

# 11. HAFTA

**BÖLÜM 5 : GÖRELİ DİNAMİK: ENERJİ VE MOMENTUM**

KÜTLE VE ENERJİNİN EŞDEĞERLİĞİ

DURGUN KÜTLESİ SIFIR OLAN PARÇACIKLAR

# Kütle Ve Enerjinin Eşdeğerliği

- Einstein tarafından bulunan, durgun kütle ile enerji arasındaki bağıntı, görelilik teorisinin en önemli bağıntılarından biridir. Parçacıkların hızları  $v \ll c$  oldukça, kinetik enerjinin göresiz tanımını kullanılabilir. Buna göre, kinetik enerjideki net kazanç kütle çarpı  $c^2$ 'deki net kazanca eşit olacaktır. Buna karşın kinetik enerji kaybının olduğu esnek çarpışmalarda ise parçacıkların durgun kütlelerinde bir artma olmalıdır.

# Kütle Ve Enerjinin Eşdeğerliği

- Görelilik teorisinde enerjinin tanımı herhangi bir  $v/c \ll 1$  sınırlaması olmadan aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$\Delta E = c^2 \Delta M$$

- Kinetik enerjinin durgun kütleye dönüşümünde ortaya çıkan  $\Delta M$  kütle değişimi, günlük olaylarda gözlenemeyecek kadar küçük bir değerdir.

# Kütle Ve Enerjinin Eşdeğerliği

- Enerji kütleyle eşdeğer olduğundan, bir sistemin  $E$  toplam enerjisine karşı gelen bir  $M = E/c^2$  şeklinde eylemsizlik kütlesi vardır.
- Kütlesiz bir kutu içinde her birinin kütlesi  $M$  olan  $N$  parçacık olsun. Kutu hareket ettirmek istendiğinde, kutu,  $NM$  kadar eylemsizlik kütlesi gösterir. Kutunun hızı  $\mathbf{V}$  olursa momentumu  $NM\mathbf{V}$  olur.

# Durgun Kütlesi Sıfır Olan Parçacıklar

- $E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$  denkleminde  $M = 0$  alınırsa  $E = pc$  olur. Bu nedenle  $\mathbf{p} = \frac{v}{c} E$  denklemi  $v = c$  olur. Bu sonuç durgun kütlesi sıfır olan parçacıkların ışık hızı ile hareket ettiğini söyler.
- Kuantum fiziğinde, ışık foton veya ışık kuantumu adı verilen parçacıklar gibi davranır. Foton durgun kütlesi sıfır olan bir parçacıktır.
- Fotonun enerjisi  $E = h\nu$  dür.

# Durgun Kütlesi Sıfır Olan Parçacıklar

- Enerjisi  $E$  olan bir foton,  $E/c$  momentumuna sahiptir. Bir foton, bir atom tarafından soğurulursa,  $E/c$  momentumu atoma aktarılır. Eğer foton yansırsa aktarılan momentum  $2E/c$  dir.
- Birim hacim başına enerjisi  $U$  olan,  $L$  kenarlı ve içinde çok sayıda foton bulunan bir kübün ışınım basıncı göz önüne alınsın. Fotonlar rastgele doğrultularda hareket etsin, üçte biri küp kenarlarına paralel doğrultularda hareket etsin.

# Durgun Kütlesi Sıfır Olan Parçacıklar

- Yüzeyle etkiyen ortalama kuvvet

$F = (\text{birim zamandaki çarpışma}) \cdot (\text{çarpışma başına aktarılan momentum})$

$$F = nL^2 \frac{E}{3}$$

- Burada birim hacimdeki foton sayısı  $n$  ise :  $N = nL^3$

# Durgun Kütlesi Sıfır Olan Parçacıklar

- Çok büyük enerjili her parçacık için, enerji ve momentum bağıntıları, belirli yaklaşıklıkta fotonlarla aynıdır. Farklı gözlemciler için, bir fotonun enerjisi ve momentumu farklı olsa da, hızı  $v = c = E/p$  olup, bir foton gözlem çerçevesi değiştirilerek, durgun hale getirilemez.
- Sonuç olarak ışık kuantumunun kütlesi, bir durgun kütle olmayıp, enerjiye eşdeğer bir kütledir. Işık kuantumunun durgun kütlesi sıfırdır.



# MOMENTUMUN ZAMANLA DEĞİŞİMİNİN DÖNÜŞÜMÜ

$$\frac{\Delta p_y}{\Delta t} = \frac{1}{\gamma} \frac{\Delta p'_y}{\Delta t'}$$

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta t} = \frac{\Delta p'_x}{\Delta t'}$$

# KAYNAKLAR

- Bu slaytların hazırlanmasında ‘**MEKANİK BERKELEY FİZİK DERSLERİ CİLT 1**’ kullanılmıştır.