

## MERKEZKAÇ KUVVET

Gülşen ÖNENGÜT\*

Geçen sayıda, bir cismin hareketini ivmelenen bir gözlem çerçevesinde incelemek istersek, serbest cisim diyagramında cisme etki eden dış kuvvetlere ek olarak eylemsizlik kuvveti adı verilen bir kuvveti de hesaba katmamız gerektiğini görmüştük. Bu kuvvet gözlem çerçevesinin ivmesine ters yönde etki eder ve büyüklüğü, cismin kütlesi ile gözlem çerçevesinin ivmesinin çarpımına eşittir. Eylemsizlik kuvvetleri, cismin çevresi ile etkileşmesinden doğan gerçek kuvvetler değildir. Bu kuvvetler ivmelenen bir gözlemcinin bir cismin hareketini Newton yasalarını kullanarak analiz edebilmesi için hesaba katması gereken sanki - kuvvetlerdir.

**Merkezkaç kuvvet**, bir cismin hareketini dönen bir gözlem çerçevesinde incelemek istersek, hesaba katmamız gereken bir eylemsizlik kuvvetidir. Bu kuvveti anlayabilmek için, önce düzgün dairesel hareketin kinematik ve dinamiğini hatırlayalım.

### MERKEZCİL İVME VE MERKEZCİL KUVVET

$r$  yarıçaplı bir dairesel yörünge üzerinde  $v$  sabit hızı ile hareket eden bir cismin dairenin merkezine ivmelendiğini biliyoruz. Çünkü hızın büyüklüğü sabit olmakla birlikte, yönü sürekli olarak değişmektedir. Yönü nedeni ile **merkezcil ivme** adı verilen bu ivmenin büyüklüğü cismin hızının karesi ile doğru, yörünge yarıçapı ile ters orantılıdır:

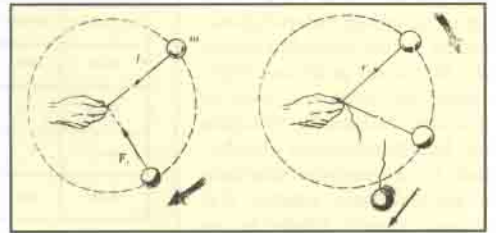
$$a_{\text{merkezcil}} = \frac{v^2}{r}$$

Bir cismin düzgün dairesel hareket yapabilmesi için, cismin üstündeki kuvvetlerin vektörel toplamının yörüngenin merkezine doğru yönelmesi ve büyüklüğünün de cismin kütlesi ile merkezcil ivmenin çarpımına eşit olması gerekir.

$$F_{\text{merkezcil}} = m a_{\text{merkezcil}} = m \frac{v^2}{r}$$

Bir ipe bağlı olarak bir daire etrafında çevrilen bir taş için ipteki gerilim, dünyanın etrafında dönen bir uydusu için dünyanın çekim kuvveti merkezcil kuvvettir. 'Merkezcil' sözcüğü, bileşke kuvvetin yönünün dairenin merkezine doğru olduğunu belirten bir sıfattır. Cismin üstüne etki eden dış kuvvetlere ek olarak bir de ayrıca 'merkezcil' kuvvet yoktur.

\* Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü.



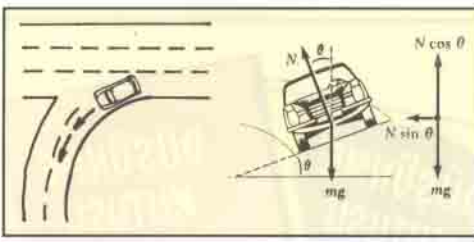
**Şekil 1.** Dairesel bir yörünge etrafında dönen taş. Dairenin merkezine doğru yönelmiş olan T gerilim kuvveti taşın bu yörüngede hareketini sağlar. İp koparsa taş dairesel yörüngeye teğet bir doğru üzerinde hareketine devam eder.

Cismin üstüne etki eden merkezcil kuvvet ortadan kalkarsa, cisim artık dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmez; daireye teğet olan doğrusal bir yol izler. Örneğin Şekil 1'de bir ipe bağlı olarak bir daire üzerinde dönmekte olan taş, ip koparsa, ipin koptuğu andaki teğetsel hızını korur.

### DÖNEN GÖZLEM ÇERÇEVELERİ

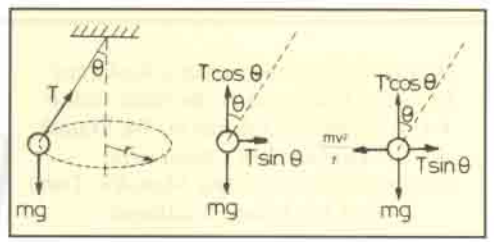
Dönen bir gözlemci, bir merkezcil ivmeye sahip olduğundan, gözlem çerçevesi eylemsiz değildir. Bu gözlemci kendi çerçevesinde Newton yasalarını uygulamak isterse, eylemsizlik kuvvetini hesaba katması gerekir. Eylemsizlik kuvveti her zaman gözlem çerçevesinin ivmesinin ters yönünde etki ettiği için, dönen bir çerçevede yönü daire merkezinden dışarıya doğru olacaktır. Bu nedenle dönen bir gözlem çerçevesindeki eylemsizlik kuvvetine **merkezkaç kuvvet** adı verilir.

Dönen bir sistemdeki kuvvetleri daha iyi anlamak için, Şekil 2'de gösterildiği gibi bir virajı dönmekte olan bir arabadaki yolcuyu düşünelim. Araba sola doğru virajı hızlı bir biçimde aldığı anda şoförün yanındaki koltukta oturmakta olan yolcu, koltuğunda sağa doğru kayar ve kاپیا çarpar. Kapı yolcunun arabadan dışarı fırlamasını engeller. Acaba yolcunun kapıya doğru hareketinin nedeni nedir? Bu soru fizik derslerinde öğrencilere sorulduğunda yanıtların çoğu yolcuyu sağa doğru iten esrarengiz bir kuvvetin varlığı doğrultusundadır ve öğrenciler bu kuvvetin 'merkezkaç' kuvvet olduğunu söylerler. Bu doğru olmayan bir açıklamadır. Aslında yolcuyu kapıya doğru iten bir kuvvet yoktur. Yolcunun kapıya doğru hareketinin nedeni yolcunun eylemsizliğidir. Araba viraja girmeden önce yolcu bir doğru çizgi üzerinde sabit hızla hareket etmektedir. Araba viraja girildiğinde, üzerine kuvvet etki etmediğinden yolcu, aynı doğru çizgi üzerinde hareket edecektir. Bu durum Newton'un birinci yasası (eylemsizlik prensibi) ile açıklanmaktadır. Yolcunun araba ile birlikte dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmesi için, üzerine yeterli bir merkezcil kuvvetin etki etmesi gerekir. Arabanın kaymadan virajı almasını sağlayan merkezcil kuvvet, yolu Şekil 3'te gösterildiği gibi yatayla  $\theta = \tan^{-1}(v^2/rg)$  açısı kadar eğimli yaparak sağlanır.



Şekil 2: Bir viraja giren araba.

Şekil 3:  $\theta$  açısı ile eğim verilmiş bir yolda viraj alan bir araba ve serbest cisim diyagramı.

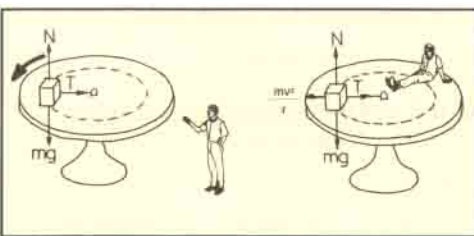


Şekil 5: (a) Konik sarkaç, (b) Eylemsiz gözlemciye göre serbest cisim diyagramı, (c) Dönen gözlemciye göre serbest cisim diyagramı.

Bu durumda normal kuvvetin düşey bileşene iyerçekimini dengeler, yatay bileşeni ise merkezci kuvvet görevi görür. Yolcunun üstüne merkeze doğru etki edebilecek tek kuvvet oturduğu koltukla arasındaki sürtünme kuvvetidir. Eğer bu kuvvet yeterince büyük değilse, araba sola dönerken yolcu oturduğu koltukta sağa doğru kayacaktır. Sonunda yolcu arabanın kapısına çarpar ve kapının uygulayacağı yeterli büyüklükteki kuvvet merkezci kuvvet görevi yaparak yolcunun araba ile birlikte virajı almasını sağlar. Yani yolcunun kapağı doğru kaymasının nedeni esrarengiz bir kuvvet tarafından itilmesi değil, arabanın izlediği dairesel yörüngeyi izleyebilmesi için yolcunun üzerine yeterli büyüklükte bir merkezci kuvvetin uygulanmamasıdır.

Gerçek kuvvetler ile eylemsizlik kuvvetleri birbirlerine karıştırılmamalıdır. Gerçek kuvvetler cisimlerin birbirlerine uyguladıkları itme veya çekmelerdir. Eylemsizlik kuvvetleri ise, ivmelenen gözlem çerçevelerinde bir cismin hareketini Newton yasaları ile açıklayabilmek için icat edilen kuvvetlerdir. Eylemsizlik kuvvetlerine en tanınmış örnek merkezkaç kuvvettir.

**PROBLEM 1 :** Düşey bir eksen etrafında  $\omega$  açısal hızı ile dönen yatay sürtünmesiz bir platformun üzerinde, dönme ekseninden  $r$  uzaklıktaki bir kutu bir ip ile dönme eksenine bağlıdır (Şekil 4). Bu ipteki gerilimi bulunuz. Kutunun hareketini yerdeki ve platformun üzerindeki (kutunun aynı yarıçapta) iki ayrı gözlemciye göre inceleyiniz..



Şekil 4: Dönen bir platformun eksenine bir ip ile bağlı bir kutunun serbest cisim diyagramları; (a) Yerdeki bir gözlemciye göre, (b) Platformun üstündeki bir gözlemciye göre.

**ÇÖZÜM :** Yerdeki (eylemsiz) bir gözlemciye göre kutu  $r$  yarıçaplı bir daire üstünde dönmektedir. Dolayısıyla dairenin merkezine yönelmiş  $\omega^2 r$ 'ye eşit bir ivmeye sahiptir. Kutunun serbest cisim diyagramı Şekil 4a'da gösterildiği gibidir. Dolayısıyla ile

$$T = m\omega^2 r$$

olmalıdır.

Platformun üstünde oturan bir gözlemciye göre ise kutu durmaktadır. Yani ivmesi sıfırdır, çünkü bu gözlemci kutu ile aynı hıza sahiptir. Bu gözlemciye göre cismin serbest cisim diyagramı Şekil 4b'de verilmiştir. Kutunun üstüne ipteki gerilime ek olarak  $m\omega^2 r$  büyüklüğünde bir eylemsizlik kuvveti etkiyor muş gibi gösterilmiştir. Merkezkaç kuvvet adı verilen bu kuvvet ile ipteki gerilimin vektörel toplamı sıfırdır:

$$\Sigma F = T - m\omega^2 r = 0$$

**PROBLEM 2 :**  $m$  kütleli bir cisim  $L$  uzunluğunda bir ipten asılıdır. Cisim Şekil 5a'da gösterildiği gibi  $r$  yarıçaplı yatay bir daire üstünde  $v$  sabit hızı ile dönmektedir. İp bir koninin yanal yüzeyi üzerinde hareket ettiğinden, bu sisteme **konik sarkaç** adı verilir. Koninin tepe açısını bulunuz. Problemi hem yerde sabit hem de cisim ile birlikte dönen iki gözlemci açısından ayrı ayrı tartışınız.

**ÇÖZÜM :** Yerdeki yani eylemsiz bir gözlemcinin açısından cismin serbest cisim diyagramı Şekil 5b'de gösterildiği gibidir. İpteki gerilimin düşey bileşeni cismin ağırlığını dengeler; yatay bileşeni ise merkezci kuvvet görevi yaparak cismin dairenin merkezine doğru  $v^2/r$  ile ivmelenmesini sağlar:

$$\begin{aligned} T \cos \theta &= mg \\ T \sin \theta &= mv^2/r \end{aligned}$$

İkinci denklemleri birinciye bölersek,  $\tan \theta = v^2/rg$  buluruz.

Cisim ile birlikte dönen bir gözlemci için cismin ivmesi sıfırdır; serbest cisim diyagramı ise Şekil 5c'de gösterildiği gibidir. İpteki gerilim ve cismin ağırlığının dışında cisme merkezkaç kuvvet etki etmektedir. İpin yatay bileşeni merkezkaç kuvvet ile dengelendiğinden, cismin üstündeki toplam kuvvet sıfırdır.

(Devam edecek.)

Bu yazı dizisinin hazırlanmasında yararlanılan kaynak listesi, dizinin son makalesinde verilecektir.

- Kaslarınızı Çalıştırırsanız Kaslarınız, Beyninizi Çalıştırırsanız Beyniniz Gelişir.
- Hiç Şüpheleniz Olmasın ki, Bu Mantık Eğlencelerinin Çözümlerini Tamamladığınızda, Daha Mantıklı, Daha Zeki Bir İnsan Olacaksınız.

- TANGIRAMLAR
- KİPRİTOMA
- SAYIRAMA
- SATRANÇ
- DENKLEMLER

• Öğrenciyse Derslerinizde, Çalışıyorsanız İşinizde, Serbestseniz Dostlarınız Arasında Daha Yüksek Bir Düzeye Tırmanmanız İçin Bu Kitabı Mutlaka Okumalısınız...



I. Kitap: 16.960 TL. II. Kitap: 14.840 TL.'dir. Ancak Bilim ve Teknik okuyucuları için ikisi birlikte 26.000 TL.'dir. 26.000 TL.'yi 262919 nolu posta çeki hesabımıza yatırdığınızda adresinize postalanacaktır. Lütfen açık adresinizi yazmayı unutmayınız.

## AKİD YAYINCILIK'TAN ÜÇ YENİ KİTAP...



- GÖK YARILDIĞI ZAMAN
- DAĞLAR ATILDIĞI ZAMAN
- GEZEGENLER • YOK OLANLAR
- KARINCALARIN DÜNYASI
- BAL ARASININ HİKMETİ
- İNSANIN DEĞERİ-HAKLARI
- YÖRÜNGELER
- KÂİNATIN SIRLARI

\* \* \*

Orta ve Lise Öğrencilerine Kaynak Kitap

\* \* \*

Fiyat: 42.400 TL. olan bu kitap, Bilim ve Teknik okuyucuları için 32.000 TL.'dir. 32.000 TL.'yi 262919 nolu posta çeki hesabına yatırdığınızda adresinize postalanacaktır. Lütfen açık adresinizi yazmayı unutmayınız.

AKİD YAYINCILIK Celal Bayar Bulvarı Alt Geçit No: 9 Tel : 231 21 17 Tandoğan - ANKARA