

Prof. Dr. Bayram DEVİREN

BİYOLOJİK SİSTEMLERDE MATEMATİK VE FİZİK KULLANIMI, FONKSİYONEL İLİŞKİ BİÇİMLERİ

DERS İŞLEYİŞİ:

- Biyofiziğin Tanımı
- Biyofiziğin Konusu
- Biyofiziğin Tarihçesi
- Temel Birimler
- Ölçme ve Ölçme Yöntemleri
- Sistem Kavramı

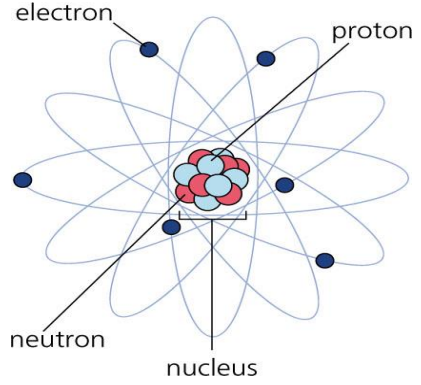
KENNETH STEWART COLE (1900-1984)

Biophysics includes
everything that is interesting
and excludes everything that
is not.

Nakleden: Sybesma, C. (1977). An Introduction to Biophysics .
New York: Academic Press.



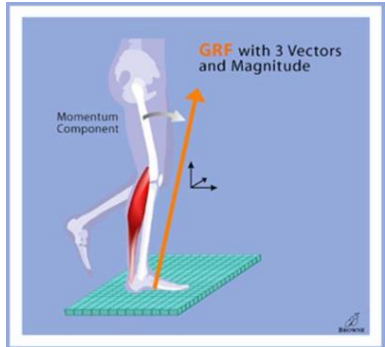
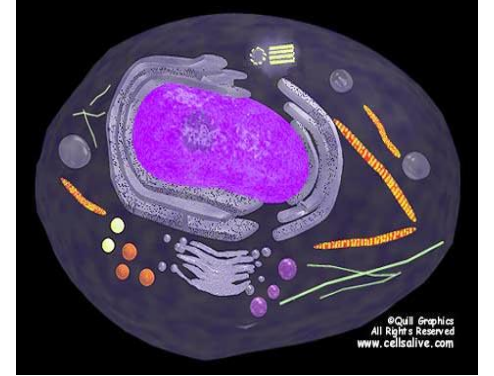
BİYO FİZİĞİN TANIMI



FİZİK

BİYO FİZİK

BİYOLOJİ



BİYOFİZİĞİN TANIMI

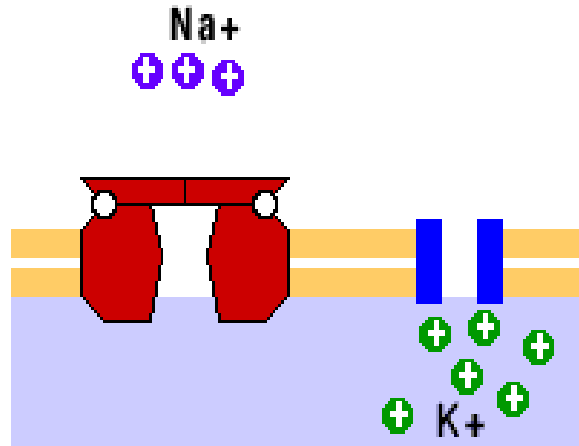
Biyofizik, biyolojik sistemlerinin nasıl çalıştıklarını anlamak için fizik ve kimya yasalarını, matematiksel analiz yöntemlerini ve bilgisayar modellemeleri kullanan bir BİLİM DALI olarak tanımlanır. Kısaca BİYOFİZİK canlı organizmaların fiziği olarak tanımlıdır

Konusu; Biyoloji

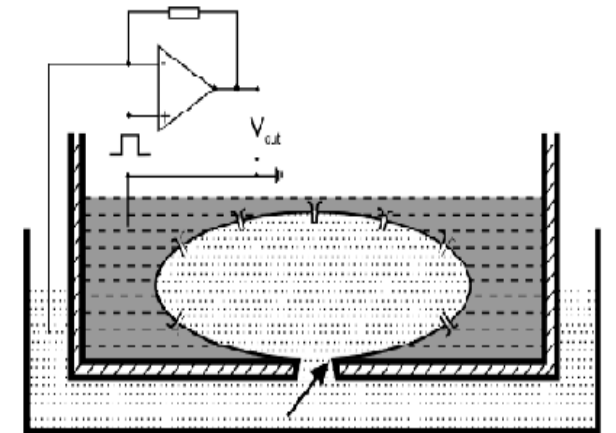
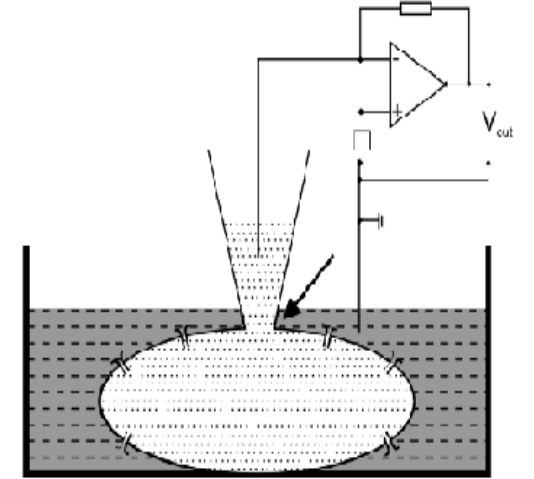
Metodolojisi; Fizik ve Matematik

-bio (Latin) ...

-physics (Latin)...

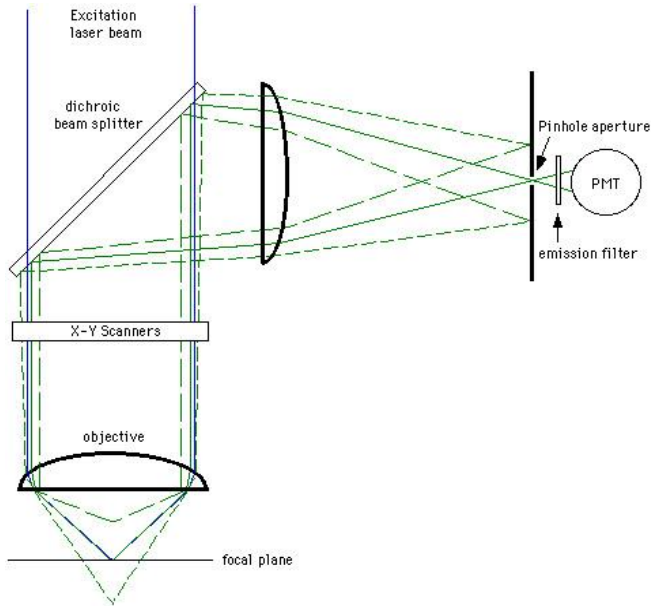


$$\begin{aligned} I = & C_m \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \bar{g}_K \cdot n^4 \cdot (V - V_K) \\ & + \bar{g}_{Na} \cdot m^3 \cdot h \cdot (V - V_{Na}) \\ & + \bar{g}_l \cdot (V - V_l), \quad V(0) = V_0 \end{aligned}$$



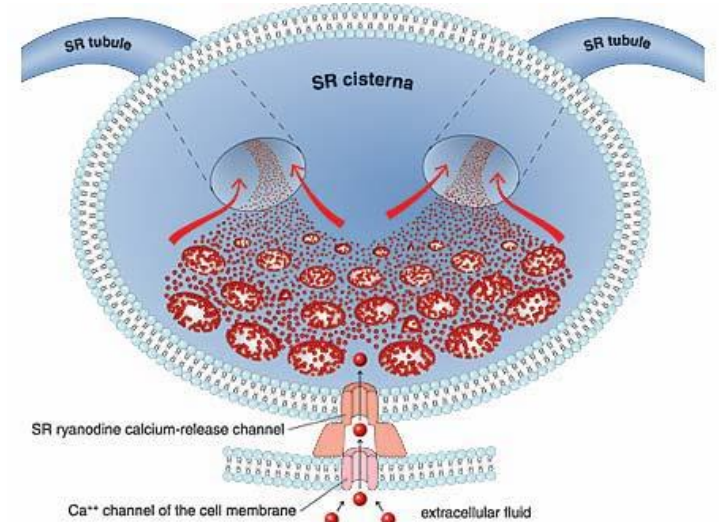
BİYO FİZİĞİN TANIMI

Biyofizik olması için yalnızca Fizik Araçları kullanmak YETMEZ



Ör: Konfokal mikroskop

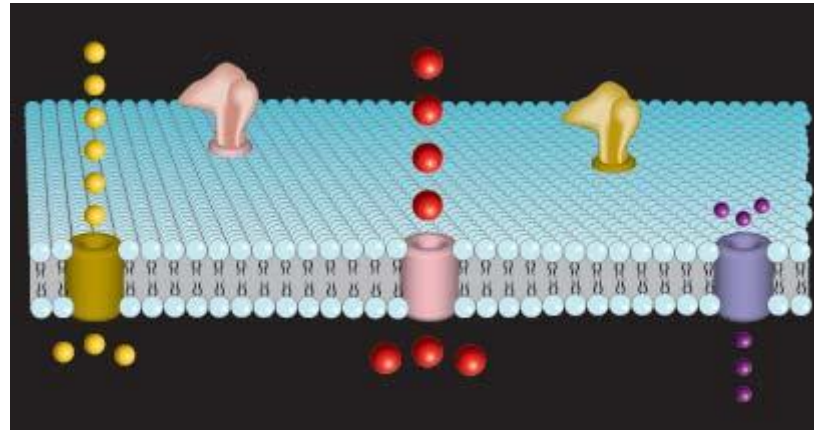
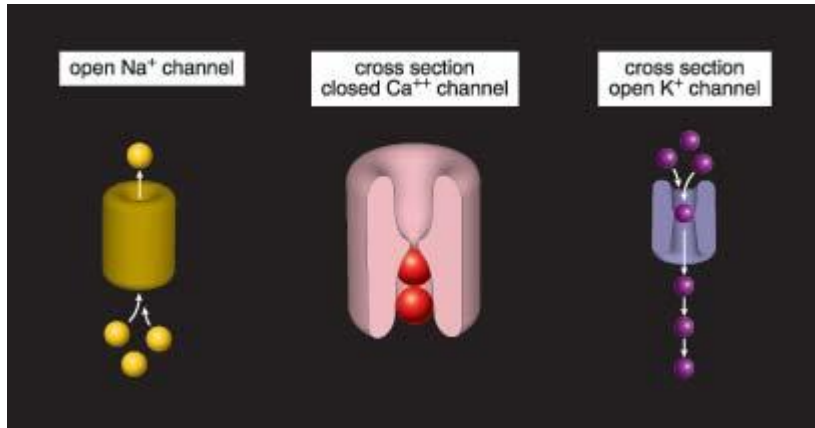
Ön sırada DÜŞÜNCELER gelir



BİYO FİZİĞİN TANIMI

✓ Biyofizik Moleküler Bilim Dalıdır

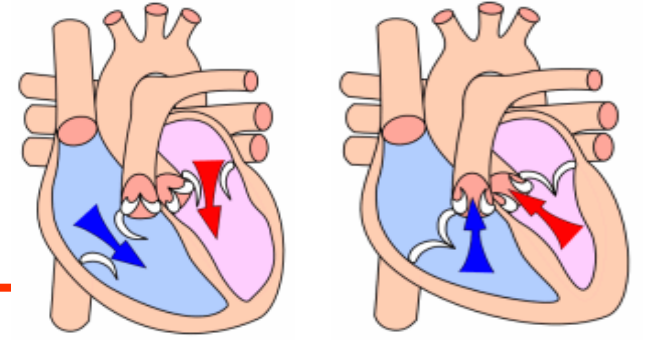
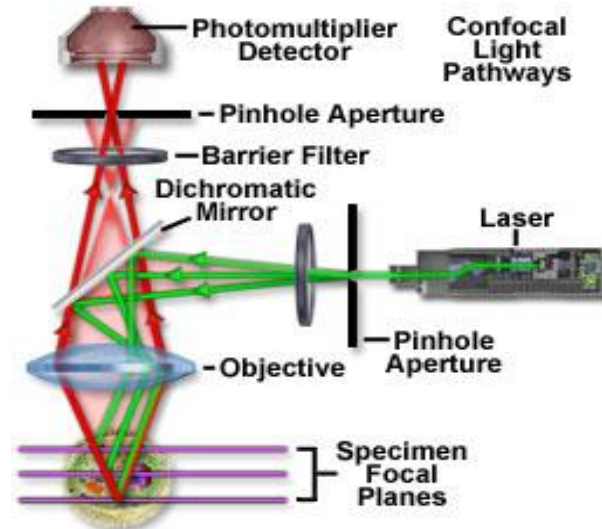
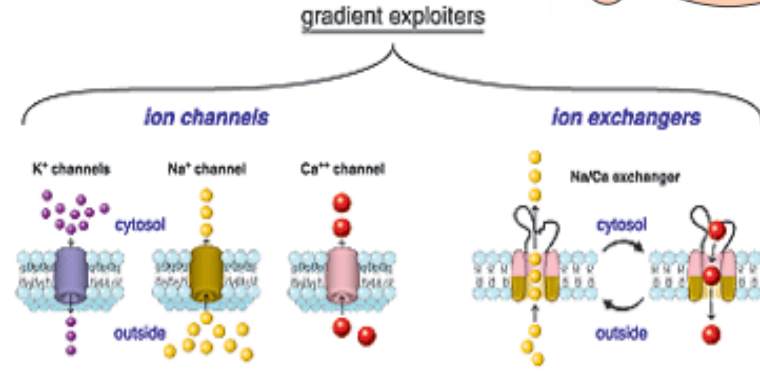
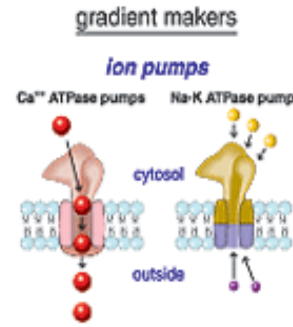
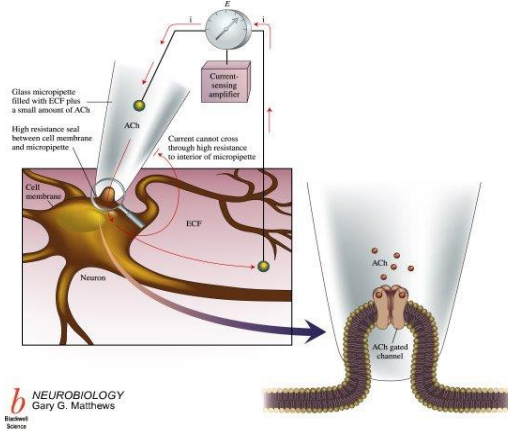
“Moleküler Yapılarını” ve “Spesifik Moleküllerin Özelliklerini”
Kullanarak “Biyolojik Fonksiyonları” İncelemeyi Hedefler”



BİYOFİZİĞİN KONUSU

**Sonuç Olarak; Biyofizik Spesifik
Biyolojik Moleküllerin Yapısını ve
Bunların yer aldığı daha Büyük
Yapıları İncelemede
YOĞUNLAŞMIŞTIR**

**Araştırmaların bir Bölümü ise bu yapıları
incelemek için Yeni Yöntemlerin ve Cihazların
Geliştirilmesinde toplanmıştır**

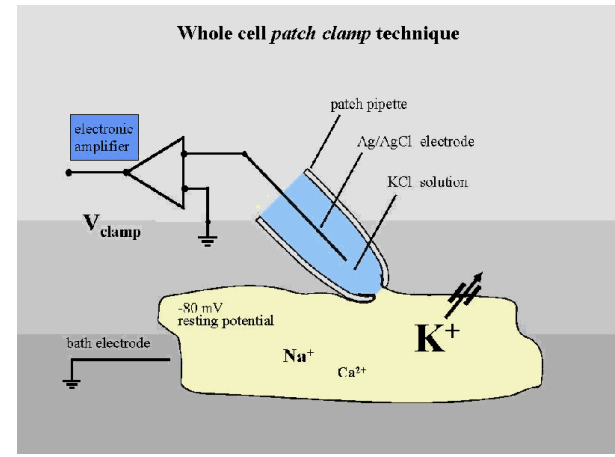
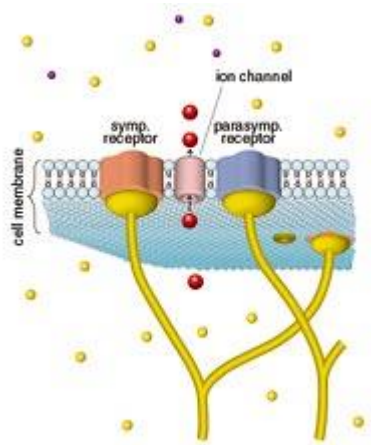


BIYOFİZİĞİN KONUSU

Biyofizik kısaca; konu maddesi açısından Biyoloji ile aynı olduğundan Biyoloji Bilim Dalına, metodolojisi ile biyolojik problemlere fizik açısından yaklaşp fiziğin deney yöntemleri yanında kavram, ilke ve yasalarını kullanarak çözmeye çalışması açısından da Fizik Bilim Dalına yakındır

Ör: EKG veya mikroskoplar fiziksel araçlardır,
Ama bunları her kullanan Biyofizik ile uğraşmıyor değildir

Biyofizik; canlılarla ilgili problemin fiziksel formülasyonu ve fiziğin genel yasaları ile çözümüdür



BİYO FİZİĞİN TARİHÇESİ



**Bilim insanları, fiziksel düşünce ve yöntemleri
Biyolojinin sorunlarına her zaman
uygulamışlardır**

**19. Yüzyılın sonlarına kadar bilim genel olarak
Astronomi (12??), Anatomi (13??), Mekanik
(13??), Fizik (Optik: 1579; Elektrik: 1646), Kimya
(1646), Biyoloji (Fizyoloji: 1597), Psikoloji (1653)
dallara ayrılmışsa da, Bilim İnsanları çok değişik
alanlarda bilime katkıda bulunmuşlardır**

TARİHTE İLK BİYOFİZİKÇİLER

Galileo Galilei (1564-1642)

İtalyan astronom, fizikçi, mühendis, filozof ve matematikçi.

Günümüzdeki anlamı ile Bilisel Yöntemin Kurucusu
Tıp öğrenimi, matematik profesörü, fiziğe birçok katkıda bulunmuş

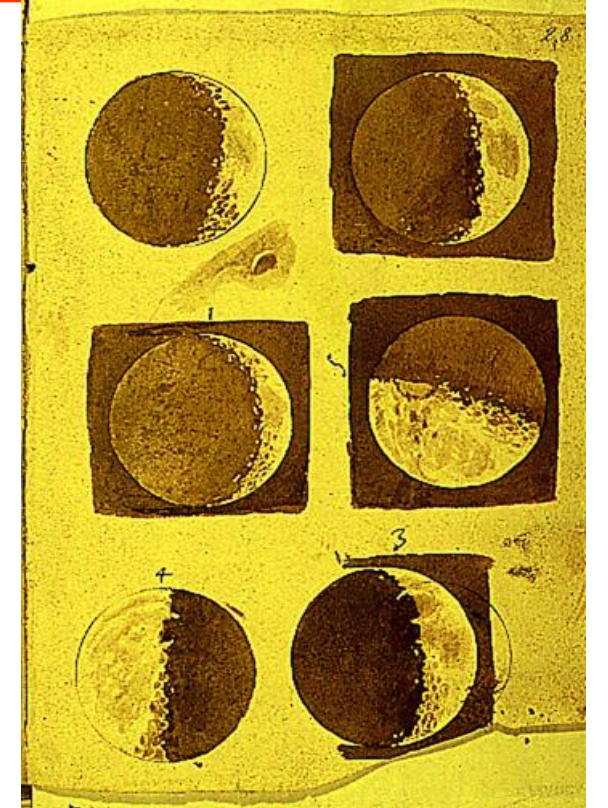
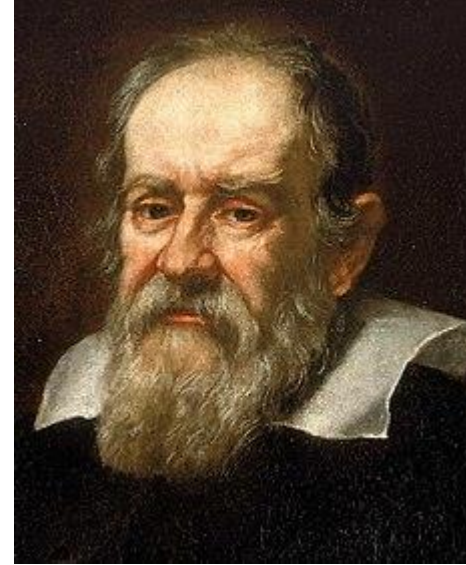
(sarkacın periyodunun genliğinden bağımsız olduğunu bulmuş)

Gözlemsel astronomiye katkılarının arasında Venüs'ün evrelerinin teleskobik kanıtı, Jüpiter'in en büyük dört uydusunun keşfi (Galileo'nun uyduları adı verilmiştir), güneş lekelerinin gözlemi analizi bulunmaktadır
Mikroskobun icatı.1590

Sanctorius (1561-1636)

İtalyan hekim.

Sarkaç ve termometreyi klinik uygulamaya katmış



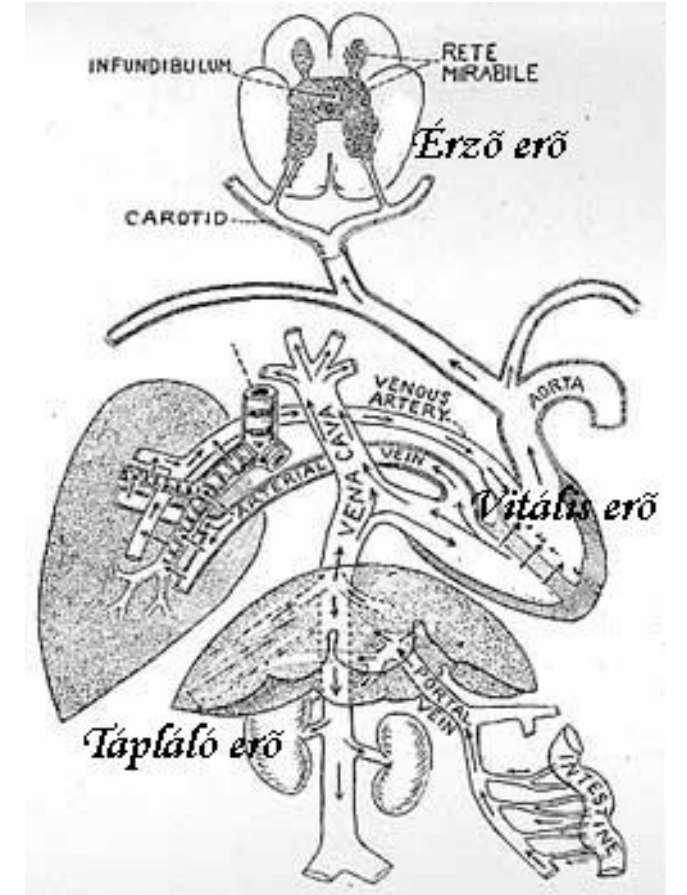
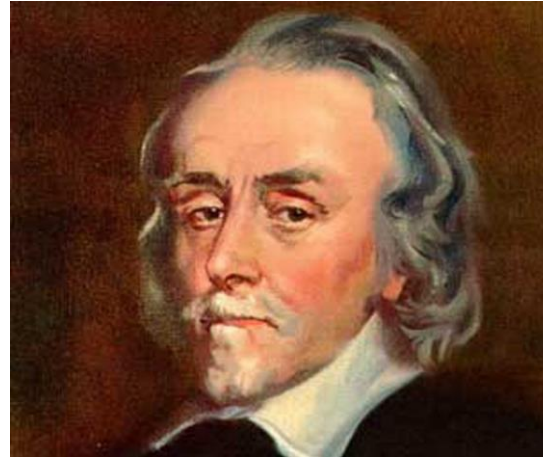
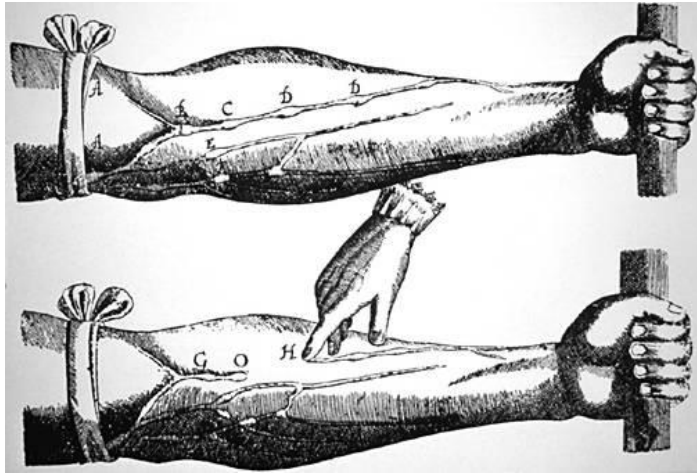
Galileo Galilei's "The Phases of the Moon"

Image courtesy of Biblioteca Nazionale - Florence, Italy

TARİHTE İLK BİYOFİZİKÇİLER

William Harvey (1578-1657)

İngiliz tıp doktoru. Modern fizyoloji biliminin öncülerindendir. Tabip, fizyolog-anatomist olan Harvey biyolojik araştırmalarda ilk kez matematik terimleri kullanmış, kan dolaşımı teorisini kurmuştur



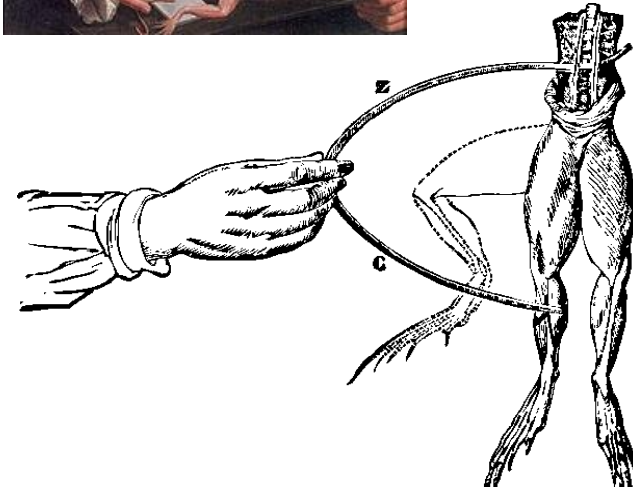
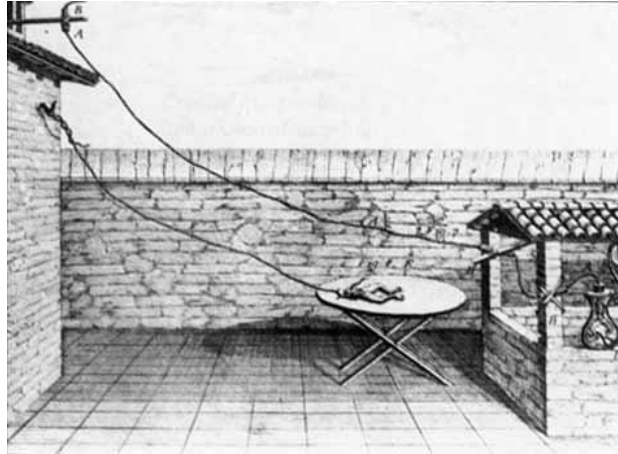
Explains Blood.....

TARİHTE İLK BİYOFİZİKÇİLER

Luigi Galvani (1737-1798)

İtalyan, fizikçi, Tıp doktoru, farklı iki metalla değmede bulunan kurbağa kasında kasılmalar gözlemiş

Biyoelektrik olayların varlığını ilk kez ortaya çıkarmış (1786)

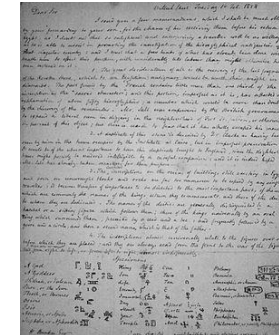
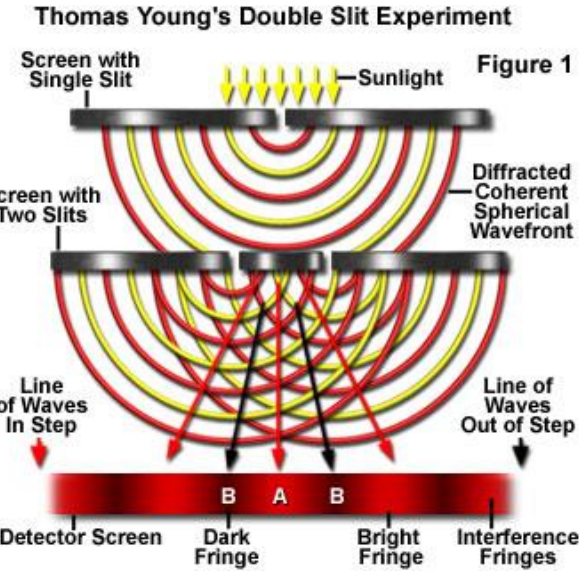
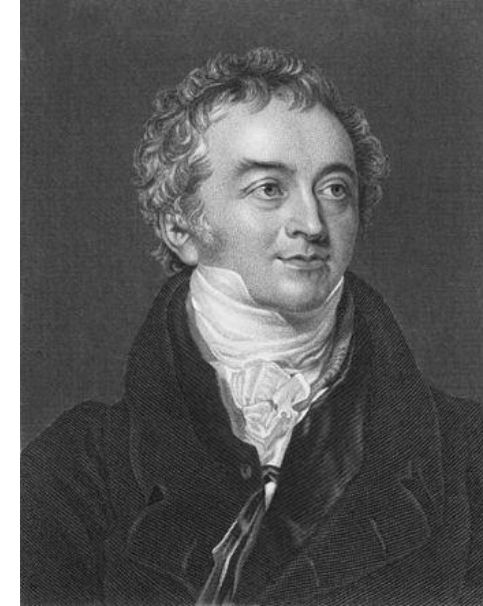
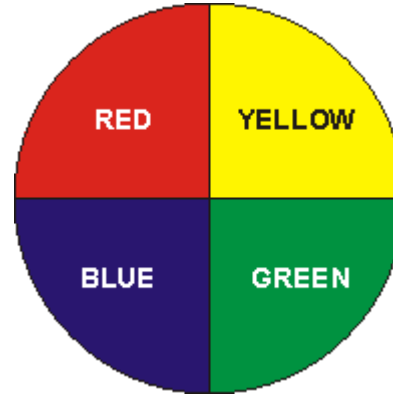


TARİHTE İLK BİYOFİZİKÇİLER

Thomas Young (1773-1829)

İngiliz bilgin, tıp eğitimi almış, Fizik profesörü. Geometrik optik kurallarını geliştirmiş. Kendi Geliştirdiği ışığın dalga teorisini kandaki Hücre çaplarını ölçmede kullanmış, esneklik ile ilgili bulguları var

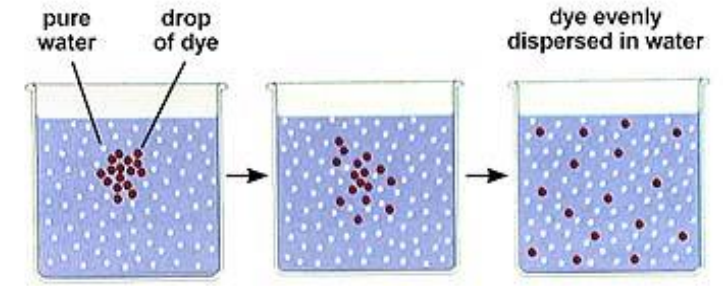
Renkli görme teorisini kurmuş. Görme algısının retinadaki üç çeşit sinir lifinin varlığına bağlı olduğu hipotezini sundu



TARİHTE İLK BİYOFİZİKÇİLER

Adolf Fick (1829-1901)

Alman Fizyolog, difüzyon yasalarını bulmuş, kan akışını ölçmek için seyreltme tekniğini geliştirmiş



$$M'_s = -D_s \frac{dc_s}{dx}$$

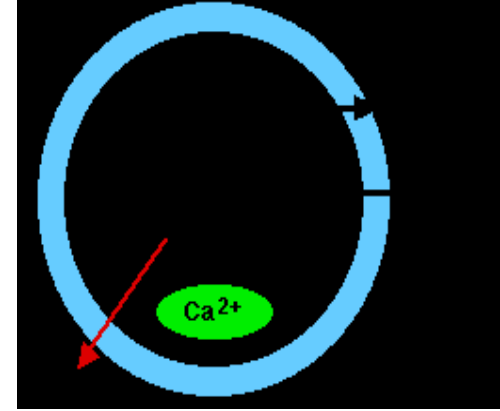
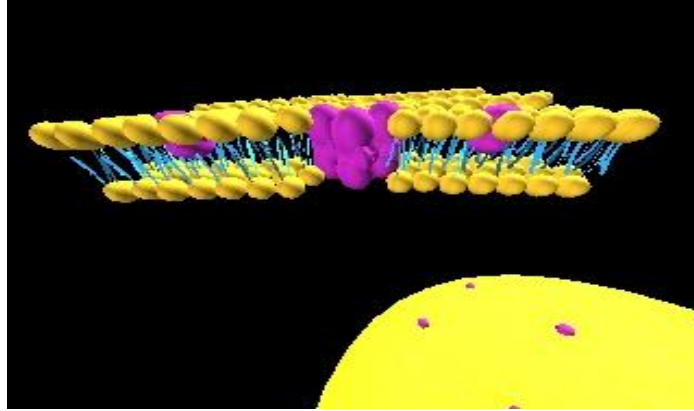
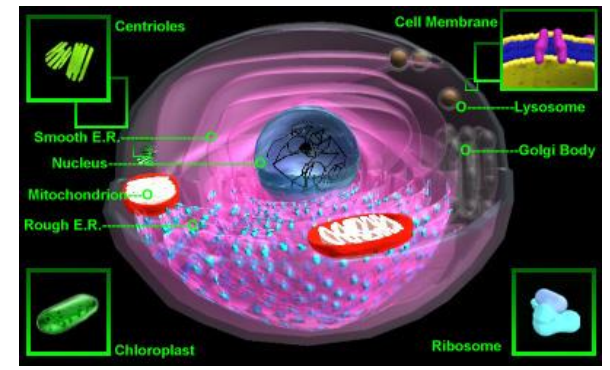
H. Ludwig F. Von Helmholtz (1821-1894)

Bilimin her dalında otorite, fiziğe, biyolojiye, kimyaya ve tıbbı çok katkıda bulunmuş; enerjinin korunumu ilkesini formülize etmiş, sinüzoidal dalga differansiyel denklemini oluşturmuş, kas kasılmasını ve sinir iletim hızını ilk olarak ölçmüş, vb

Bileşik ses algısı ve harmoni üzerine önemli çalışmalar yaptı
Enerjinin korunumu kanununu matematiksel olarak gösterdi



ÖNEMLİ BİR UYGULAMAYA ÖRNEKLEME



Nernst bağıntısı

$$E_m = \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{[C]^{dış}}{[C]^{iç}} \right)$$

$$[Na^+]^{dış} = 140 \text{ mM}$$

$$[Na^+]^{iç} = 10 \text{ mM}$$

$$T = 310 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$R = 8.3 \text{ J/}^\circ\text{K mol}$$

$$F = 96500 \text{ C} \quad z = 1$$

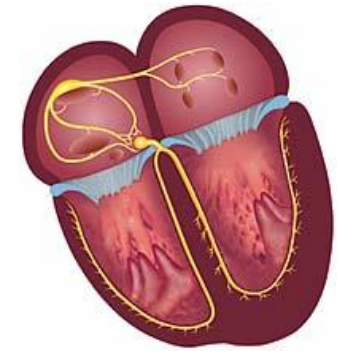
$$[K^+]^{dış} = 4 \text{ mM}$$

$$[K^+]^{iç} = 150 \text{ mM}$$

$$E_{Na} \cong + 60 \text{ mV}$$

$$E_K \cong - 90 \text{ mV}$$

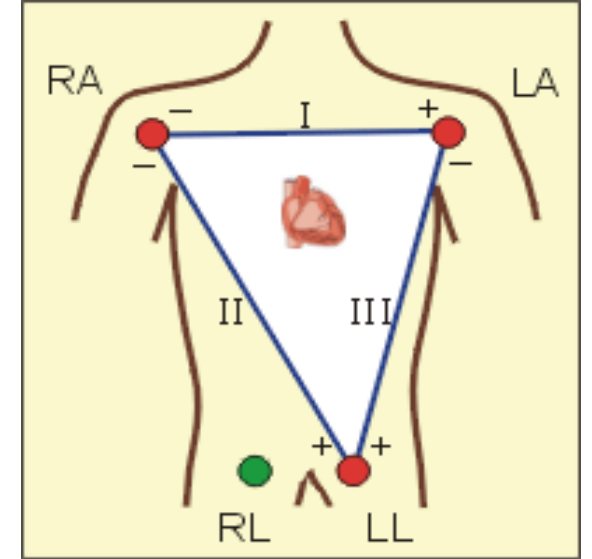
TARİHTE İLK BİYOFİZİKÇİLER



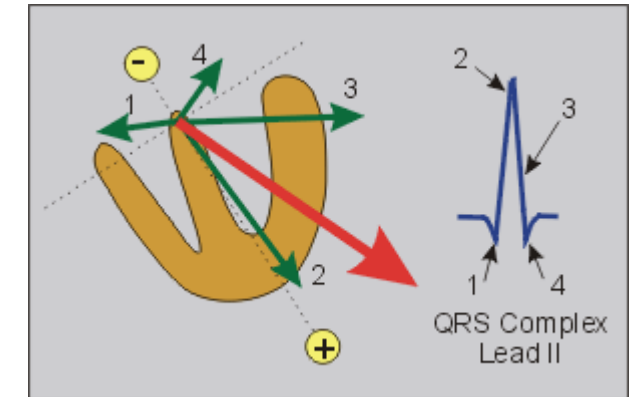
Einthoven Willem (1860-1927)

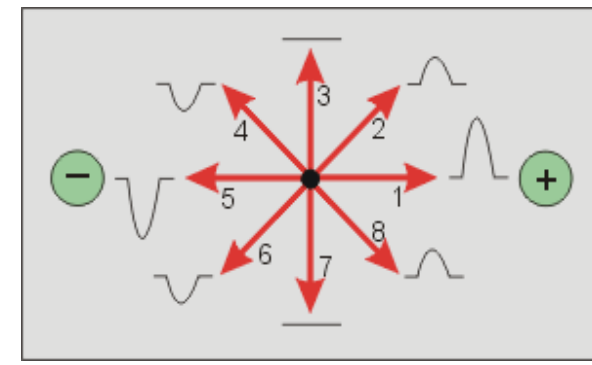
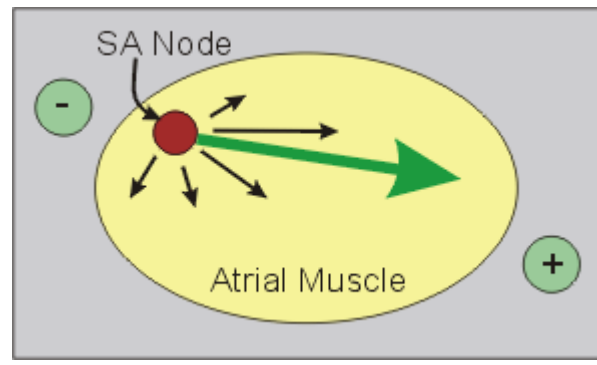
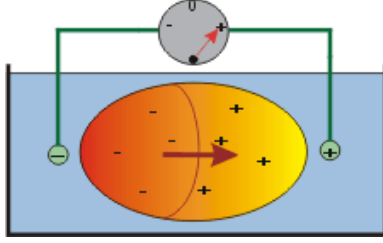
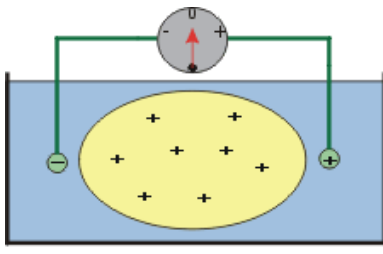
Hollandalı, Tıp doktoru, fizikle yakından ilgili ve 1906 EKG gösteriyor, 1942 Nobel Fizyoloji ve Tıp ödülü sahibi

Hacim iletkeni içindeki aktif bir hücrenin herhangi bir andaki elektriksel etkinliği bir elektriksel dipol ile temsil edilebilir



Kalpte yayılan depolarizasyon dalgalarının bileşkesi kalpte tek bir dipolle (kalp dipolü) ve doğrultusu ile kalbin elektriksel ekseni olarak tanımlanır





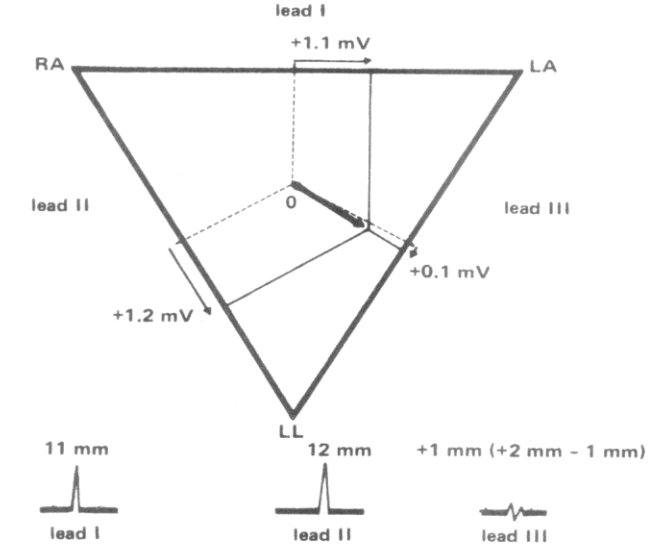
Kalp dipolü ve üçgenin köşelerinde oluşturacağı potansiyeller ve bunlar arasındaki potansiyel farkları gözönüne alındığında;

Köşeler arası potansiyel farkları:

$$V_{LA} - V_{RA} = K \mu_{LR}$$

$$V_{RA} - V_{LL} = -K \mu_{RL}$$

$$V_{LL} - V_{LA} = K \mu_{LL}$$

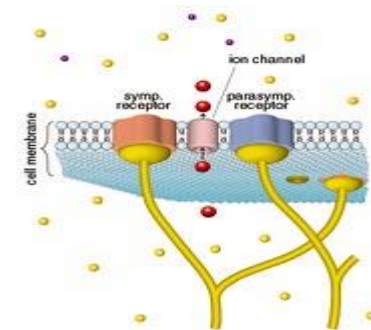
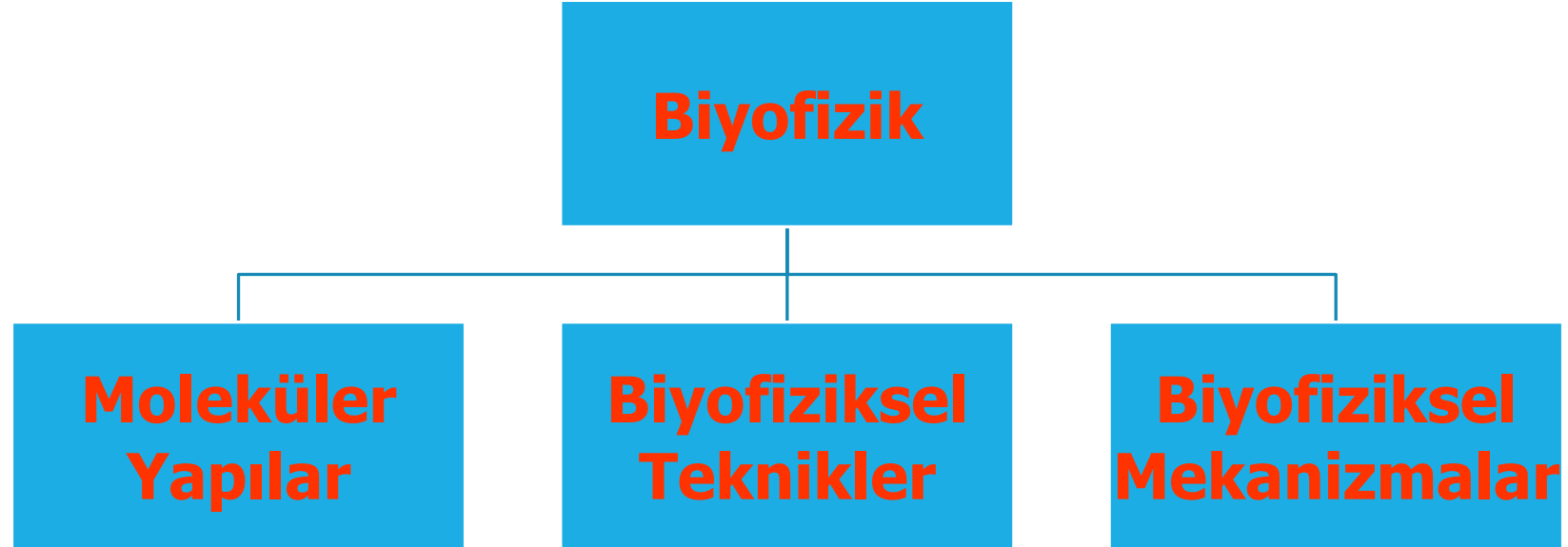


Einthoven Yasası: Her an için ,

$$V_{LA} - V_{RA} + V_{RA} - V_{LL} + V_{LL} - V_{LA} = 0$$

BİYO FİZİKTE SEÇİLMİŞ KONU BAŞLIKLARI

Biyofizik bir çeşitlilik ve seçilmişlik içeren bir alan olduğu için, katagorize etmek zordur. Biyofizikte eğitim ve araştırma ile ilgili kaynaklardan özet olarak 3 kısma veya 3 ana konu alanına bölünebilir

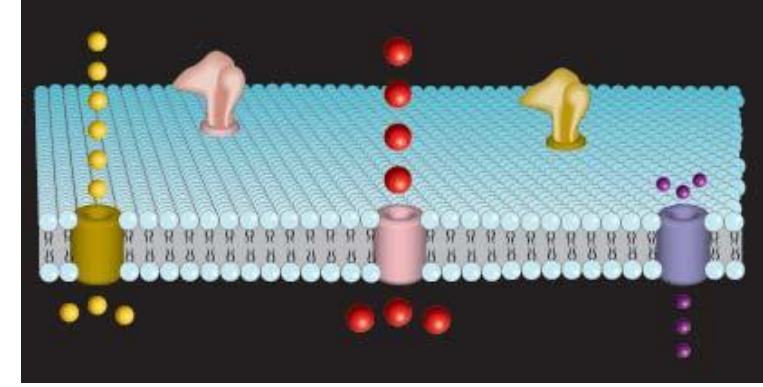


BİYO FİZİKTE SEÇİLMİŞ KONULARIN İÇERİKLERİ

Moleküler Yapılar

Biyofizik, biyolojik moleküllerin davranış ve yapılarını kullanarak organizmaların, dokuların ve hücrelerin biyolojik fonksiyonlarını açıklar

- Proteinler (yapısal ilkeler -protein data bank- , protein dizileri, protein yapıları, membran proteinlerinin yapıları)
- Nükleik asitler (yapısal ilkeler, nükleik asit dizileri, yapıları, nükleik asit davranışları)
- Karbonhidratlar (şeker ve polisakkaritler)
- Lipid ve Membranlar (lipid yapıları, data banklar, biyolojik membranların yapıları, membran proteinleri)
- Makromoleküler Kompleksler (filamentler, kromozomlar, ribozomlar)
- Metabolik Yolaklar
- Moleküler Davranışlar (behaviour; hareket halindeki moleküller)



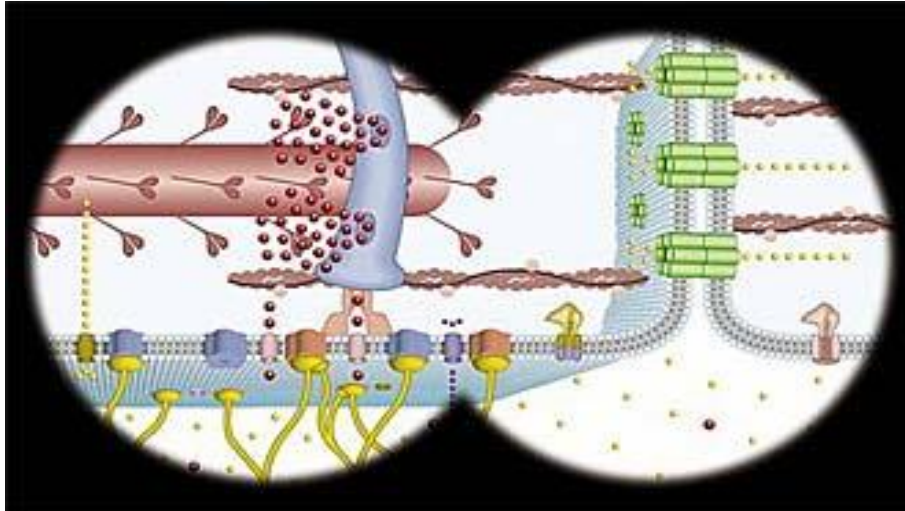
BİYO FİZİKTE SEÇİLMİŞ KONULARIN İÇERİKLERİ



Biyofiziksel Mekanizmalar

Biyofiziğin bilimsel başarısında rol oynayan en önemli yanı, özel biyolojik süreçleri açıklayabilen detaylı fiziksel mekanizmalar geliştirebilme yetisine dayanır.

Örnek: kas kasılması



Miyozin başlarının 3 olanaklı durumu:

-Herhangi bir anda n_0 tane miyozin başı var

- n tanesi çekici

- m tanesi engelleyici

-($n_0 - n - m$) tanesi serbest

$$dn/dt = k_1 (n_0 - n - m) - (v/d)$$

$$dm/dt = (v/d)n - k_2 m$$

d = iki aktif merkez arası uzaklık

v = filamentların bağıl kayma hızı

BİYO FİZİKTE SEÇİLMİŞ KONULARIN İÇERİKLERİ

- Biyotıp (kanser, nöro bilim, gen, vs.)
- Hücrelerin elektriksel davranışları (biyopotansiyeller, uyarılabilirliğin moleküler mekanizmaları, vs.)
- Membranda enerji dönüşümleri ve iletimi (termodinamik yasaları, reseptör hücreler, reseptör potansiyeli, vs.)
- Protein fonksiyonu (kapılı-kanal aktivasyonu-inaktivasyonu, allosterik mekanizmalar, vs.)
- Membran Davranışı (difüzyon, yüzey yükü, viskosite, akıcılık, vs.)
- Kas Kasılması ve Hücre hareketi (kasılma mekanizmaları, biyokimyası, kasılma proteinleri, vs.)
- Duyum (duyum ile ilgili reseptör hücreleri, reseptör potansiyeli oluşumu, duyumun boyutları, vs.)

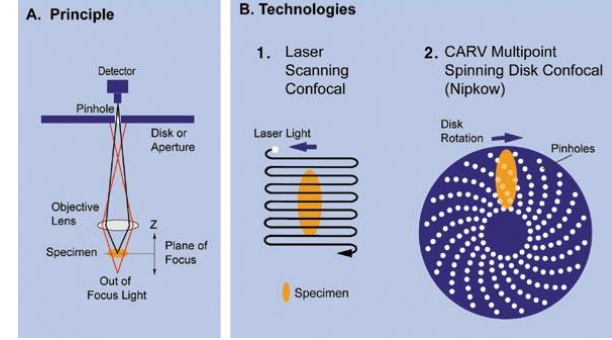
BİYOFİZİKTE SEÇİLMİŞ KONULARIN İÇERİKLERİ

Biyofiziksel Teknikler

Biyofizik araştırmaları ya biyomoleküllerin biyolojik fonksiyonlarını, özelliklerini, ve yapılarını incelemek için yeni tekniklerin geliştirilmesini, veya biyomoleküllerin yapı ve dinamiklerinin özel biyolojik fonksiyonları nasıl olanaklı kıldıklarını göstermek üzere bu tekniklerin kullanılmalarını kapsamaktadır

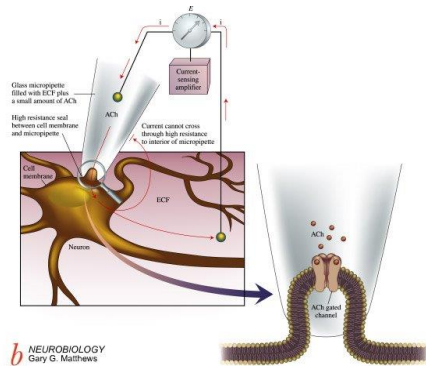
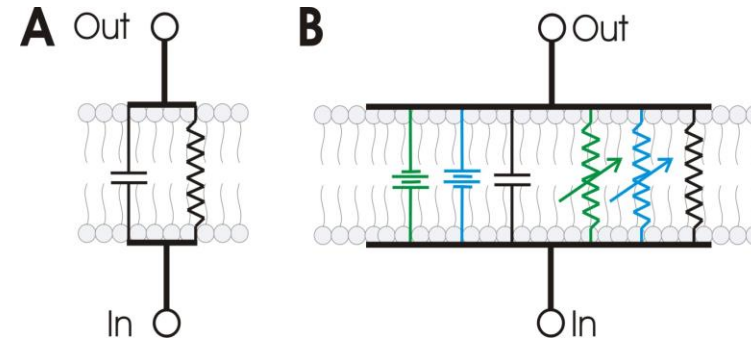
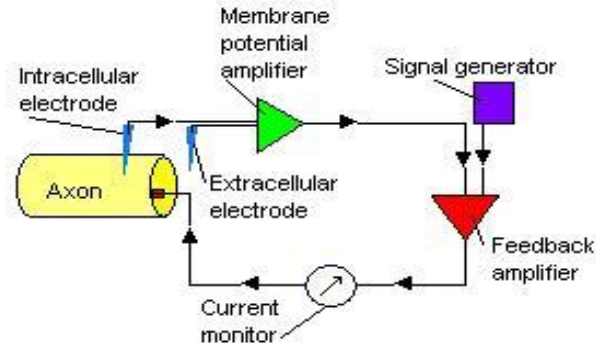
- **Hidrodinamik** (çözelti içindeki büyük biyomoleküllerin davranışları)
- **Mikroskopi ve Görüntüleme** (boyutları mikrometreden nanometreye değişen moleküler yapıların ve hücrelerin görüntülerini oluşturabilme; elektron mikroskobu, atomik güç mikroskobu, konfokal floresan mikroskobu, magnetik rezonans görüntüleme gibi)
- **Modelleme ve Simülasyon** (protein ve nükleik asit dizilerinin ve 3D yapıların yorumlanmasında ve analizlerinde nümerik modelleme ve simülasyonlar önemli rol oynar)
- **Tek Molekül Teknikleri** (yakın geçmişte biyofiziksel tekniklerdeki en önemli gelişme- tek molekül ile işlem yapma- sulu ortamda veya hücreiğinde)

Confocal Microscopy

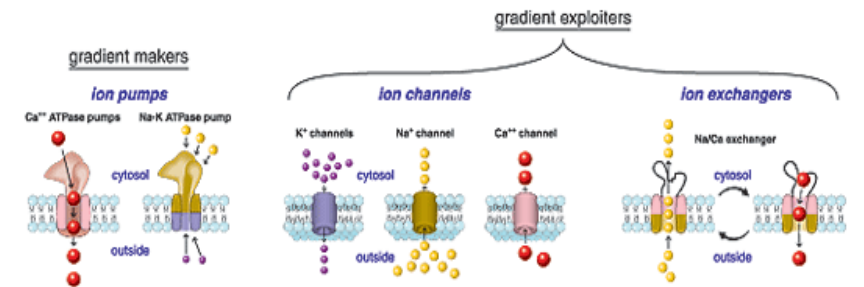


BİYOFİZİKTE SEÇİLMİŞ KONULARIN İÇERİKLERİ

-Elektrofizyoloji (hücre ve dokuların yapı ve işlevleri, biyopotansiyeller Membranın elektriksel özellikleri- iyon kanalları, uyarı iletimi- aksiyon potansiyeli, hücre içi iyon derişimleri- nitel ve nicel gözlemlenmesi vs.)



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1991 was awarded jointly to **Erwin Neher** and **Bert Sakmann** "for their discoveries concerning the function of single ion channels in cells."



BİYO FİZİĞE GİRİŞ

Canlı varlıkların yapı ve işlevleri, tek bir disiplin ile açıklanamayacağı aşikardır. Bu nedenle daha fazla disiplinlerin bir araya gelerek soruna çözüm aramaları gerekmektedir.

BİYOFİZİĞE GİRİŞ

- Fizyoloji

Canlılık işlevlerini açıklamada yalnız başına yetersiz kalınca biyokimya

- Biyokimyanın da yetersiz kaldığı bazı biyolojik olayları açıklamada bu kez fizik işin içine girerek biyofizik doğmuştur.

Moleküler Biyofizik:

Biyomoleküllerin fizikokimyasal özellikleri.

Hücre Biyofiziği:

Biyoenerjetik süreçler, sinirsel iletim, Hücre ve dokuların yapıları ve işlevleri ile ilgilenir..

Sistemler Biyofiziği:

Fizyolojik sistemlerin işleyişlerini fiziksel ve matematiksel yöntemlerle açıklar.

Fizik Bilimi fiziksel nicelikleri tanımlar, ölçer ve birtakım yasalar ile ifade etmeye çalışır

Fiziksel olaylar ve cisimlerin fiziksel özelliklerini belirtmek için bir takım kavramlara ihtiyaç vardır. Örneğin hız, ivme, enerji.

KAVRAMLAR

i) NİCELİK sayılabilir, toplanabilir.

Ağırlık, kütle, hız vb.

ii) NİTELİK sayılamaz, toplanamaz.

Yoğunluk, öz direnç.

Fiziksel büyüklükler ölçü sayısal ve birimi ile ifade edilir.

**Uluslar arası Birimler Sistemi (SI) :
Eski adı MKSA olarak bilinen birim sisteminin kapsamı genişletilerek SI oluşturulmuştur (1977).**

**Bazı birimler keyfî seçilir. Bunlara
TEMEL BİRİMLER denir.**

**Temel birimler yardımıyla
tanımlanabilen diğer birimlere
TÜRETİLMİŞ BİRİMLER denir.**

TEMEL SI BİRİMLERİ:

<u>Nicelik</u>	<u>Birim Adı</u>	<u>Simge</u>
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik Akımı	Amper	A
Sıcaklık	Kelvin	K
Madde Miktarı	mol	mol
Işık Kaynağı Şiddeti	Kandela	Cd

TÜRETİLMİŞ SI BİRİMLERİ:

<u>Nicelik</u>	<u>Birim Adı</u>	<u>Simge</u>
Frekans	Hertz	Hz
Kuvvet	Newton	N
İş, Enerji	Joule	J
Güç	Watt	W
Elektriksel Pot.	Volt	V
Elektriksel direnç	Ohm	Ω

SI BİRİMLERİ İLE KULLANILAN ÖNEKLER

<u>Çarpan</u>	<u>önek</u>	<u>simge</u>
10^{12}	tera-	T
10^9	giga-	G
10^6	mega-	M
10^3	kilo-	k
10^2	hekto-	h
10	deka-	da
10^{-1}	desi-	d
10^{-2}	santi-	c
10^{-3}	mili-	m
10^{-6}	mikro-	μ
10^{-9}	nano-	n
10^{-12}	piko-	p
10^{-15}	femto-	f
10^{-18}	atto-	a

ÖLÇME : Bir büyüklüğün ölçülmesi ve sayılarla ifade edilmesi o büyüklük ile ilgili bilgi sağlar.

Ölçülen büyüklüğün aynı birimdeki bir başka büyüklükle karşılaştırılmasını sağlar.

Ölçme Yöntemleri:

1.Direkt Ölçme : Ölçü aletleri kullanarak ölçme

2.İndirekt Ölçme : bir büyüklüğün ölçülmüş başka büyüklükler yardımıyla hesaplama yoluyla bulunması.

$$\text{Yoğunluk} = m/V$$

Ölçme Hataları

Bir büyüklüğün ölçülmesinde hatalar ortaya çıkabilir.

- 1. Değişik ölçü aletlerinin kullanılması**
- 2. Aynı ölçmeyi aynı ölçme aleti ile farklı kişilerin yapması.**
- 3. Kullanılan yöntemin yetersiz olması**
- 4. Çevre şartları ve başka etkenler.**

SKALER KAVRAMLAR

Ölçü sayısı ve birimi ile tam bir şekilde ifade edilebilen niceliklerdir.

Örnek 1 kg elma

VEKTÖREL KAVRAMLAR

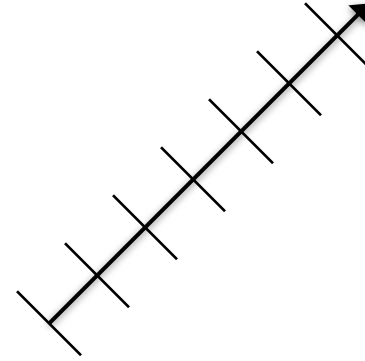
Belirlenmesinde ölçü sayısı ve birimi yeterli değildir. Örneğin araba 100 km/sa hızla hareket ediyor

- Doğrultusu**
- Yönü belirtilmelidir**

Ölçü sayısına ilaveten doğrultu ve yönünde belirtilmesini gerektiren büyüklüklere vektörel büyüklükler ve karşılık kavramlarına da vektörel kavramlar denir.

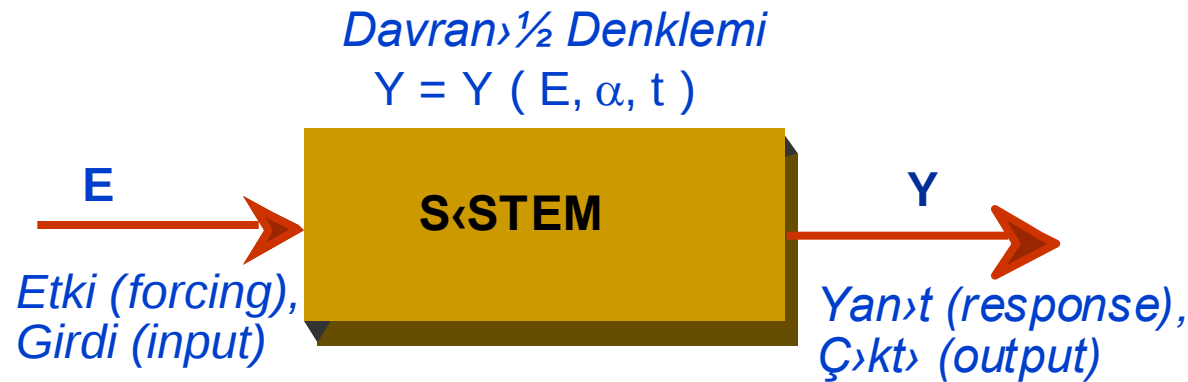
Bir vektör

- 1. Başlangıç noktası**
- 2. Yönü**
- 3. Doğrultusu**
- 4. Şiddeti**



SİSTEM KAVRAMI

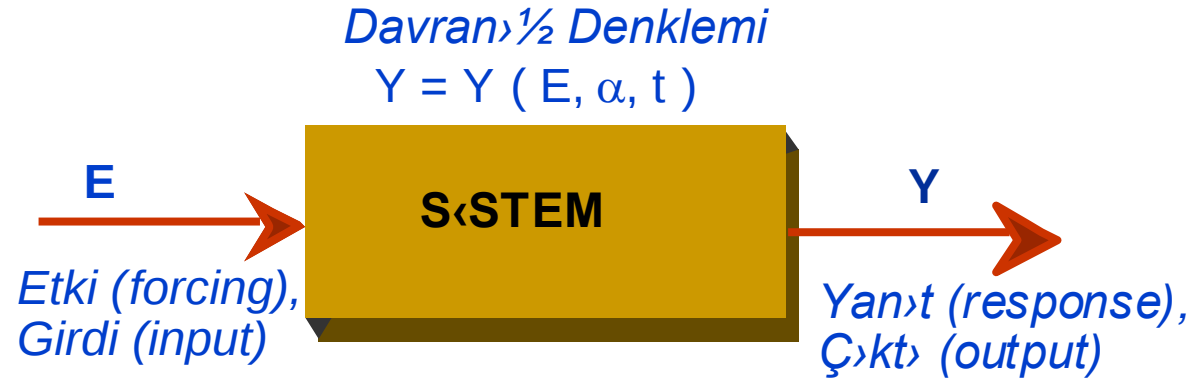
Karşılıklı etkileşim halindeki birtakım parçalardan oluşan fiziksel veya düşünsel herhangi bir varlığa sistem adı verilir.



Sistem özellikleri:

- Ögelerin cinsine
- Ögelerin sayısına
- Ögelerarası etkileşim biçimine bağlıdır

BİR SİSTEM SINIFLAMASI



Yalıtık sistemler Enerji ve madde giriş-çıkışı yok

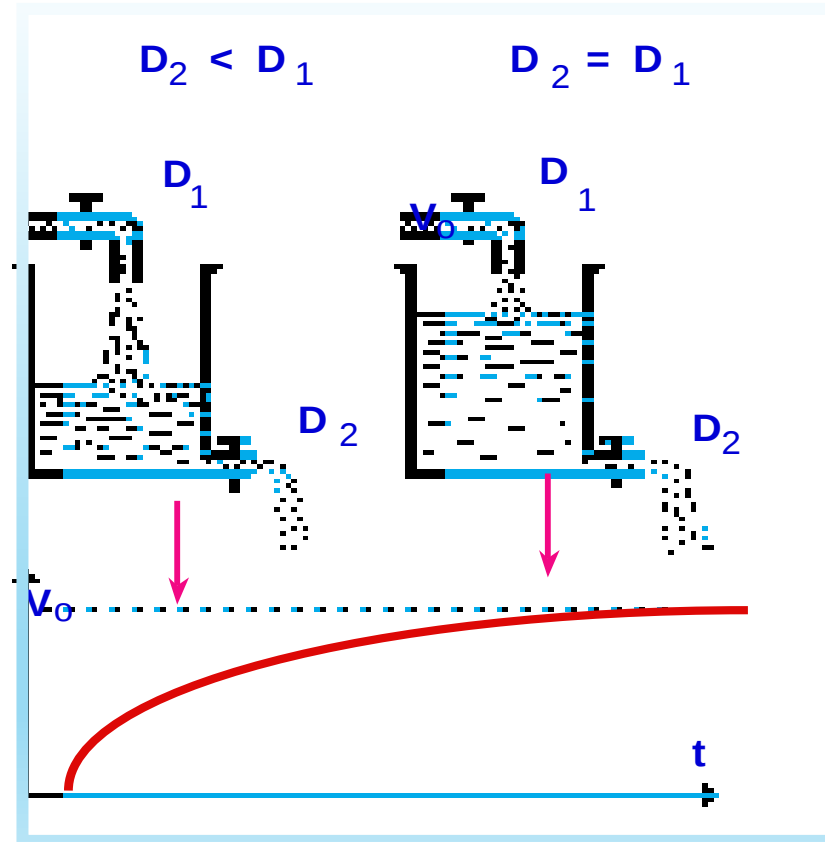
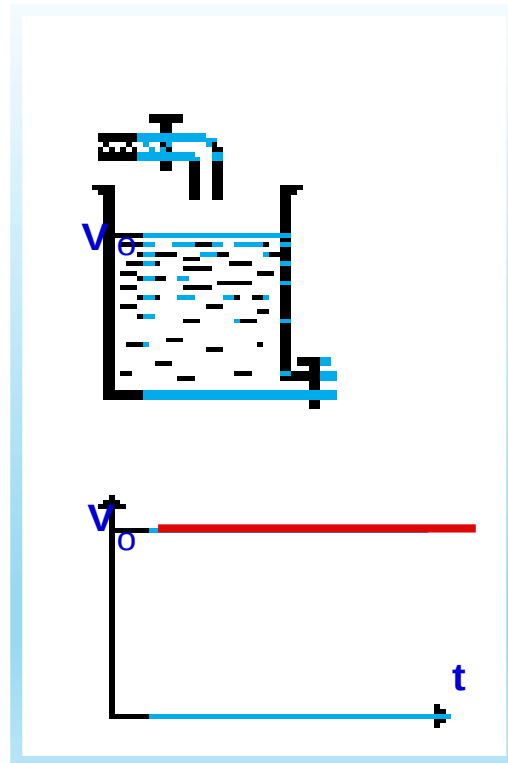
Kapalı sistemler Enerji giriş çıkışı var, madde giriş çıkışı yok

Açık sistemler Enerji ve madde giriş-çıkışı var

DENGE VE KARARLI DURUM

Açık sistem, büyüme süreci,
kararlı durum

Kapalı sistem
ve denge



AÇIK SİSTEMLER

Açık sistem karakteristikleri

1. Çevreden su, hava, besinler, dalgasal enerji vb. şekillerde madde ve enerji alırlar.
2. Aldıkları madde ve enerjiyi kendilerine uygun, kullanışlı hale getirirler.
3. Bazı ürünlerini çevreye ihraç ederler
4. Madde ve enerji etkinliğinin çevrimsel (*cyclic*) bir karakteri vardır.
5. Negatif entropi (*negentropi*) edinebilirler.
6. Açık sistemlerin girişleri *informatik* karakterdedir
7. Kararlı duruma (*steady state*) ulaşabilirler.
8. Açık sistemler farklılaşma (*differentiation*) ve özelleşme yönünde değişime uğrayabilirler.
9. Essonuçluluk (*equifinality*) ilkesi ile karakterize edilirler.

ÖRNEK: Bir organizmanın karakteristik bir büyüklüğü, örneğin boyu L ile gösterilirse *anabolizma* αL^2 şeklinde yazılabilir. *Katabolizma* βL^3 şeklinde yazılabilir. Kütle artışı cinsinden büyüme, Büyüme, $dm/dt = 0$ olduğunda son bulur.

$$L_{\text{son}} = \alpha / \beta$$

YÖRESEL KONSANTRASYON

$$c_i = c_i(x, y, z, t)$$

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = P_i + T_i$$

Üretim
(Biyokimya)

Taşınım
(Biyofizik)

AKI YOĞUNLUĞU

Uzayın belirli bir noktasında birim zamanda birim yüzeyden geçen belirli bir tür madde (veya enerji) miktarına **akı yoğunluğu** (*flux density*) denir.

Vektörel bir kavramdır.

$$\vec{M} = \frac{1}{A} \frac{\partial m}{\partial t}$$

GRADYENT

Skaler bir nicelik uzayın farklı noktalarında farklı değerler alıyorsa, bu niceliğin uzayda birim uzunluk başına değişim miktarına **gradyent** denir. Vektörel bir kavramdır.

Üç boyutlu uzayda gradyent:

$$\nabla \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}$$

TEMEL TAŞINIM YASALARI

	Kavram simgesi	Kavram tanımı	Yasa ifadesi	SI birimi
Poiseuille Yasası	M_{ak}	$= \frac{dm}{dt} \frac{1}{A}$	$= - \kappa \frac{dP}{dx}$	$\left[\frac{kg}{m^2 s} \right]$
Fourier Yasası	$h_{>S>}$	$= \frac{dQ}{dt} \frac{1}{A}$	$= - \lambda \frac{dT}{dx}$	$\left[\frac{J}{m^2 s} \right]$
Fick Yasası	M_{dif}	$= \frac{dn}{dt} \frac{1}{A}$	$= - D \frac{dc}{dx}$	$\left[\frac{mol}{m^2 s} \right]$
Ohm Yasası	J_{el}	$= \frac{dq}{dt} \frac{1}{A}$	$= - \sigma \frac{dV}{dx}$	$\left[\frac{C}{m^2 s} \right]$

PERİAPEKSTE SIZINTI

Kök kanalının ucundaki deliğe foramen apikale denir. Bu delikten sinir lifleri ve damarlar dişin içerisine girer.

Kanal tedavisi yapılarak yerinden çıkarılan bu liflerin bıraktığı boşluk elden geldiğince sıkı bir şekilde tıkanmalıdır.

Bu delikten hava ve sıvı geçişi **Poiseuille Yasasına** tabidir.

$$V = \frac{\pi \cdot dP \cdot r^4}{8 \cdot L \cdot n}$$

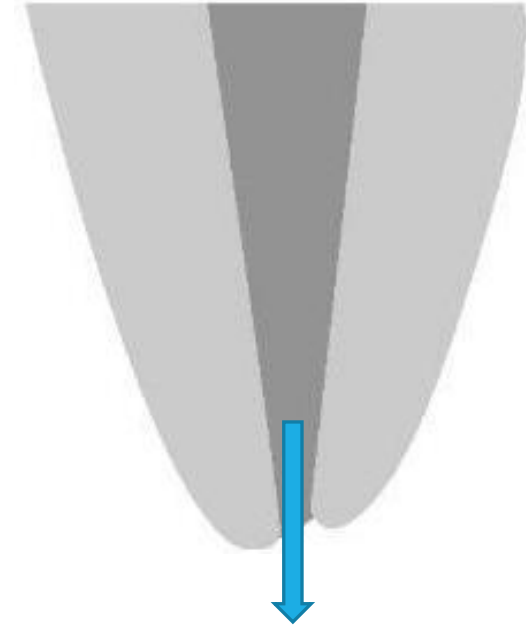
dP= basınç farkı, P1-P2 (Atm)

L= kök kanal uzunluğu (mm)

r=foramen apikalenin çapı (mm)

n= vizkozite (Pa.sn)

V=sızıntı hacmi (m3/s)



**Kanaldan periapekste ve
periapeksten kanala sıvı
akıntısı**

SORU:

Apikal deliğinin çapının iki katına çıkması durumunda sızıntı hacmi nasıl değişir? Klinikte nasıl bir etkiye neden olabilir? Bunu düzeltmek için ne yapılmalıdır?

ARAşTIRMA:

Kök kanalına lentülo ile yerleştirilen CaOH içeren ilaçlar su yerine gliserol ile verilirse nasıl bir durum açığa çıkar?

TÜM SORU VE ÖNERİLERİNİZ İÇİN

https://join.slack.com/t/dis220-biyofizik/shared_invite/zt-hzhpb7wy-C9cQ6i47Crgvv2tvReK4eA

Doç. Dr. Erkan Tuncay Biyofizik Ders notları

Dinlediđiniz için TEŞEKKÜRLER