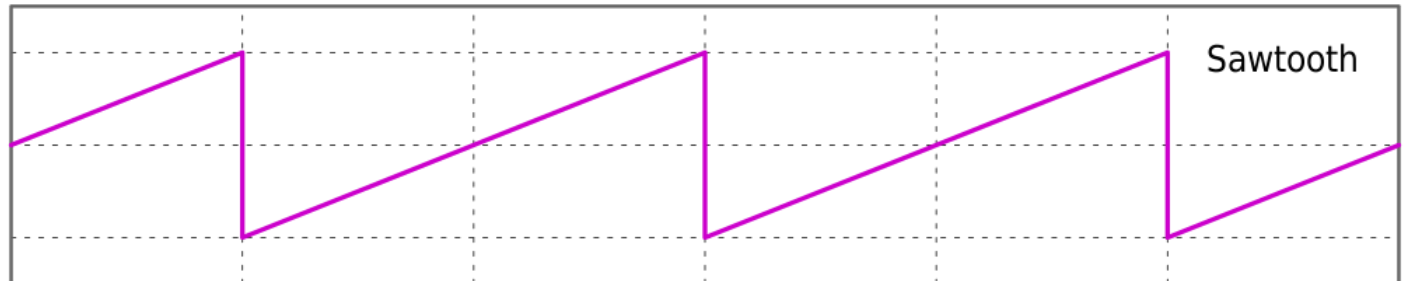
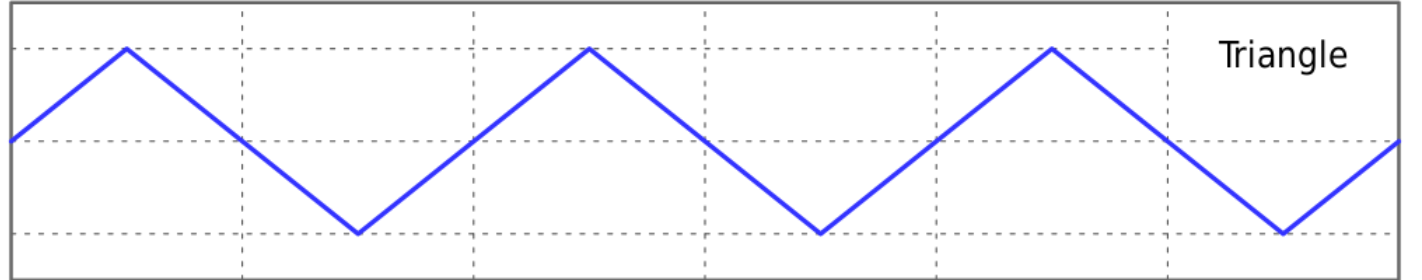
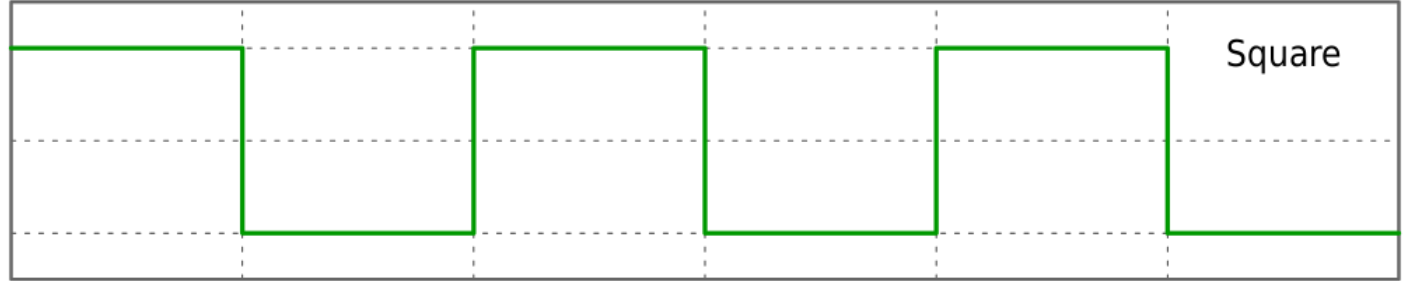
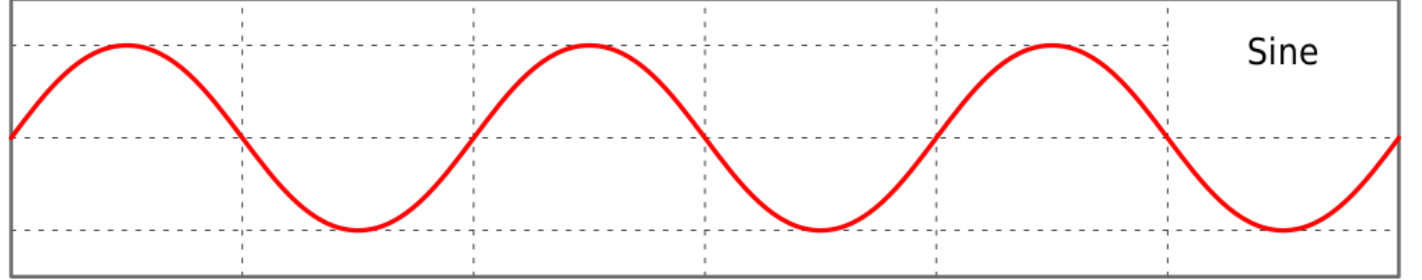
- İki çeşit dalga vardır:
 - **Mekanik dalgalar** bir ortam (madde) aracılığıyla yayılırlar. Mesela, ses dalgaları çarpışan hava molekülleri yolu ile yayılır. Hava molekülleri çarpıştığında, moleküller birbirleri boyunca sıçrarlar.
 - **Elektromanyetik dalgalar** bir ortama ihtiyaç duymazlar. Bunun yerine yüklü parçacıklar tarafından, elektrik ve manyetik alanların periyodik titreşimlerinden meydana gelirler ve böylece boşlukta ilerlerler. Radyo dalgalarının, mikrodalgaların, kızılötesi ışınların, görünür ışınların, morötesi ışınların, gama ışınlarının ve x ışınlarının dalga boyu değişir.

TEMEL KAVRAMLAR: Dalga

- Titreşimin yönüne bağlı olarak enine dalgalar ve boyuna dalgalar oluşabilir. Yayılmaya (enerji transferi yönünde) dik bir titreşim oluşursa enine dalgalar meydana gelir.
- Titreşimlerin yayılmanın yönüne paralel olduğu durumda ise boyuna dalgalar meydana gelir.
- Mekanik dalgalar enine ve boyuna olabilirken, bütün elektromanyetik dalgalar eninedir.

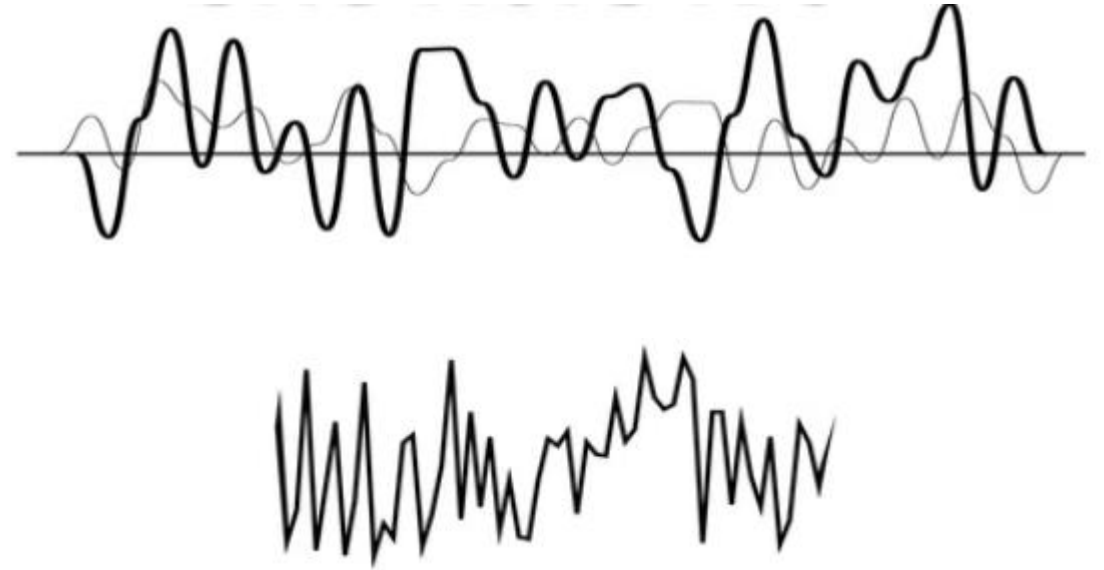
Dalga Şekilleri

- Sinüs eğrisi
- Kare
- Üçgen
- Testere dişi

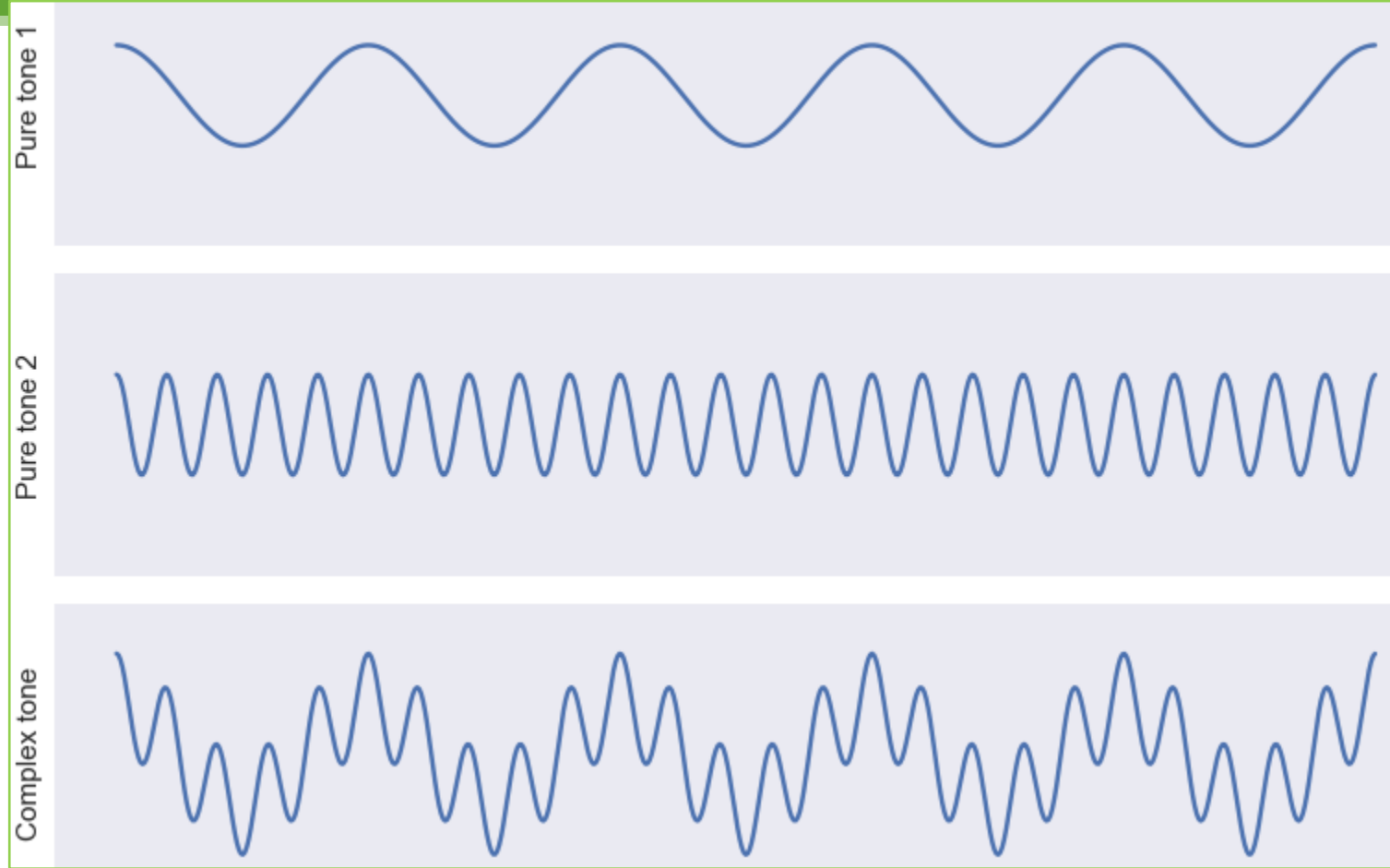
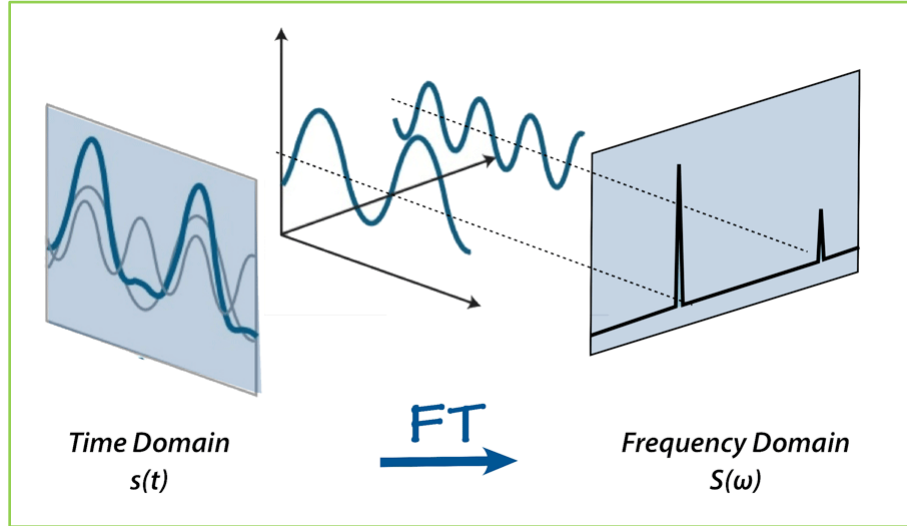


Dalga Şekilleri

- Dalgalar, sinüs, kare, üçgen vb. düzenli şekillerde olabileceği gibi; farklı sinüs dalgalarının ve **farklı şekil ve harmoniklerin birleşiminden** oluşan karmaşık örüntülerle de karşımıza çıkabilir.
- Günlük hayatta karşılaştığımız sinyal ve dalga tipleri çoğunlukla iç içe geçmiş karışık yapıdadır.



Dalga Şekilleri



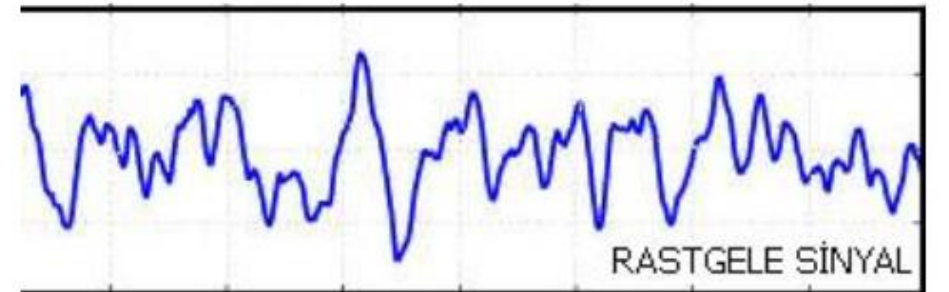
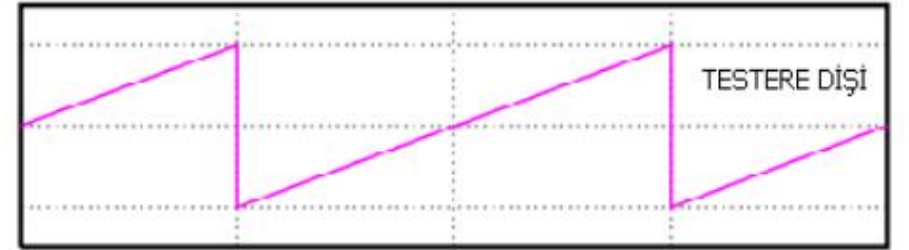
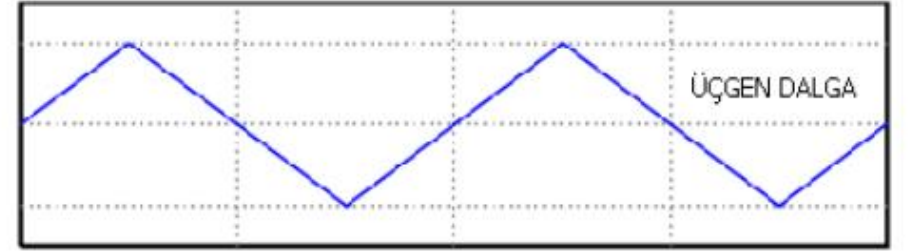
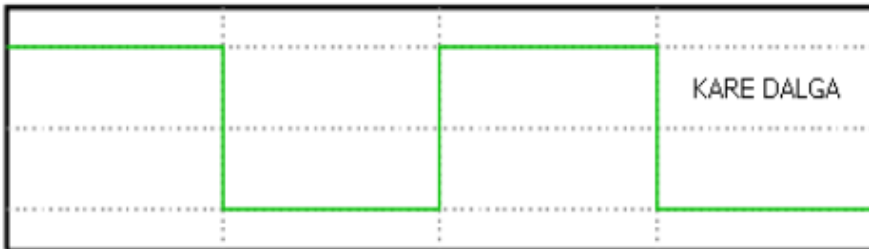
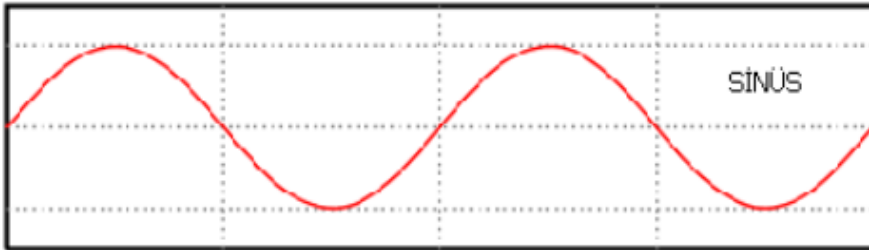
Örnek Görsel: Pure tone 1 + Pure tone 2 = Complex tone

- Dalgalar, farklı sinüs dalgalarının ve farklı **şekil harmoniklerin birleşiminden** oluşan karmaşık örüntülerde olabilir.

TEMEL KAVRAMLAR: Dalga Şekilleri

Sinyal Çeşitleri:

Gerçek uygulamalarda sıklıkla karşılaşılabilecek **'Rastgele Sinyal'**



TEMEL KAVRAMLAR: Kırılma Kanunu

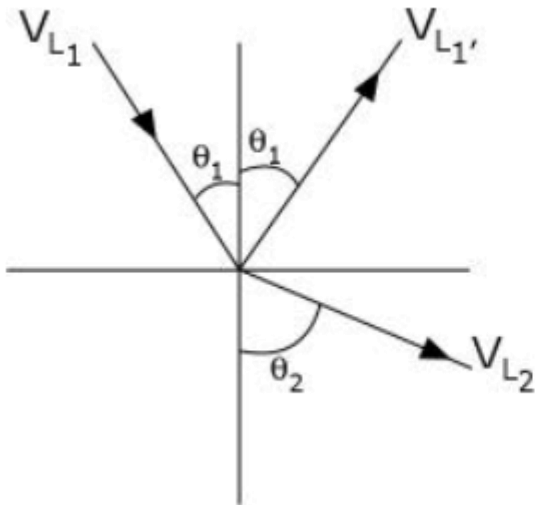
Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

Snell yasası (Snell-Descartes yasası ve kırılma yasası olarak da bilinir), iki farklı izotropik ortam arasındaki (su, cam, hava vb.) sınırdan geçen ışığa ve diğer dalgalara atıfta bulunarak, **geliş ve kırılma açıları arasındaki ilişkiyi** tanımlamak için kullanılan bir formüldür.

TEMEL KAVRAMLAR: (Dalga)

Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

Ses dalgaları için de geçerlidir.



$$\frac{\sin\theta_1}{V_{L1}} = \frac{\sin\theta_2}{V_{L2}}$$

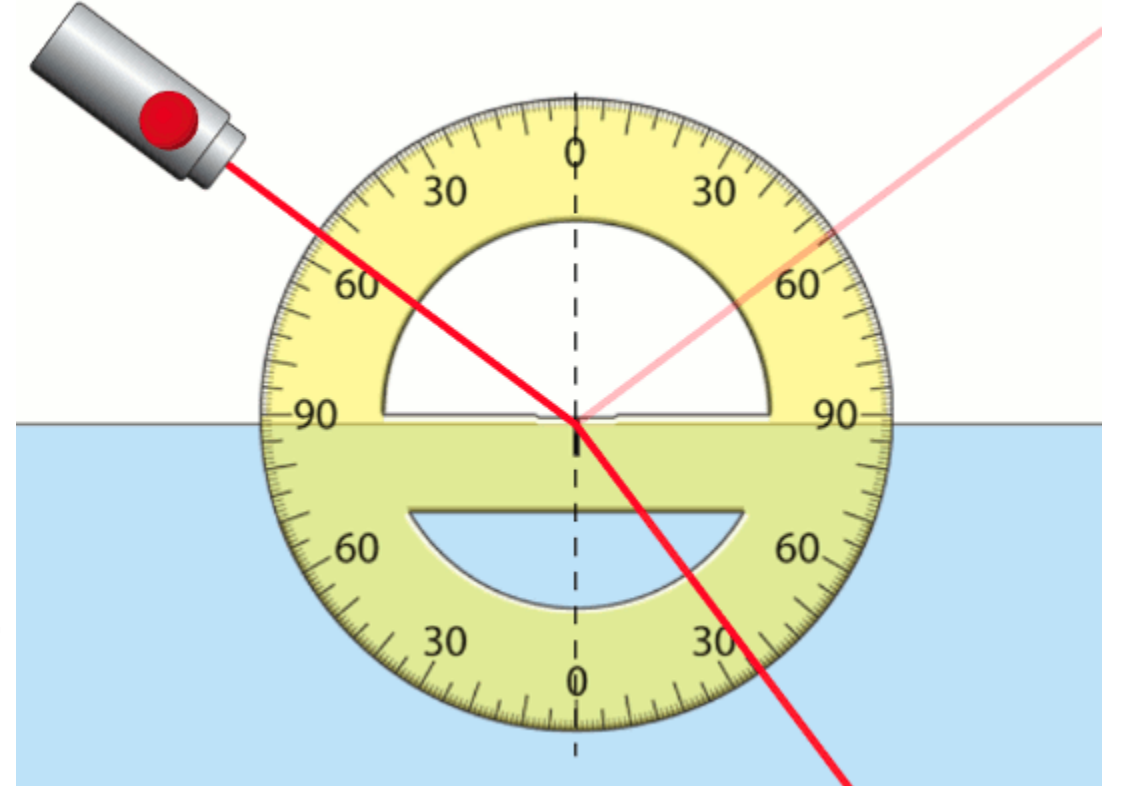
Where:

V_{L1} is the longitudinal wave velocity in material

1.

V_{L2} is the longitudinal wave velocity in material

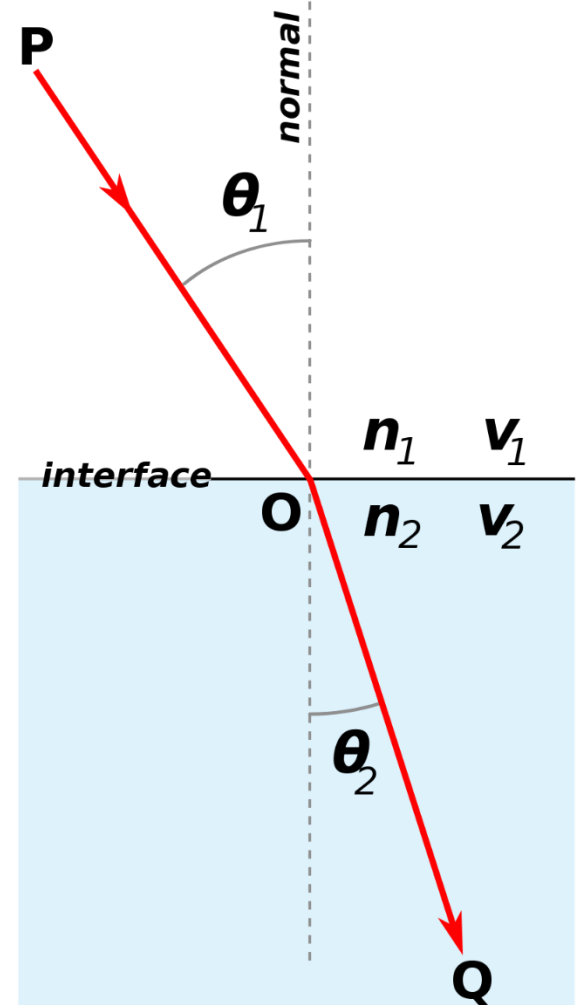
2.



TEMEL KAVRAMLAR: Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

- Snell yasası, geliş (*incidence*) ve kırılma (*refraction*) açılarının (yüzeyin normaline göre) sinüs oranının, iki ortamdaki faz hızlarının oranına veya kırılma indislerinin oranının tersine eşdeğer olduğunu belirtir.

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

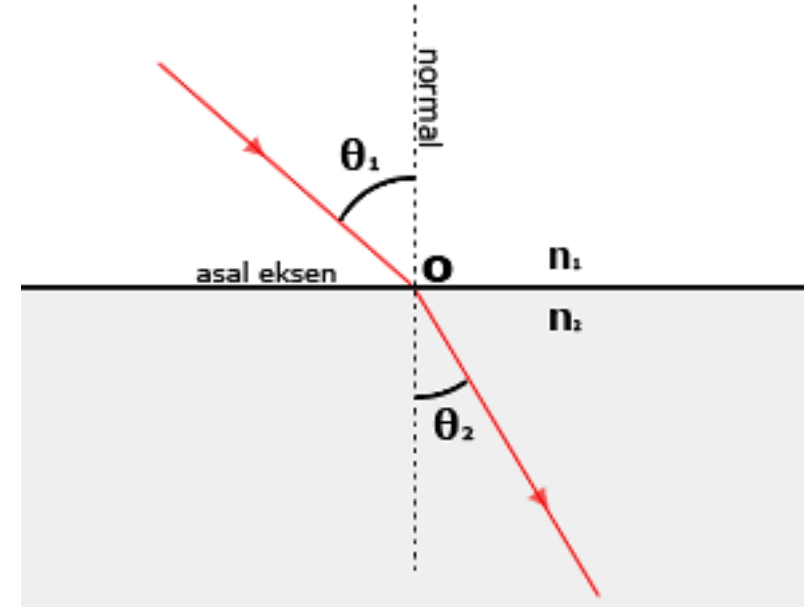


TEMEL KAVRAMLAR: Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

- Bu denkleme göre ortamların kırıcılık indisleri ışığın o ortamdaki hızıyla ters orantılıdır. **Kırıcılık indisi ne kadar çoksa ışık o kadar yavaş hareket eder.**
- n_1 = Işığın geldiği ortamın kırıcılık indisi (katsayısı)
 n_2 = Işığın gittiği ortamın kırıcılık indisi (katsayısı)
 θ_1 = Işığın geliş doğrultusunun normalle yaptığı açı
 θ_2 = Işığın kırıldıktan sonraki gidiş doğrultusunun normalle yaptığı açı
- **Normal:** Bir optik sistemde ışığın kırıldığı noktadan asal eksene (*interface*) çizilen dikme.

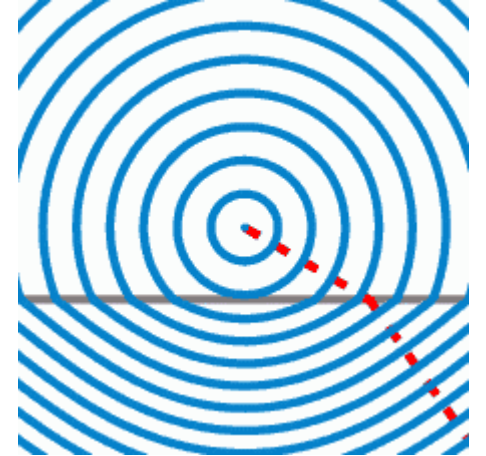
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

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



TEMEL KAVRAMLAR: Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

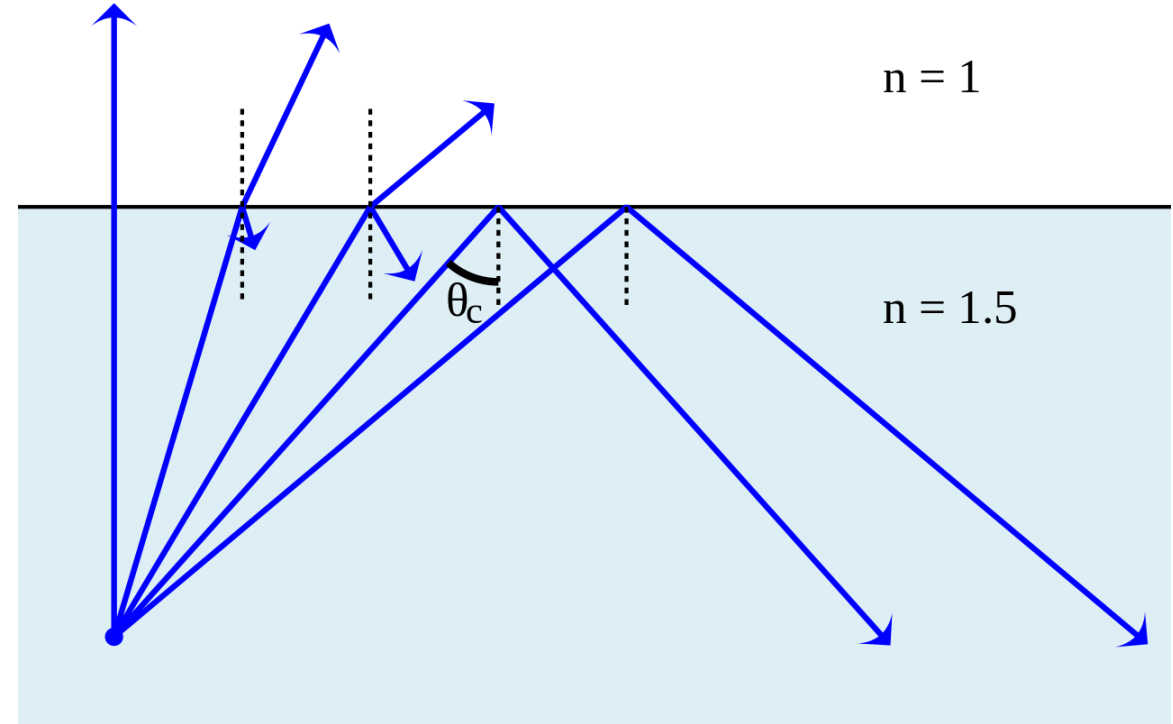
- **Örnek Görsel:** Snell yasası bağlamında bir nokta kaynaktan dalga cepheleri. Gri çizginin altındaki bölge, üstündeki bölgeye göre daha yüksek bir kırılma indisine ve orantılı olarak daha düşük ışık hızına sahiptir.



TEMEL KAVRAMLAR: Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

Kritik Açı:

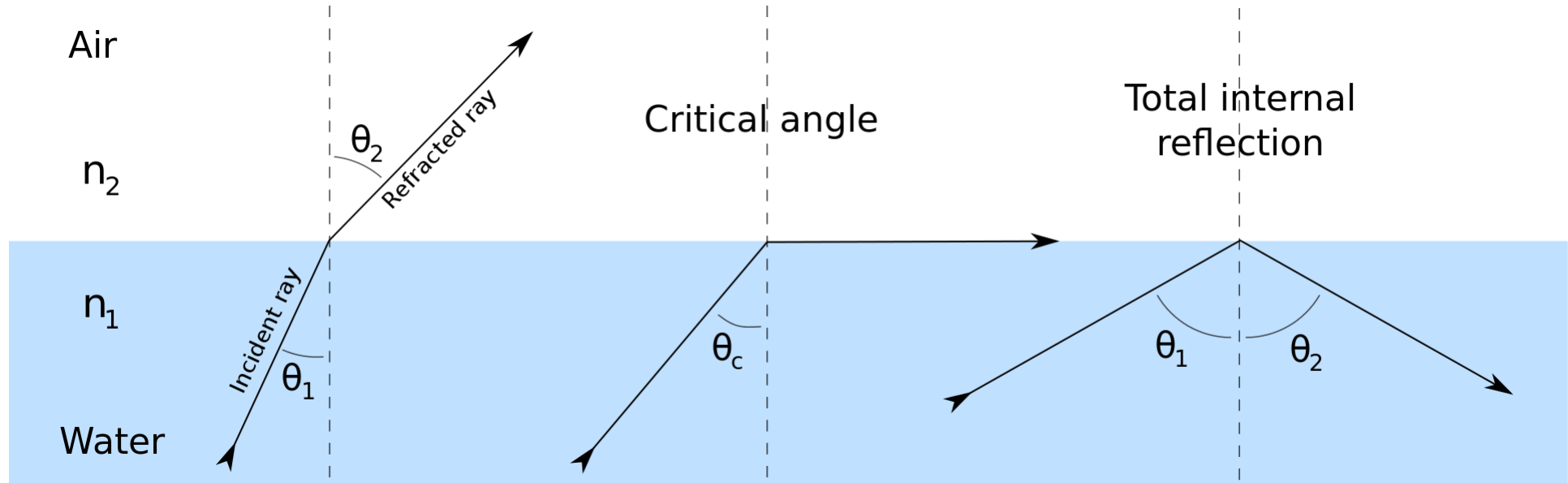
Işık daha yüksek kırılma indisine sahip bir ortamdan daha düşük kırılma indisine sahip bir ortama geçtiğinde, Snell yasasına göre kırılma açısının sinüsünün birden büyük olması gerekiyormuş gibi görünür. Bu imkansızdır.



TEMEL KAVRAMLAR: Snell Yasası (Kırılma Kanunu)

Kritik Açı:

Bu durumlarda ışık, toplam iç yansıma olarak bilinen bir fenomen olan sınır tarafından tamamen yansıtılır. Kırılmış bir ışınla sonuçlanan olası en büyük geliş açısı, kritik açı olarak adlandırılır; bu durumda kırılan ışın, iki ortam arasındaki sınır (*interface*) boyunca hareket eder.



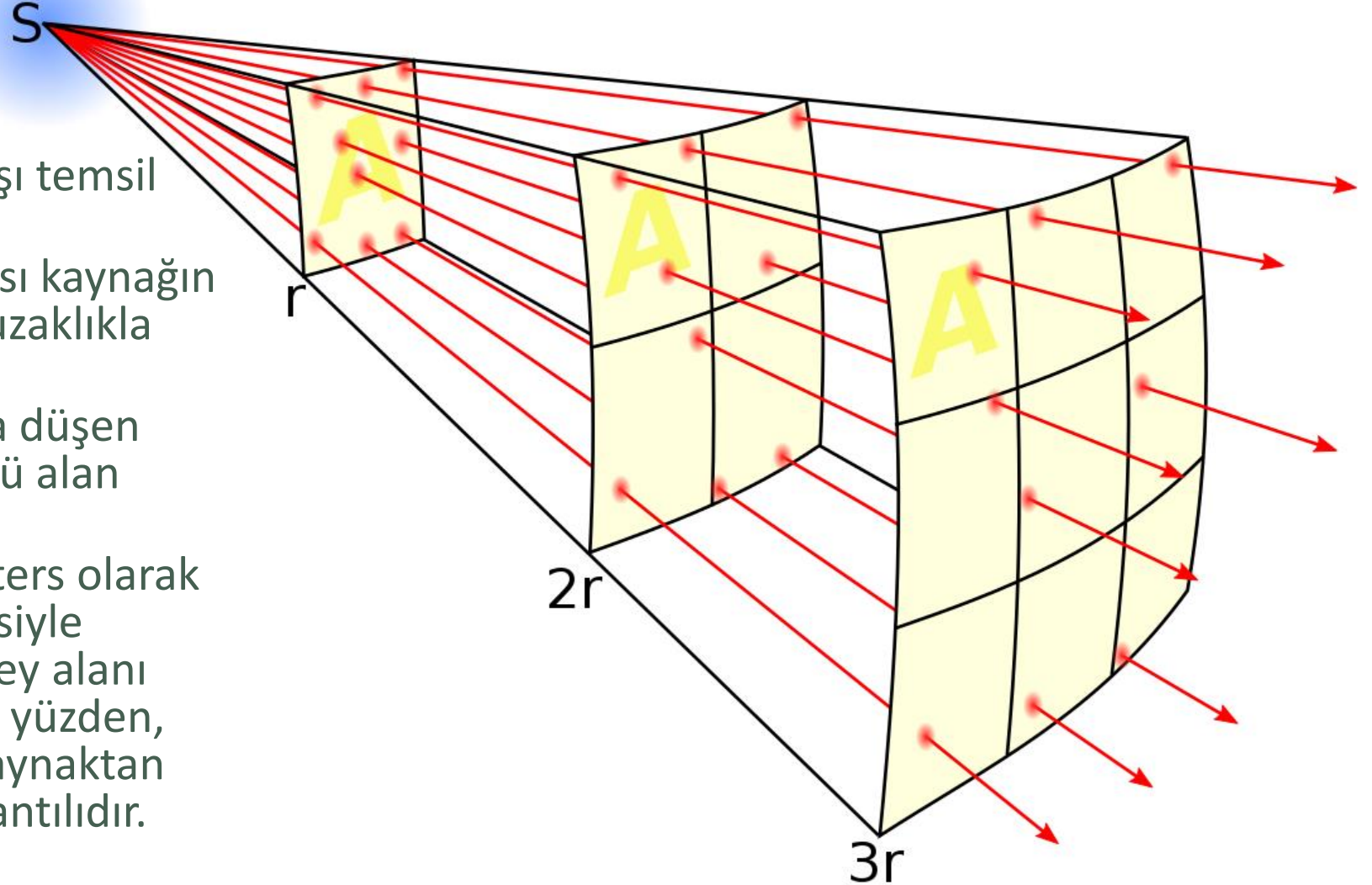
TEMEL KAVRAMLAR: **Ters Kare Yasası**

- ✓ Belirli bir fiziksel etkinin şiddeti, o fiziksel büyüklüğün kaynağından uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Kaynaktan uzaklaştıkça şiddetin azalması durumunu açıklar.
- ✓ Newton'un yerçekimi yasası, elektrik, elektrostatik, manyetizma, ışık, akustik, ses, ışınım ve elektromanyetik radyasyon ters kare yasasını izler.
- ✓ Doğrudan nokta kaynağına bakan, herhangi bir birim alandan geçen radyasyonun şiddeti nokta kaynağından olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.

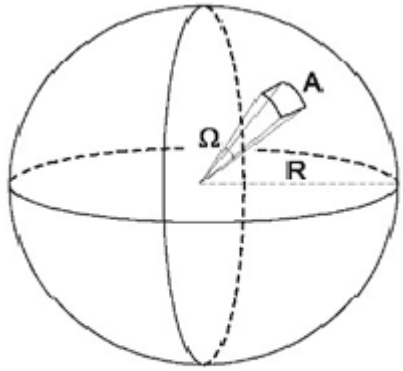
$$(\text{Yoğunluk, Şiddet veya Koyuluk}) \propto \frac{1}{\text{Uzaklık}^2}$$

TEMEL KAVRAMLAR: Ters Kare Yasası

- Çizgiler kaynaktan çıkan akışı temsil etmektedir.
- Akış çizgilerinin toplam sayısı kaynağın şiddetine dayanır ve artan uzaklıkla sabittir.
- Akış çizgilerinin (birim alana düşen çizgi) büyük yoğunluğu güçlü alan anlamına gelir.
- Akış çizgilerinin yoğunluğu ters olarak kaynağa olan uzaklığın karesiyle oranlıdır çünkü kürenin yüzey alanı yarıçapın karesiyle artar. Bu yüzden, alanın kuvveti ters olarak kaynaktan gelen uzaklığın karesiyle orantılıdır.

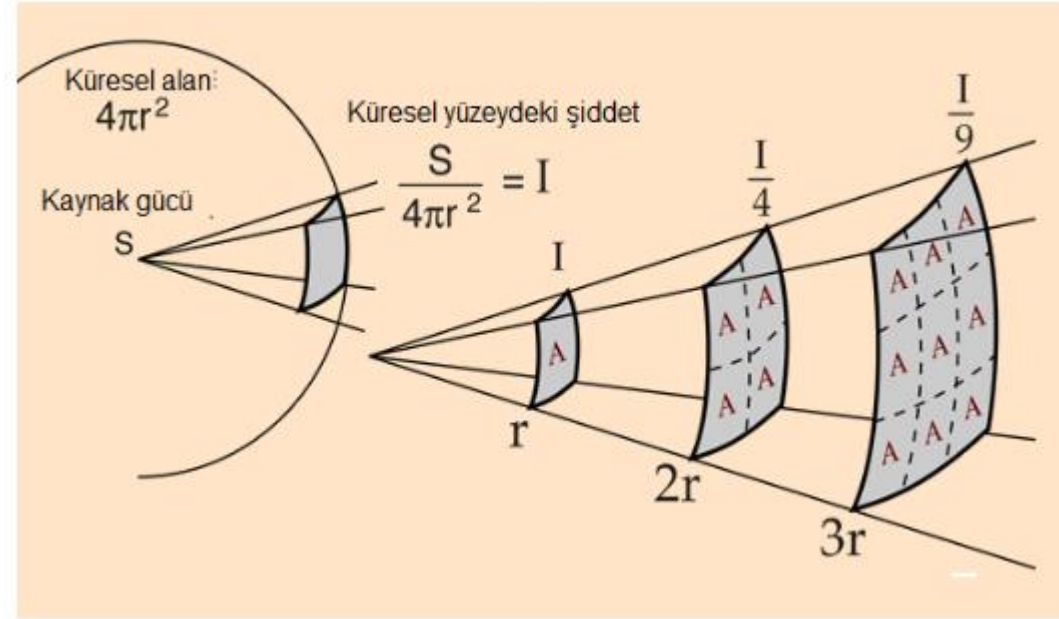


TEMEL KAVRAMLAR: Ters Kare Yasası



$$\Omega = \frac{A}{R^2} \text{ steradians (sr)}$$

$$\frac{S}{4\pi r^2} = I$$



Bu durum tamamıyla geometrik hususlardan ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir r yarıçapındaki etkinin şiddeti (I), kaynağın gücünün (S) kürenin alanına ($4\pi r^2$) oranıdır. Ters kare kanununun temeli geometrik olduğundan birçok fiziksel olay için geçerlidir.

MUTK216 – Tahribatsız Malzeme Muayenesi

TEMEL KAVRAMLAR

Transdüser (*Transducer – Dönüştürücü*)

Sensör (*Sensor – Algılayıcı*)

Sinyal (*Signal – İşaret*)

TEMEL KAVRAMLAR: Transdüser ve Sensör

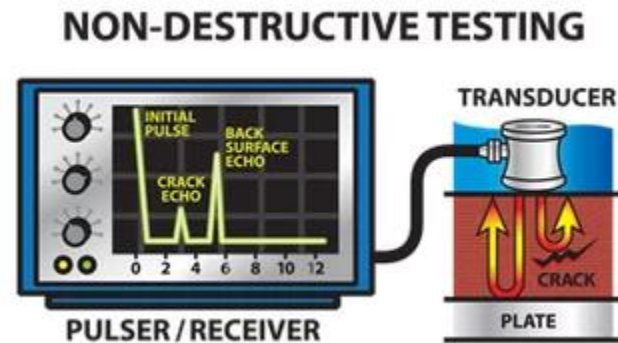
- Tahribatsız muayene metotlarının her birinde çeşitli ölçümler yapılarak bir sonuca varılmaktadır.
- Bir ölçüm sistemi; sensörler (algılayıcılar), aktüatörler (eyleyiciler), dönüştürücüler (*converters*) ve sinyal işleme (*signal processing*) cihazlarından oluşur. Bu elemanların ve cihazların kullanımı tabii ki sadece ölçüm sistemleri ile sınırlı değildir.

Sensör

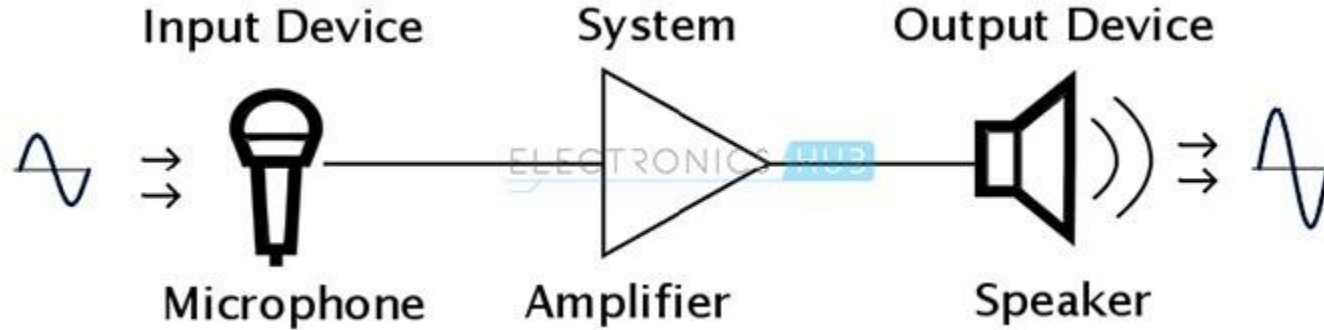
- **Sensör**, fiziksel bir uyarıcıdaki değişiklikleri ve olayları algılayan ve buna karşılık gelen, ölçülebilir ve/veya kaydedilebilir bir çıkış sinyali sağlayan cihazdır. Burada çıkış sinyali ölçülebilir herhangi bir sinyal olabilir ve genellikle elektriksel bir niceliktir.
- En iyi örneği cıvalı termometredir. Burada ölçülen nicelik ısı veya sıcaklıktır. Ölçülen sıcaklık, sıvı cıvanın genişmesi ve daralmasına bağlı olarak kalibre edilmiş cam tüp içerisinde, dışarıdan okunabilir (görsel) bir değere dönüştürülür.

Transdüser

- **Transdüserler**, enerjiyi bir formda başka bir forma dönüştüren cihazlardır. Genellikle enerji bir sinyal biçimindedir. Transdüser (*transducer*), hem sensörler hem de aktüatörler için toplu olarak kullanılan bir terimdir.

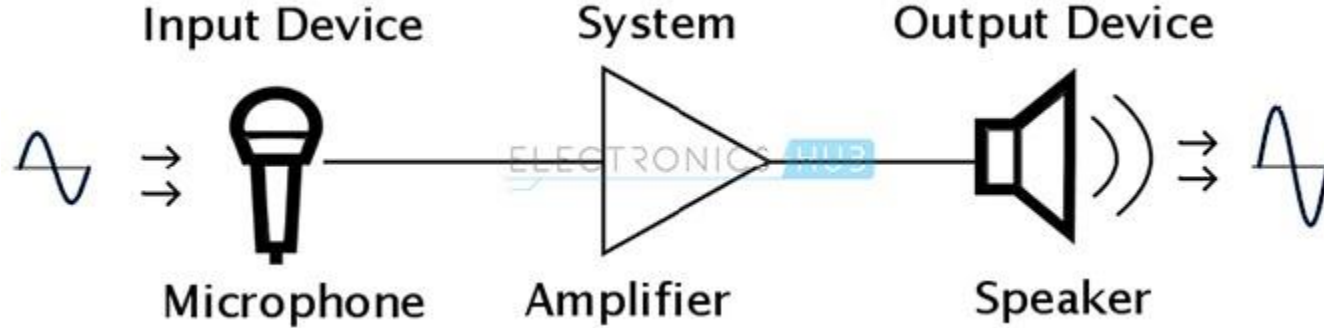


Temel Transdüser Uygulama Örneği



- Sensör veya giriş transdüseri mikrofondur.
- Mikrofon, ses sinyallerini algılar ve bunları elektrik sinyallerine dönüştürür.
- Amplifikatör (yükseltici) bu elektrik sinyallerini alır ve güçlerini artırır.
- Aktüatör veya çıkış fonksiyonlu cihaz hoparlördür (*speaker*). Amplifikatörden yükseltilmiş elektrik sinyallerini alır ve bunları tekrar ses sinyallerine dönüştürür, ancak daha fazla erişime sahiptir.

Temel Transdüser Uygulama Örneği



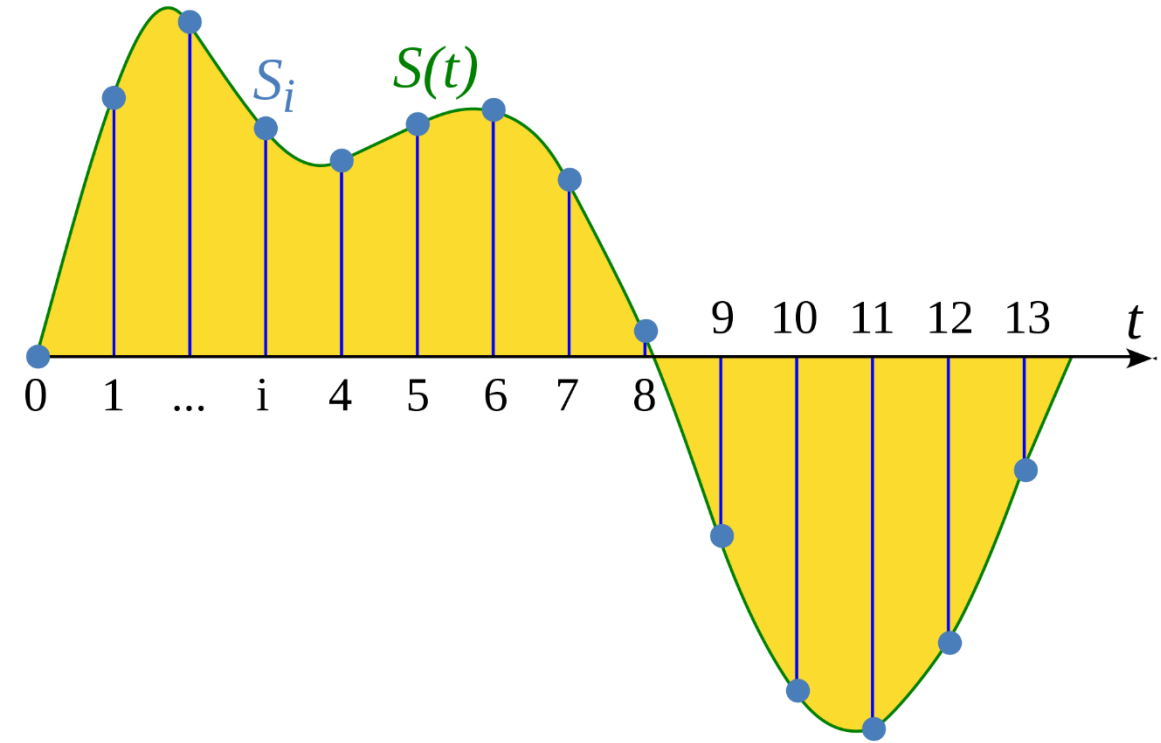
- Burada mikrofonu bir NDT sistemindeki ölçüm probuna benzetebiliriz. Çıkış fonksiyonunu yerine getiren hoparlörü ise ölçüm cihazlarındaki monitörlere benzetmek mümkündür.

TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

- Tahribatsız muayene tekniklerinde kullanılan cihazlar da, tüm diğer ölçme sistemleri gibi veri toplama (*data acquisition*) ve sinyal işleme (*signal processing*) ilkelerine göre fonksiyonlarını yerine getirmektedir.

TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

Sinyal işlemede örnekleme (*sampling*) yapılarak, sürekli zaman sinyali ayrık (*discrete*) bir zaman sinyaline indirgenir. Analog-dijital dönüşümün (**ADC**) temelini oluşturur.



TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

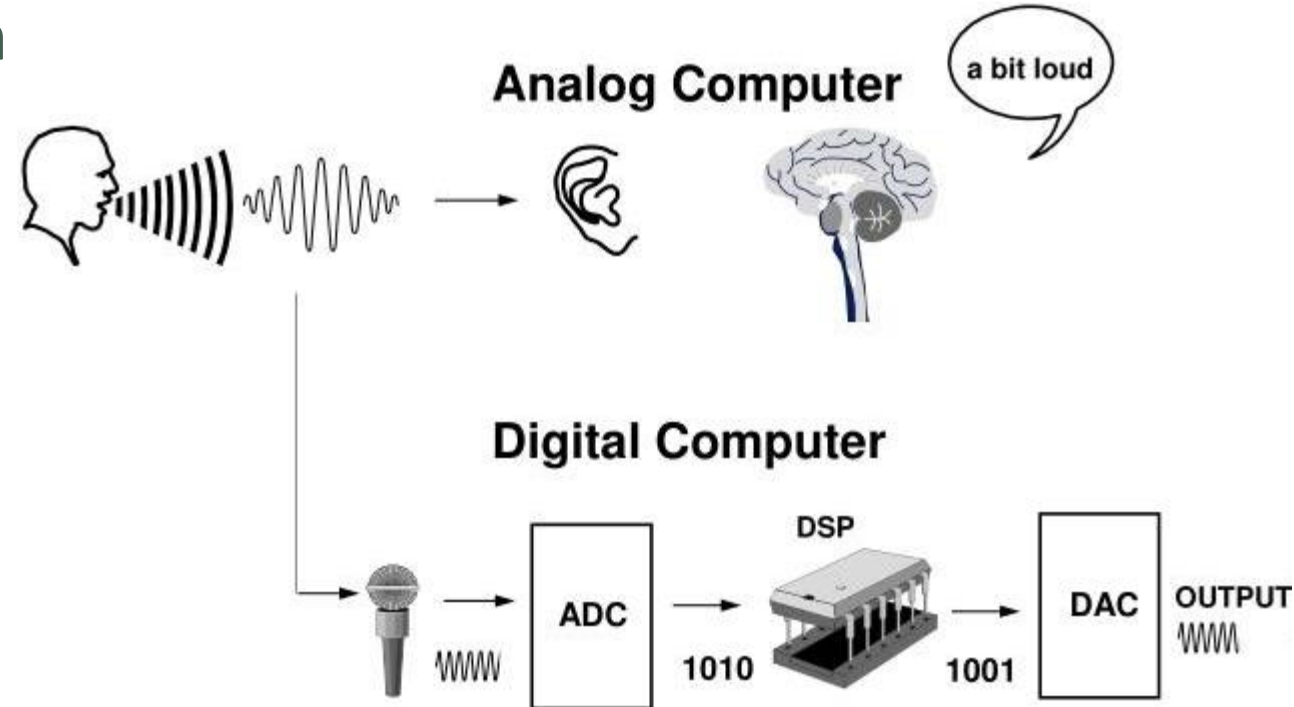
- Yaygın bir örnek, bir ses dalgasının (input: sürekli bir sinyal) bir örnek dizisine (ayrık bir zaman sinyali – dijital sinyal) dönüştürülmesidir.

ADC: Analog to Digital Convertor

DAC: Digital to Analog Convertor

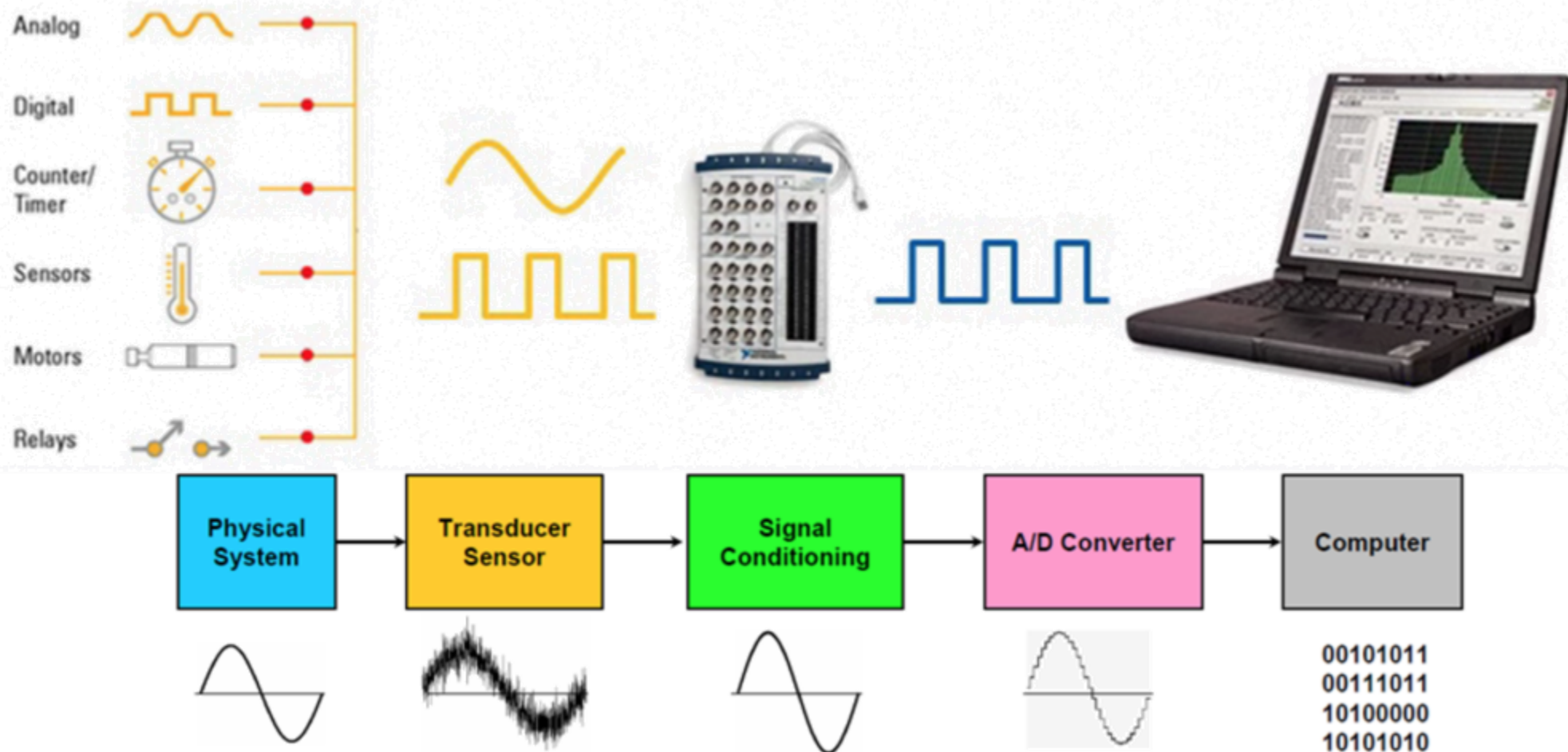
DSP: Digital Signal Processing

What Is DSP?



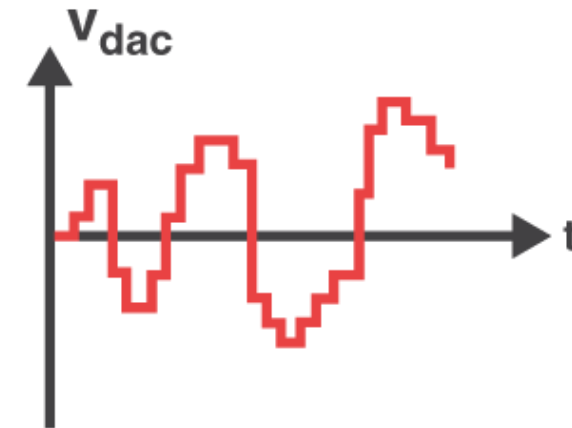
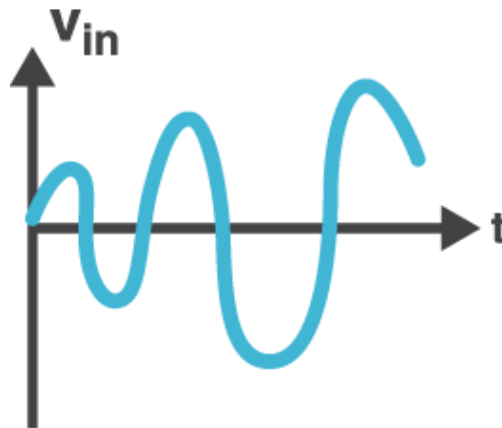
TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

- Fiziksel niceliklerden dijital verilere dönüşüm



TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

- Analog sinyalin dijital sinyale dönüştürülmesi

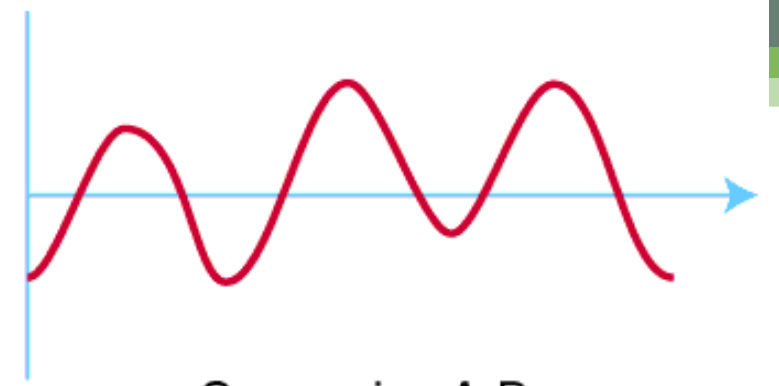


TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

Analog sinyalin dijital sinyale dönüştürülmesi

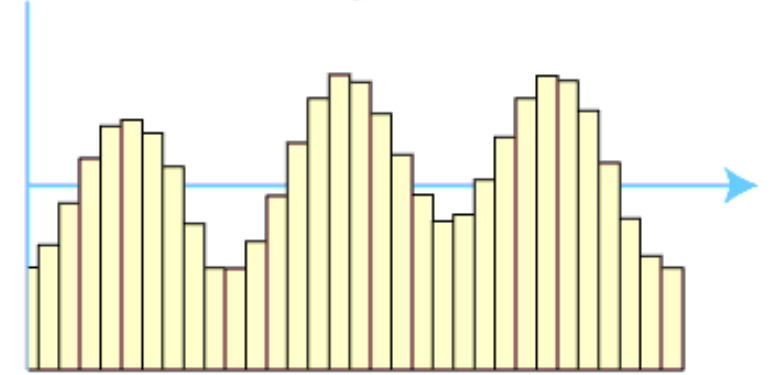
- Bir ADC (Analog to Digital Converter), sürekli zamanlı ve **sürekli genlikli** bir **analog sinyali** ayırık zamanlı ve **ayrık genlikli** bir **dijital sinyale** dönüştürür. Dönüştürme, girdinin nicelleştirilmesini içerir, bu nedenle mutlaka az miktarda hata veya gürültü meydana gelir. Bir ADC, sürekli olarak dönüştürme gerçekleştirmek yerine, dönüştürmeyi periyodik aralıklarla yapar, girişi örnekler ve giriş sinyalinin izin verilen bant genişliğini sınırlar.

fig. 1



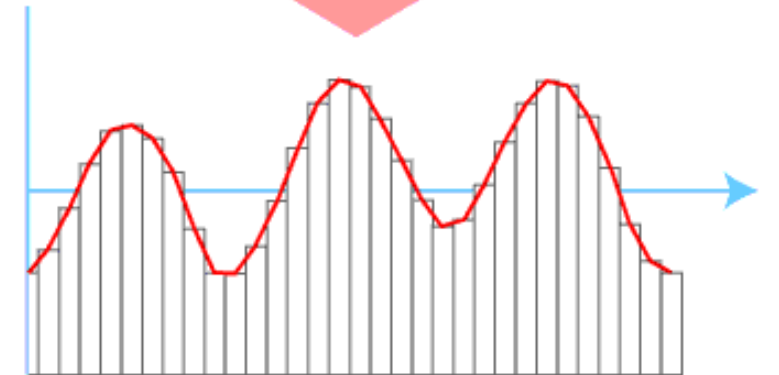
Conversion A-D

fig. 2



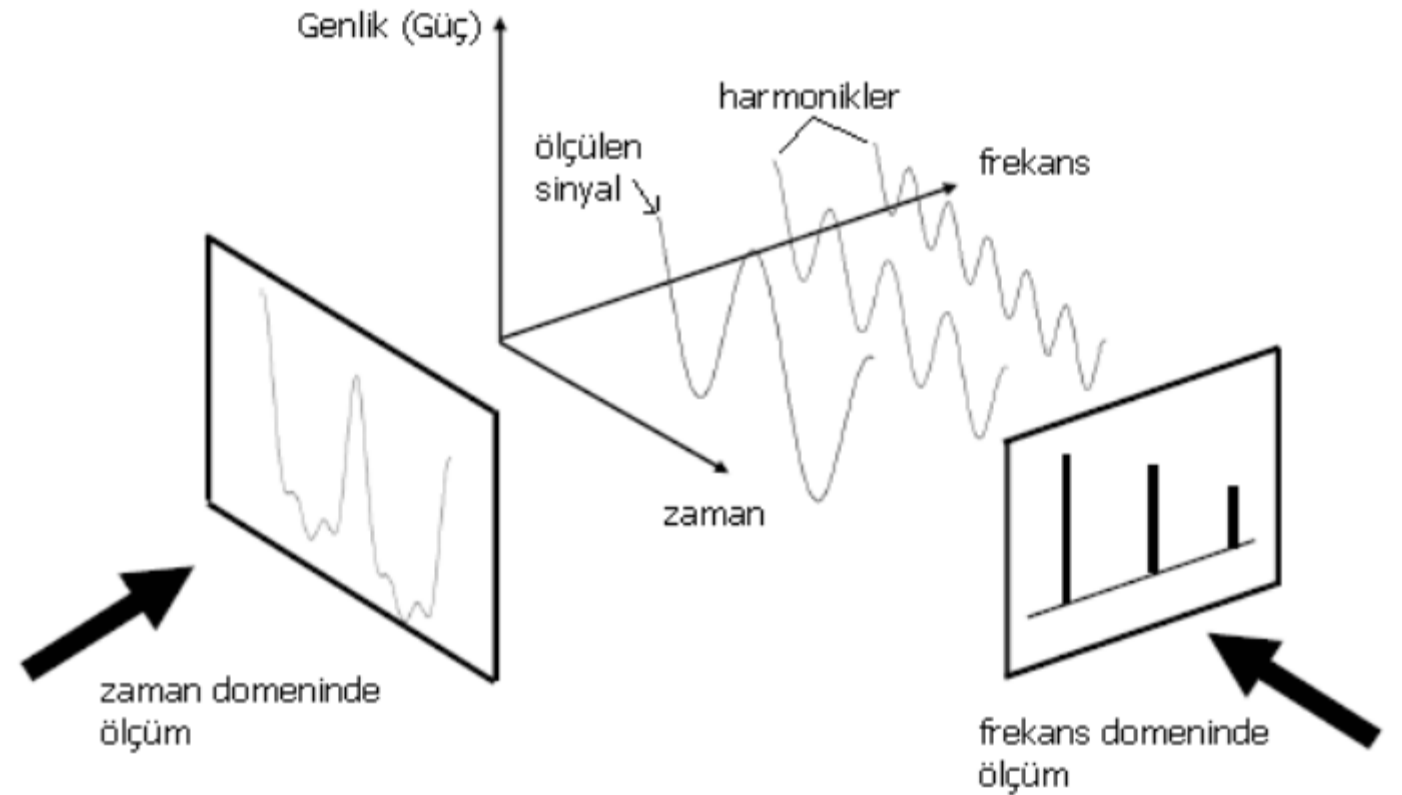
Conversion D-A

fig. 3



TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

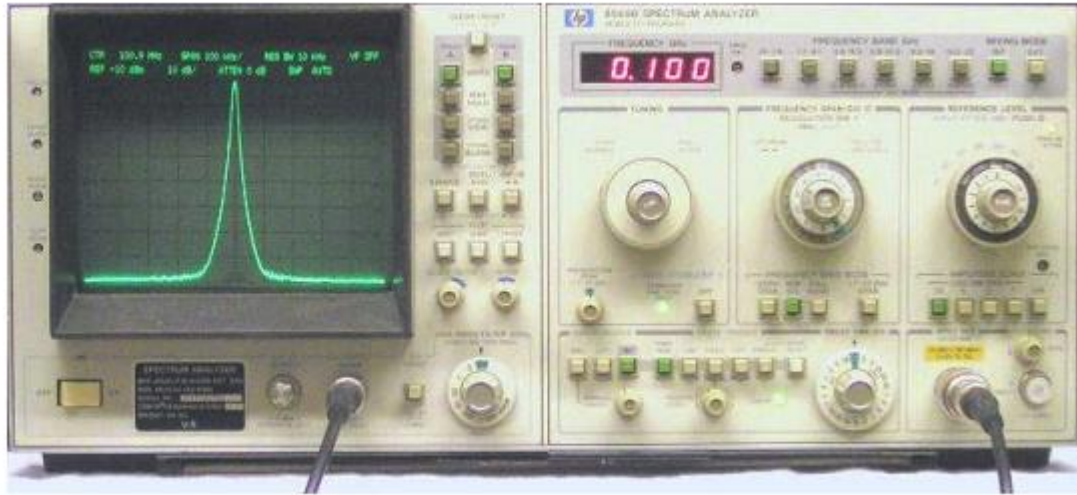
- Frekans ve Zaman Domenleri:
(*Time Domain – Frequency Domain*)
Bir sinyalin farklı düzlemlerde ele alınarak incelenmesi



Şekil 1.1: Frekans-zaman domenleri

TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

Spektrum Analizörleri: Genlik-Frekans düzleminde elektrik sinyallerinin incelenmesini sağlar.



Resim 1.2: Spektrum analizörünün ön panelinin görünüşü (HP8569B)

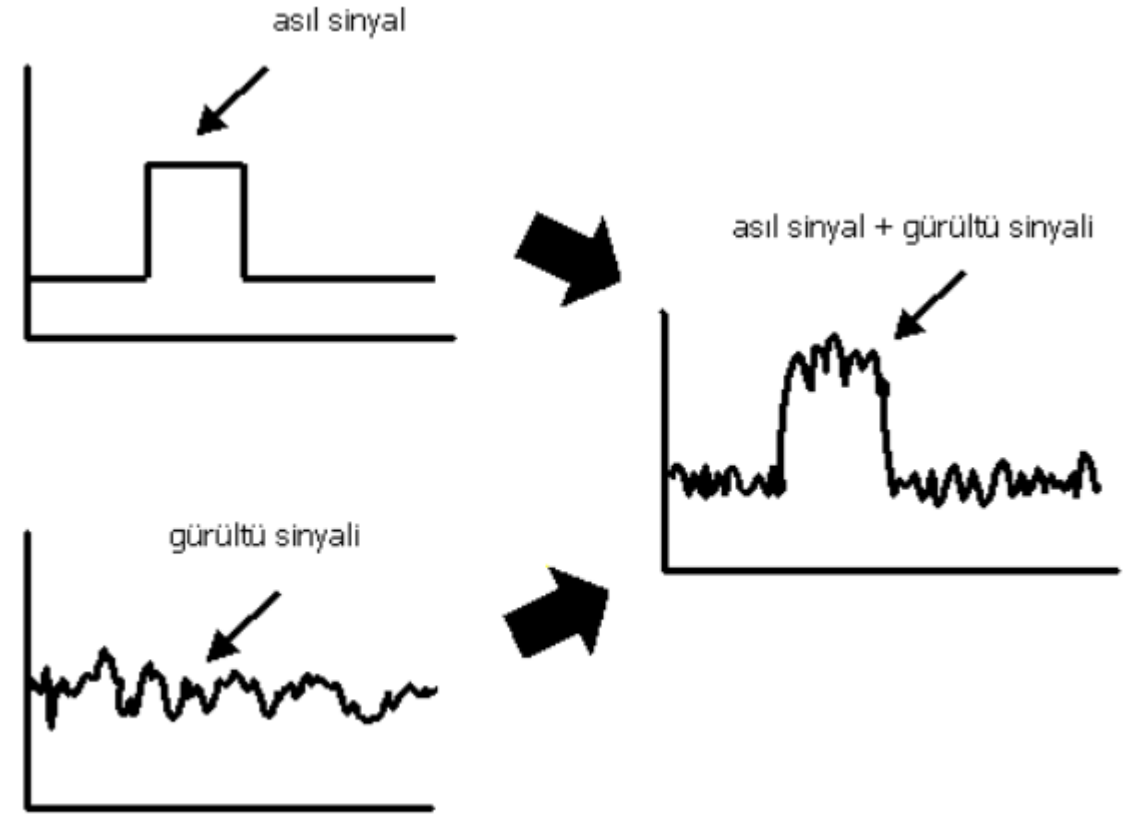


Resim 1.1: Spektrum analizörü

TEMEL KAVRAMLAR: Sinyal İşleme

Gürültü:

- İletilmek istenen **bilgi sinyali**ne karışan **parazitler**dir.
- Analog veya dijital sinyallerin işlenmesi veya ölçüm sırasında sinyale karışan, işlemlerin istenmeyen ve belli anlama gelmeyen yan ürünü olarak da tanımlanabilir.



Şekil 2.1: (a) Gürültü sinyalinin asıl (bilgi) sinyal üzerindeki etkileri

Kaynakça:

- <https://www.nde-ed.org/Physics/index.shtml>
- [https://tr.wikipedia.org/wiki/Dalga_\(fizik\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Dalga_(fizik))
- https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1r%C4%B1lma_indisi
- <https://www.electronicshub.org/sensors-and-transducers-introduction/>
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Titre%C5%9Fim>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s_law
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Aliasing>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_\(signal_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_(signal_processing))
- https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter
- https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_radyasyon
- https://tr.wikipedia.org/wiki/Ters_kare_yasas%C4%B1
- https://tr.wikipedia.org/wiki/Snell_yasas%C4%B1