

# RÖNTGEN FİZİĞİ 6

## X-Işınlarının madde ile etkileşimi



Doç. Dr. Zafer KOÇ  
Başkent Üniversitesi Tıp Fak

# X-IŞINI MADDE ETKİLEŞİMİ

- Elektromanyetik enerjiler kendi dalga boylarına yakın maddelerle etkileşime girerler
- Dalga boyları metrelerle ölçülen radyo dalgaları antenle etkileşime girer
- Santimetrelerle dalga boyuna sahip mikrodalgalar gıdaları pişirmede kullanılır
- Görünür ışık mikrometre d boyuyla görme hücreleri olan rod ve konları etkilerken,
- x-ışınları  $10^{-9}$ - $10^{-10}$  m d boyları ile atom ve subatomik parçacıklarla etkileşir

# X-IŞINI MADDE ETKİLEŞİMİ

- X-ışını enerjisi;
  - düşük  $\Rightarrow$  atomun tümüyle,
  - orta  $\Rightarrow$  yörünge e-ları ile,
  - yüksek  $\Rightarrow$  çekirdekle etkileşir
- Bu etkileşimler sonucu x-ışını fotonları
  - $\Rightarrow$  absorbe edilerek tamamen kaybolabilir
  - $\Rightarrow$  yönleri değişerek saçılmaya uğrarlar
- Saçılan radyasyon hastaya ait yararlı bilgi taşımayan ve filmde bulanıklığa yol açan istenmeyen radyasyondur

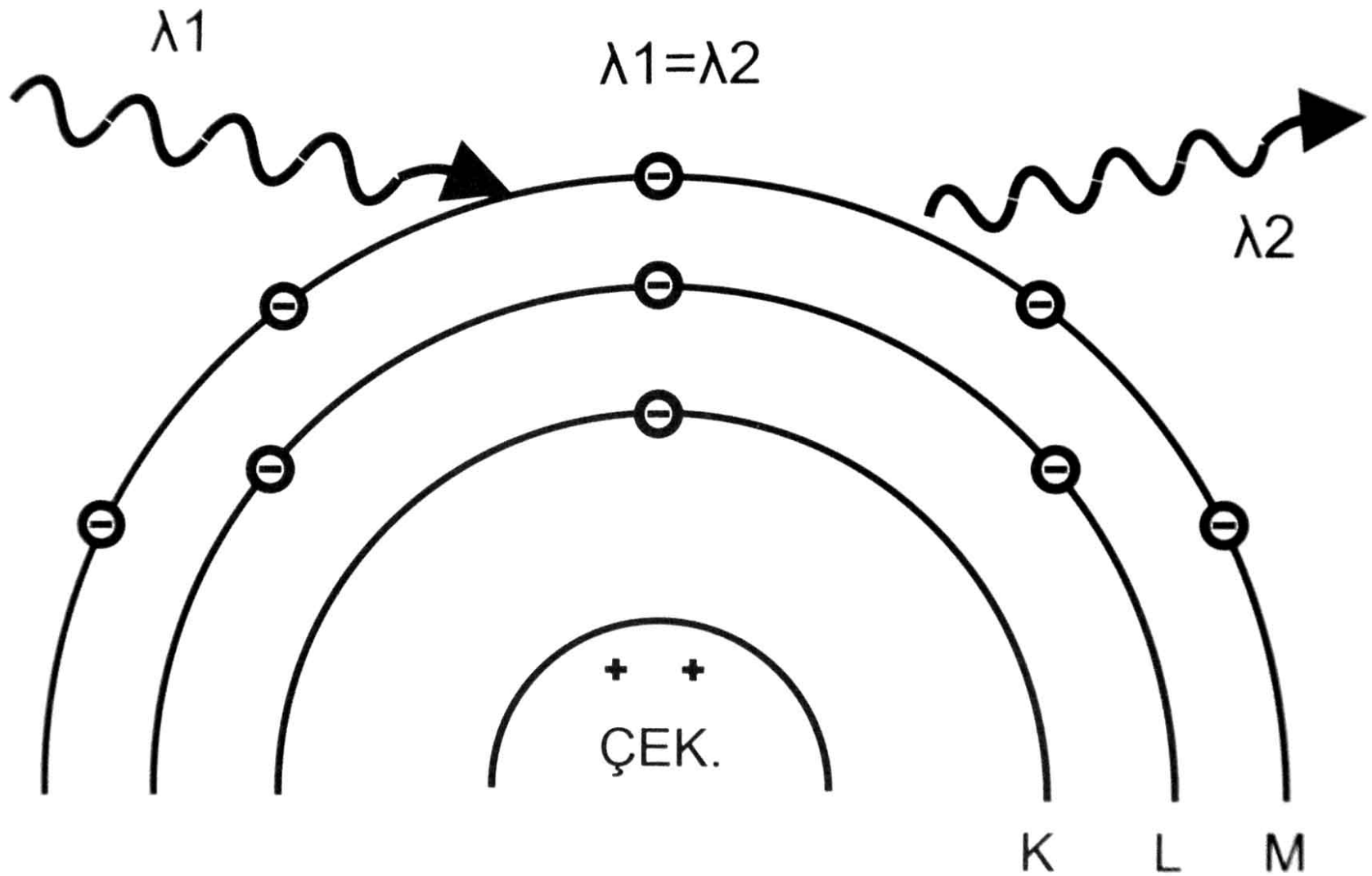
# X-ışını ile madde arasında 5 temel etkileşim şekli vardır

1. Klasik saçılma
2. Compton saçılma
3. Fotoelektrik etki
4. Çift oluşumu
5. Fotodisintegrasyon (fotoayırışma, fotobozunma)

Bunlardan **Compton** saçılma ve **fotoelektrik** etki tanısal radyolojide önem taşır

# KLASİK SAÇILMA (Koheran, Rayleigh, Thomson saçılma)

- 10 keV altında düşük enerjili fotonlar madde ile klasik saçılma şekilde etkileşir
- Gelen foton atomu uyarır ve elektromanyetik rezonans olayı nedeniyle yönü değişir, ancak atoma net bir enerji aktarımı gerçekleşmez
- Fotonun yönü değişir ancak dalga boyu ve enerjisi değişmeden saçılır
- Bu etkileşimde enerji transferi ve iyonlaşma yoktur
- Tanısal radyolojide bu etkileşim % 5 den az olduğu için önemi yoktur. Sadece filmde sislenmeye neden olur



**Klasik saçılma**

# COMPTON SAÇILMASI, OLAYI (İnelastik, nonklasik saçılma)

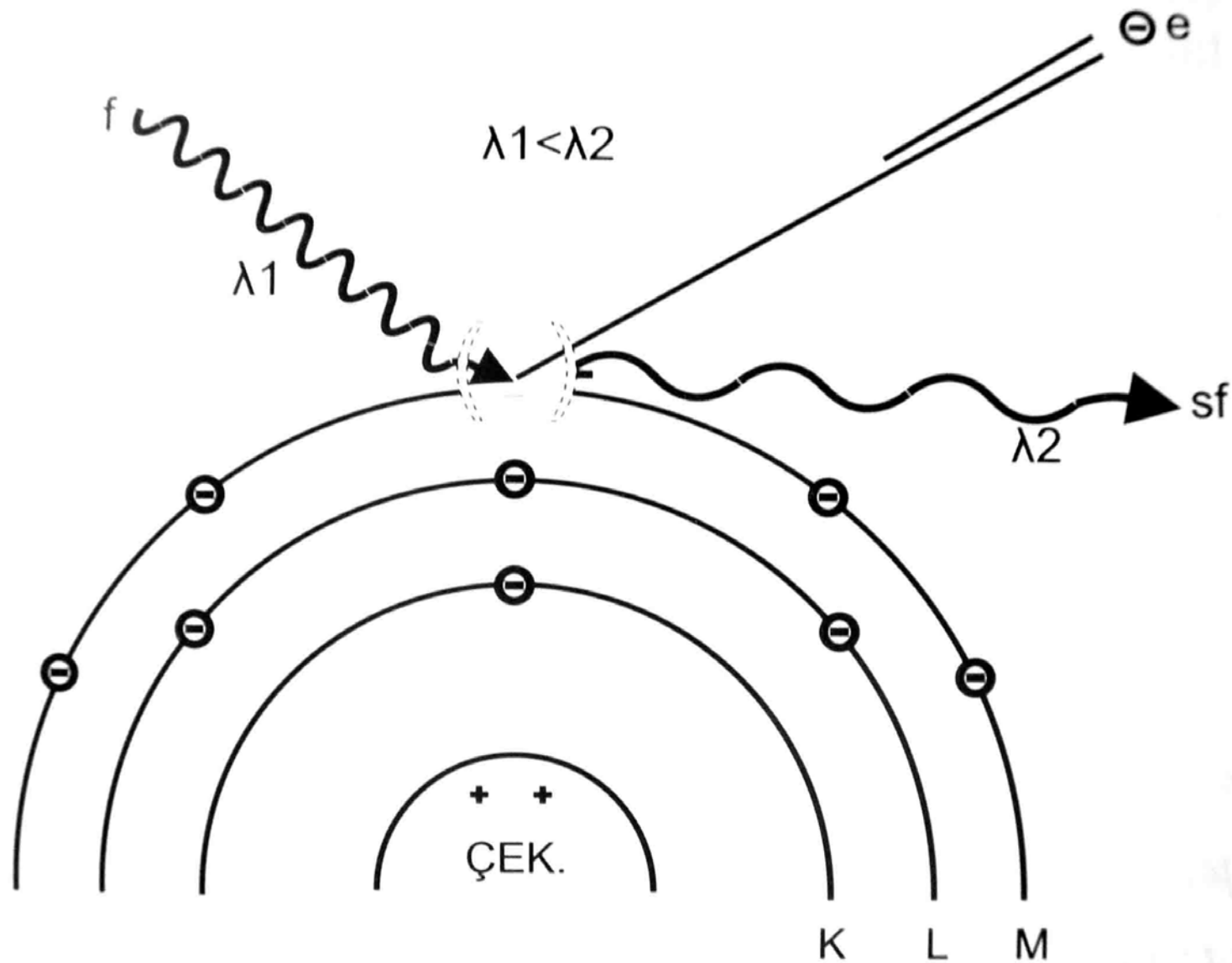
- Tanısal radyolojide saçılan radyasyonun hemen tamamı Compton saçılma şeklinde oluşur
- Tanısal sınırlardaki (orta düzeyde enerjili) foton dış yörünge e<sup>-</sup>ları ile etkileşir. Dış yörünge e<sup>-</sup> unu yörüngesinden söker
- Atomdan sökülen e<sup>-</sup>a Compton e<sup>-</sup>u denir
- e<sup>-</sup>un boşalan yeri dış yörüngedeki başka bir e<sup>-</sup> tarafından doldurulurken karakteristik radyasyon ortaya çıkar



# COMPTON ETKİSİ, SAÇILMASI (İnelastik, nonklasik saçılma)

- Gelen fotonun enerjisi azalır ve dalga boyu artar, yönü değişerek saçılır
- Atom iyonize olur (iyon çifti oluşur)
- Compton etkileşimi fotoelektrik olayın tersine, bağlanma enerjisi düşük olan dış yörünge  $e^-$  ları ile olur
- Sökülen  $e^-$  un bağlanma enerjisi, bu  $e^-$  a aktarılan kinetik enerji ve saçılan fotonun enerjisinin toplamı, gelen x-ışınının enerjisine eşittir





## Compton saçılma

# Compton Saçılma Olasılığı

- Compton saçılmanın maddenin atom numarası ile ilişkisi yoktur
- Compton saçılma olasılığı maddenin yoğunluğu ve x-ışını enerjisi ile ilgilidir
  - ◆ Dansite artınca Compton saçılma artar
  - ◆ X-ışını enerjisi ile ters orantılıdır
- Foton herhangi bir açıda saçılabilir  
Bu açı  $0^\circ$  olduğunda enerji transferi 0,  $180^\circ$  olduğunda ise en yüksektir
- Compton etkisi tanısal radyolojide önemlidir  
Saçılan x-ışını **filmde sislenmeye** neden olur

# FOTOELEKTRİK ETKİ

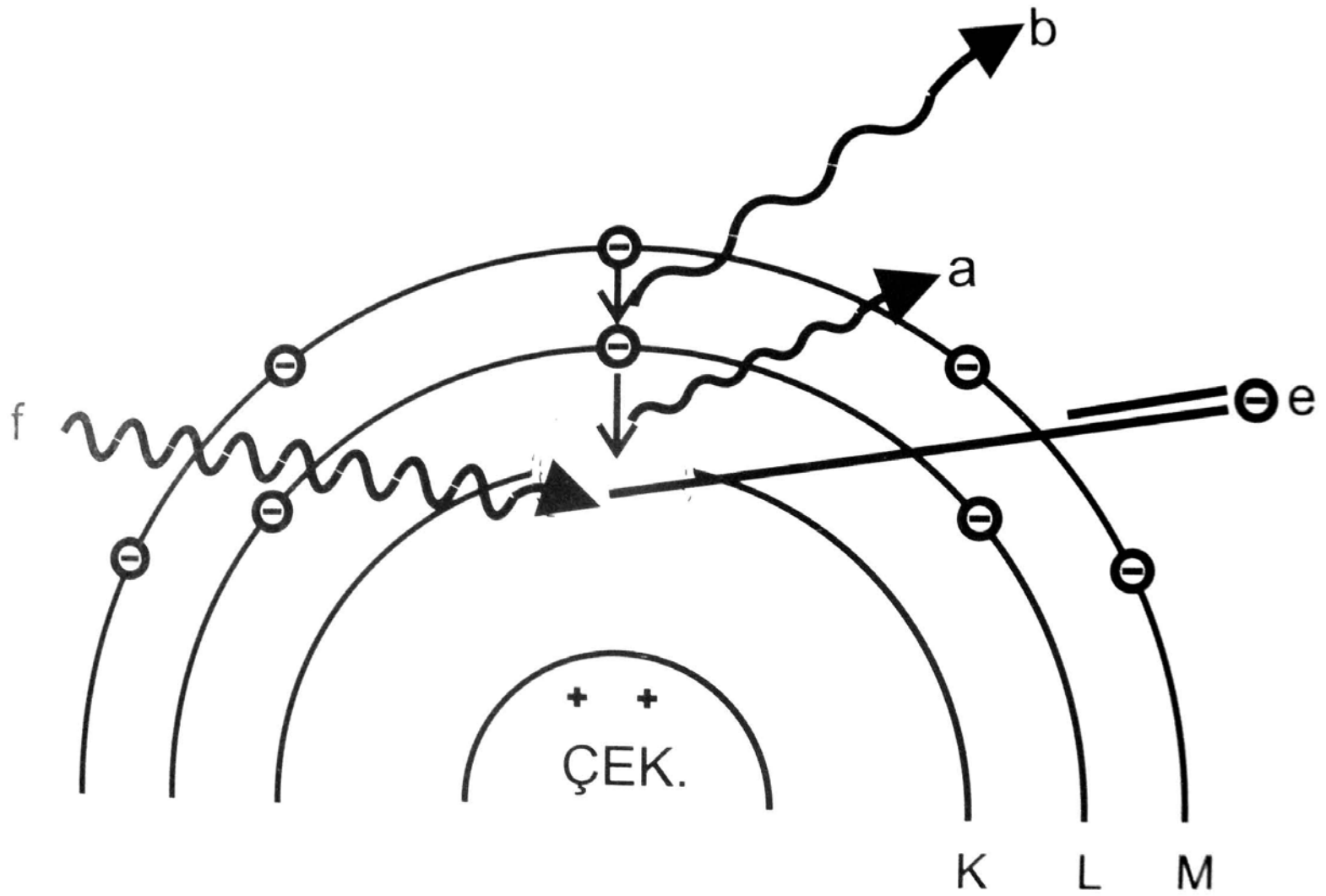
- X-ışını fotonları atomun iç yörünge e-ları ile etkileşerek e- söker ve tüm enerjisini harcayarak tamamen kaybolur. Yani fotoelektrik etki tam bir soğurulmadır (absorbsiyon)
- İç yörüngeden ayrılan e- a fotoelektron denir. Bu e-un kinetik enerjisi kendini yörüngeden söken fotonun sökmek için harcadığı enerjiden arta kalan enerji kadardır

Enerji dönüşümü denklemi:  $E_i = E_b + E_{KE}$

( $E_i$ : başlangıç foton enerjisi,  $E_b$ : bağlama enerjisi,  $E_{KE}$ : fotoelektronun kinetik enerjisi) şeklindedir

# FOTOELEKTRİK ETKİ

- Yörüngeden ayrılan  $e^-$  (fotoelektron) yüklü olduğu için kısa bir mesafe içinde absorbe edilir (diğer atomları iyonize ederek hastanın aldığı doza katkıda bulunur)
- K yörüngesindeki boşluk dış yörüngelerden doldurulur
- Bu arada yörüngelerin bağlama enerji farkı karakteristik radyasyon şeklinde (foton) salınır veya atomdan bir  $e^-$  atılmasına (Auger elektronu) neden olur



# FOTOELEKTRİK ETKİ

# FOTOELEKTRİK ETKİ OLASILIĞI

Fotoelektrik etki oluşması için:

- X-ışını foton enerjisi e- bağlanma enerjisinden yüksek olmalı

- Fotoelektrik etki olasılığı

x-ışını enerjisinin üçüncü kuvveti ile ters orantılı,

$$\text{Fotoelektrik etki} \approx 1/(\text{Enerji})^3$$

madde atom numarası üçüncü kuvveti ile doğru orantılı

$$\text{Fotoelektrik etki} \approx (\text{Atom no})^3$$

- e- bağlama enerjisi ne kadar yüksekse fotoelektrik etki olasılığı o kadar fazladır

# FOTOELEKTRİK ETKİ OLASILIĞI

- Fotoelektrik etki en çok  $\Rightarrow$   $e^-$  bağlanma ve foton enerjisi birbirine yakın ve 2. si fazla olduğu durumda gözlenir
- Fotoelektrik etkinin klinik uygulamada iyi ve kötü özellikleri vardır
- İyi yönü; fotoelektrik etkide saçılan radyasyon oluşmaması ve doğal doku kontrastının artmasıdır
- X-ışını görüntüsünün kontrastı bazı dokuların diğerlerine göre daha fazla x-ışını absorbe etmesi esasına dayanır



# FOTOELEKTRİK ETKİ

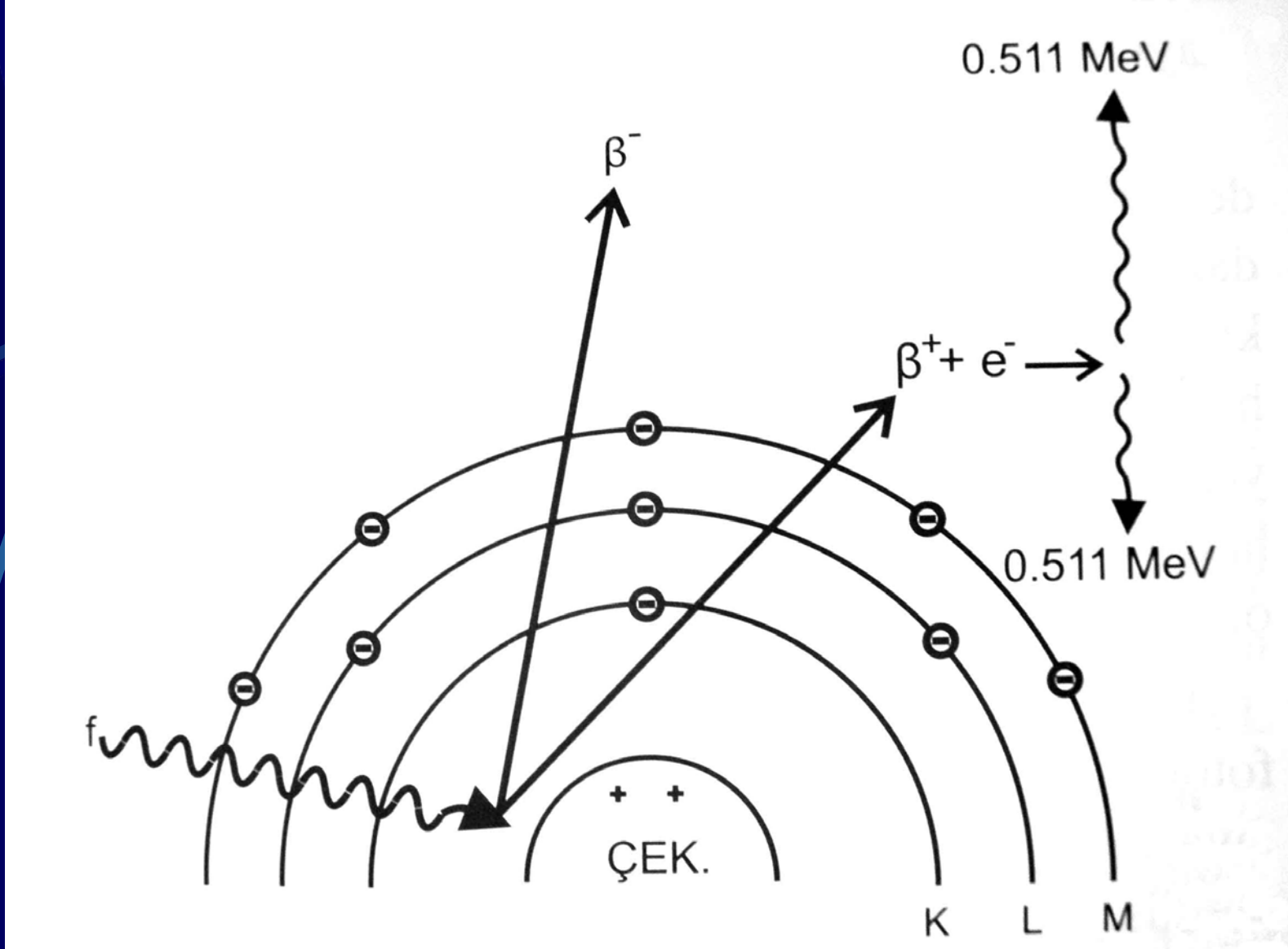
- Absorpsiyon farkı ne kadar fazla ise kontrast o kadar yükselir
- Fotoelektrik etki **atom no küpü ile orantılı** olduğu için dokular arası yapı farklarını belirginleştirir
- Fotoelektirik etkinin kötü özelliği ise **hastanın aldığı ışın nedeniyledir**
- Fotoelektrik etkide x-ışın fotonu bütün enerjisi hasta tarafından soğurulur

# FOTOELEKTRİK ETKİ

- Fotoelektrik etkiyi azaltmak için yüksek enerjili x-ışını kullanmak gerekir
- Fotoelektrik etki fosfor ekranlarında (sintilatörlerde), radyografik kontrast maddelerde ve kemikte en fazla görülen etkileşim şeklidir
- Fotoelektrik olayda saçılan radyasyon olmadığı için görüntü kalitesi bozulmaz
- 50 keV altındaki enerji seviyelerinde yumuşak dokuların görüntülenmesinde fotoelektrik etki önemli rol oynar

# ÇİFT OLUŞUMU

- Bu etkileşimin oluşması için foton enerjisinin  $1.02 \text{ MeV}$  tan fazla olması gerekir
- Yüksek enerjili foton madde atom çekirdeği ile etkileşime girerek çekirdek yakınında foton kaybolur, her birinin enerjisi  $511 \text{ keV}$  olan  $e^-$  ve pozitron çiftine dönüşür
- Pozitron serbest kalamaz, bir  $e^-$  la birleşerek birbirine zıt yönde ( $180^\circ$  açılı)  $511 \text{ keV}$  luk iki fotona dönüşür. Buna yok olma (annihilasyon) radyasyonu denir
- Tanısal radyolojide bu yükseklikte enerji kullanılmadığı için bu etkileşim önemsizdir
- PET yönteminde kullanılan radyonüklidlerin saldıkları pozitronun dokuda  $e^-$  la birleşmesi sonucu annihilasyon radyasyonu oluşur



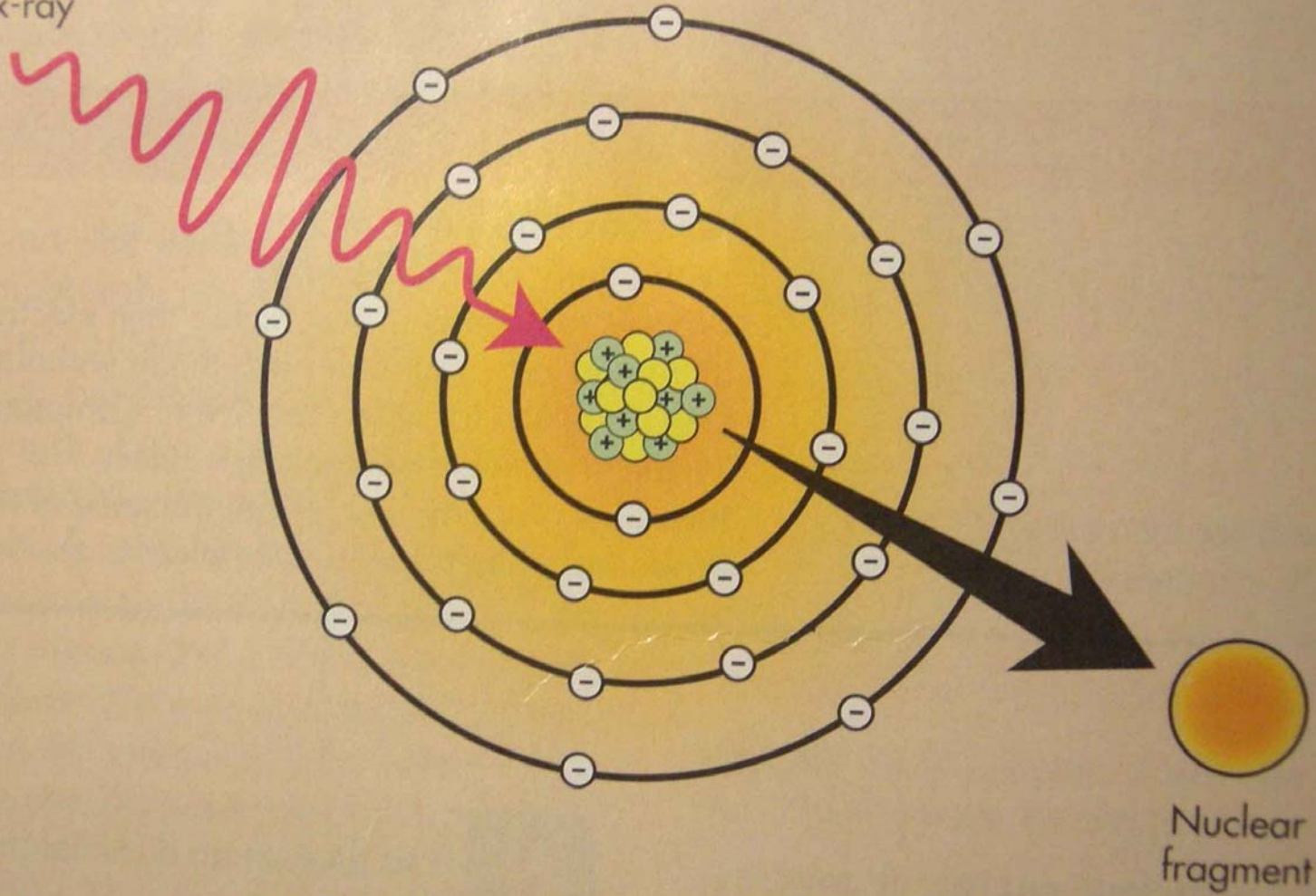
# ÇİFT OLUŞUMU

# FOTODİSİNTEGRASYON (FOTOAYRIŞMA, FOTOBOZUNMA)

- Enerji düzeyleri 10 MeV üzerinde olan x-ışınları madde atom çekirdeği ile etkileşime girer
- Foton çekirdek tarafından absorbe edilir
- Uyarılan çekirdekten subatomik bir partikül salınır
- Radyoloji için önemsizdir



Incident  
x-ray



**FOTOBOZUNMA**

# TEMEL ETKİLEŞİMLERİN DOKULARDA OLUŞMA YÜZDELERİ

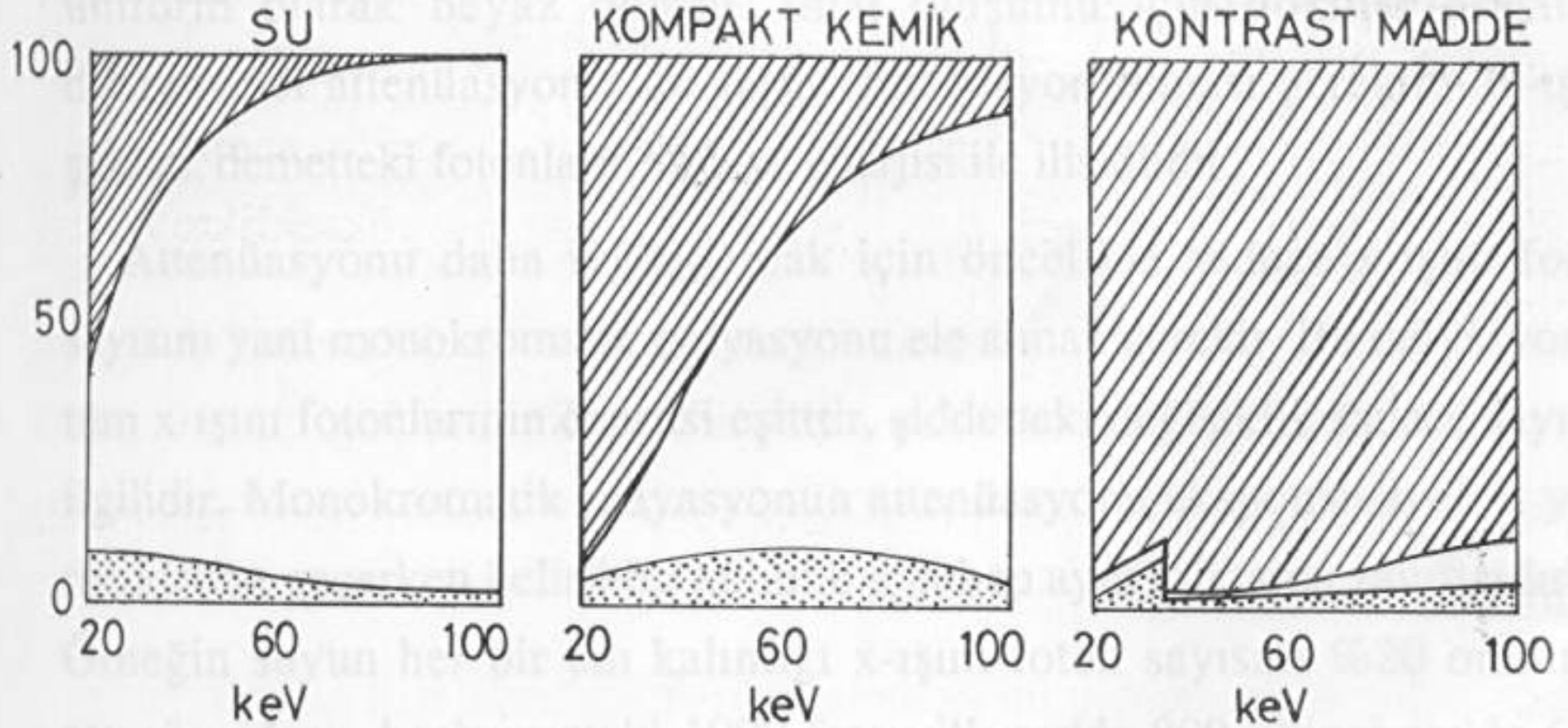
- Vücutta hava, yağ, kas gibi düşük atom numaralı dokuların etkileşme yüzdeleri suya yakındır
- Kemikte fazla miktarda kalsiyum bulunur
- İyot ve baryum ise incelemelerde kullanılan kontrast maddelerdir
- Bu üç maddenin farklı enerjilerde etkileşme yüzdeleri farklıdır



□ Kompton

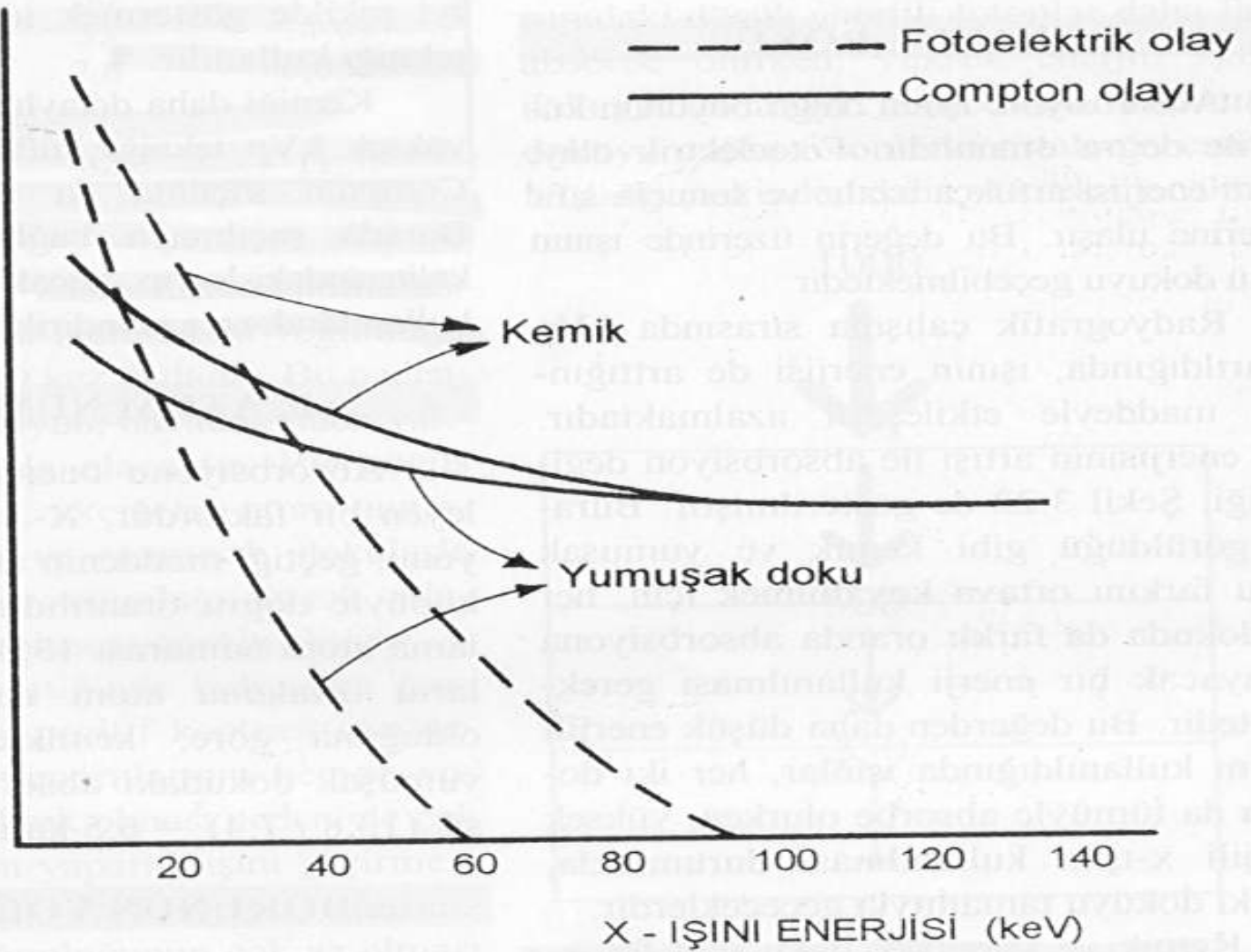
▨ Koheran

▩ Fotoelektrik



Su, kompakt kemik ve kontrast maddede Koheran, Kompton ve Fotoelektrik yüzdeleri.

ETKİLEŞİM



Kemik ve yumuşak doku için ışının enerjisine göre değişen Compton ve fotoelektrik etkileşim.

# TEMEL ETKİLEŞİMLERİN DOKULARDA OLUŞMA YÜZDELERİ

- Koheran saçılma total etkileşimin %5'i ile önemsiz bir kısmını oluşturur
- Suda 20-30 keV gibi düşük enerji haricinde Compton saçılma dominant etkileşimdir
- Kontrast maddelerde yüksek atom no nedeniyle esas olarak fotoelektrik etki gözlenir
- Kemik bu ikisi arasında yer alır
- Düşük enerjide fotoelektrik etki fazla, yüksek enerjide ise Compton etki belirgindir





# Kaynaklar

1. Bushong SC. Radiologic Science for Technologist: Physics, Biology and Protection. 9<sup>th</sup> ed. St. Louis, Mosby Elsevier, 2008.
2. Tuncel E. Klinik Radyoloji. Bursa, Nobel & Güneş, 2008.
3. Kaya T. Temel Radyoloji Tekniđi. Bursa, Güneş & Nobel, 1997.