

## Öğretim Elemanı

- Vladan Vuletic

## Mevcut Bilgi

- dersin hedefleri
- duyurular ve önerilen okumalar
- problem setleri / çözümleri, pratik sınavlar
- öğrenci notları

## Problem Setleri

- Perşembe günü ilan edildi.
- Ertesi Perşembeye kadar hazırlanacak
- Geç getirilen ev ödevi Kabul edilmez (çözümler internette yayınlandı)
- Notları hesaplarken en düşük ev ödevi notu nesaba katılmaz

## Not değerlendirilmesi

- 1. Sınav %20
- 2. Sınav %20
- Final %40
- Problem Setleri %20

Problem setleri çözümlerinde işbirliği yapılabilir, ancak herkes kendi çözümünü teslim etmek zorundadır.

## Ders Kitapları

- Gasirowicz : **gereklidir.**
- French & Taylor : **çok tavsiye edilir.**
- Feynman, Lectures on Physics : **seçilmiş bölümler**

Ders kitapları ve okumalar hazırlık içindir. Ders notları temel teşkil eder; notlar ilan edilecektir.

## 8.04 Öğrenme Amaçları

- Klasik ve Kuantum fiziği arasındaki sınır
- Kuantum mekaniğinin (KM) gelişmesine yol açan önemli deneylerin anlaşılması
- **KM** özünde yatan girişim kavramları ve olasılık genliğini anlamak
- Dış serbestlik dereceli tek parçacık kuantum mekaniği; Schrödinger denklemi
- İç serbestlik derecesi; yani spin: 8.05; çok cisimli kuantum fiziği: 8.06 ve ötesi
- **KM**'nin bazı formel yapısı (işlemciler, beklenti değerleri, değiş-tokuşcular, Dirac yazılımı) ve daha fazla gelişmeler: 8.05
- Matematiksel yapı (kısmi dif. Denklem olarak Schrödinger denk.) ve fiziksel yorum, ölçüm, belirsizlik, eşilişkiler ve dolaşıklık arasındaki arakesiti anlamak
- Önemli **KM** sistemlerini incelemek: harmonik salıncı, hidrojen atomu
- Bu dersin sonunda şunları yapabilmelisiniz:
  - Basit **KM** tek-parçacık problemlerini bir ve üç boyutta çözebilmelisiniz (saçınma, tünelleme, bağlı durumlar)
  - Matematiksel olguların fiziksel bir yorumunu verebilmelisiniz (işlemciler, dalga fonksiyonu, farklı bazlarda durum temsilleri, Fourier dönüşümü, Heisenberg belirsizlik bağıntısı)
  - **KM**'de girişim etkisinin tümüyle önemini kavramak ve anlamak (olasılık genliklerinin toplanması)
- 8.04: sadece göreceli olmayan **KM**

## Klasik mekaniğin (CM) başarısızlıkları ve sorunları

- **CM** mikroskopik düzeyde başarısızlığa uğrar
- **CM** şunları açıklayamaz:
  - bireysel atomların kararlılığı
  - atomların yayınım spektrumu
  - molekül sel bağlar
  - kimyasal özellikler, kimyasal tepkimeler
  - katıların özellikleri

- CM'nin öngörürleri termodinamikteki bazı deneysel gerçeklerle uyuşmaz:
  - siyah cisim ışıması (ısısal elektromanyetik ışımının spektral yoğunluğu)
  - İki atomlu moleküle sahip bir gazın ısı sığası

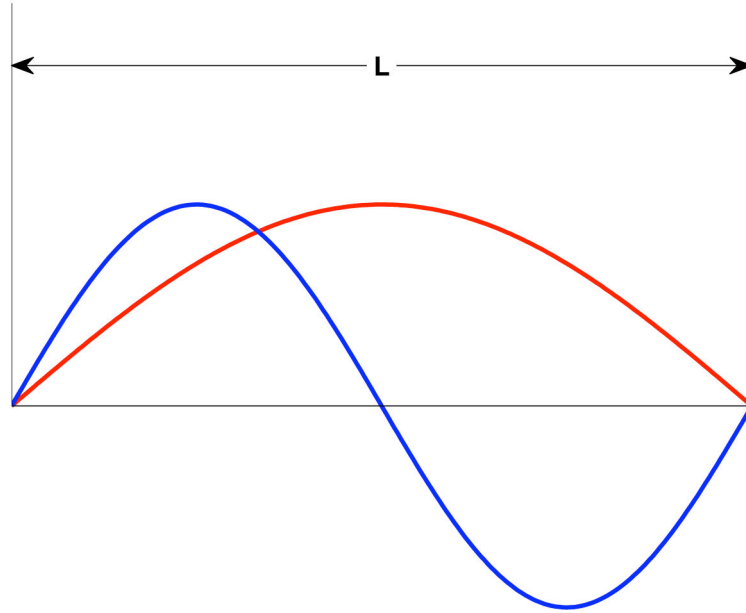
## Siyah cisim spektrumu

Klasik termodinamik mutlak sıcaklık  $T$ 'de ortalama olarak her "serbestlik derecesi"ne

$\frac{1}{2}k_B T$  lik bir enerjiyi öngörür.

$$\boxed{k_B = 1,38 \times 10^{-23} J/K} \rightarrow \text{(Boltzman sbt)} \quad (1-1)$$

Herbir elektromanyetik "kip" bir serbestlik derecesi oluşturur.



Şekil I: Duvarlardaki sınır şartlarından dolayı ayrık elektromanyetik kipli metal kap.

Mükemmel iletken duvarlara sahip bir kaptaki kipler  $\lambda_n = \frac{2L}{n}$  eşitliğini sağlar ki burada  $n \geq 1$  bir tamsayıdır. Kap içerisinde sonsuz sayıda kısa dalga boylu kipler mevcuttur. Eğer bu kiplerin herbiri ortalama  $k_B T$  enerjisine sahipse, sonuçta kap içerisinde depolanan enerji sonsuz olmalıdır.

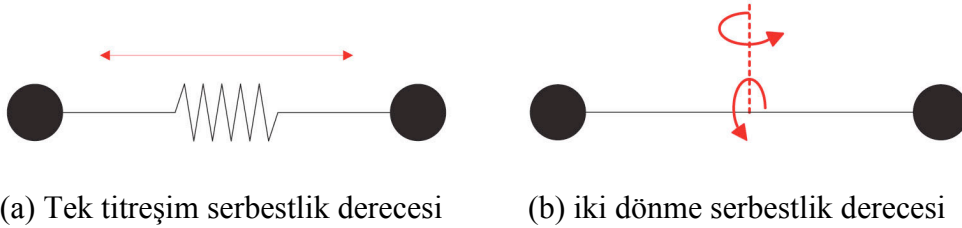
**KM.** Kip frekansı  $\nu_n = \frac{c}{\lambda_n}$  doğal bir enerji ölçeği teşkil eder ve (foton enerjisi)  $E_n = h\nu_n$  olur. ( $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  Planck sbt. dir). Doğal enerji ölçeği  $E_n$  olan kipler çok büyük olup,  $k_B T$  ısı olarak yerleşik olamazlar ve bunlar boş olduklarından ısı enerjisi taşıyamazlar. Böylece  $E_n \gg k_B T$  olan yüksek enerji kipleri “donmuş”tur. Bunlar ısı enerjisi taşıyamazlar.

→Kutu içindeki enerji sonlu olup, spektrum ve kip başına düşen enerji deneylerle uyuma halindedir.

## İki Atomlu Gazın Isıl Sığası

$N$  adet atoma sahip tek atomlu bir gazın ısı sığası ( $T$  sıcaklık derecesinde enerji depolanması durumunda)  $C_V = \frac{3}{2} Nk_B$  ile verilir ve bu deneylerle uyuma halindedir. Her atom için üç tane öteleme serbestlik derecesi mevcut olup, bunların herbiri  $\frac{1}{2} k_B T$  kinetik enerjisini depolar.

$N$  iki atomlu molekülden teşekkül eden bir gaz için beklentimiz  $C_V = \frac{7}{2} Nk_B$  olup,  $2N$  atomun öteleme serbestlik derecesi, veya 3 kütle merkezi öteleme serbestlik derecesi, 2 dönme serbestlik derecesi ve 2 titreşim serbestlik derecesi (biri kinetik enerji, biri de potansiyel enerji) vardır. Ancak oda sıcaklığındaki gözlem  $C_V = \frac{5}{2} Nk_B$  dir.



Şekil II: İki atomlu bir molekülün serbestlik derecesi

*Açıklama.* Frekansı  $\nu$  olan titreşim kipi doğal enerji ölçeği  $E = h\nu \gg k_B T$  'ye sahip olup, “donmuş” olduğundan oda sıcaklığında ısı kapasiteye bir katkıda bulunamaz. Yüksek sıcaklıklarda  $k_B T \gg h\nu$  olup,  $C_V = \frac{7}{2} Nk_B$  olur.

### Atom içerisinde elektronik serbestlik derecelerine ne olur?

Bunlarda donuktur.  $E_n \sim 1 \text{ eV} \gg k_B T = \frac{1}{40} \text{ eV}$  oda sıcaklığındaki değerdir.