

DÜNYA ÜZERİNDE HAREKET

Osman DEMİRCAN*

Ortak merkezleri Dünya'nın merkezinde, X, X' ve Y, Y' , eksenleri ekvator düzleminde olan iki koordinat sistemi tanımlayalım. Z ve Z' eksenleri Dünya'nın dönme eksenine paraleldir. Koordinat sistemlerinden bir tanesi ($X'Y'Z'$ sistemi) Dünya ile beraber dönsün. Dünya'nın üzerinde konum vektörü r , kütlesi m olan bir A cismini dikkate alalım. A cismini $X'Y'Z'$ koordinat sisteminde sabit bir konuma sahipken XYZ koordinat sisteminde W , açısal hızıyla düzgün dairesel bir hareket yapmaktadır (bkz. Şekil 1). Burada W , Dünya'nın açısal hızıdır. A 'nın XYZ 'de sabit bir gözlemciye göre hızı $V_s = W \times r$ vektörel çarpımıyla verilir. Ayrıca A noktası $X'Y'Z'$ 'de (yani Dünya üzerinde) sabit değil, fakat V_r hızına sahipse, o zaman $V_s = V_r + W \times r$ olur. Aslında genel olarak vektörel bir G büyüklüğünün zamanla değişimi bu iki koordinat sisteminde

$$\left(\frac{dG}{dt}\right)_s = \left(\frac{dG}{dt}\right)_r + W \times G$$

bağıntısıyla birbirine bağlıdır. Bu genel bağıntıdan yararlanırsak,

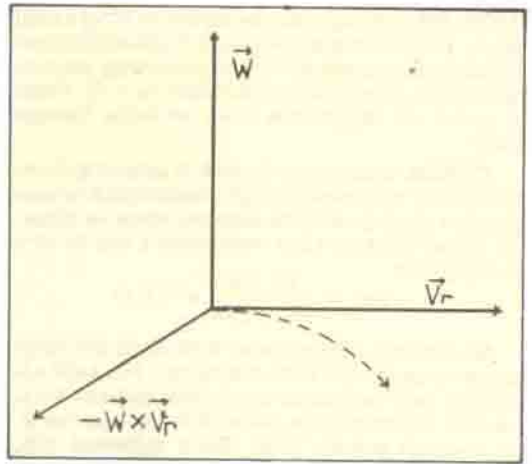
$$\begin{aligned} \left(\frac{dV_s}{dt}\right)_s &= \left(\frac{dV_s}{dt}\right)_r + W \times V_s \\ &= \left(\frac{dV_r}{dt}\right)_r + \left(\frac{d(W \times r)}{dt}\right)_r + W \times (V_r + W \times r) \\ &= 2(W \times V_r) + W \times (W \times r) \end{aligned}$$

yazabiliriz. Burada sol taraf A cisminin sabit xyz koordinat sisteminde ivmesidir. Buna a_s diyelim.

Formülün sol tarafındaki ilk terim ise A cisminin Dünya ile beraber dönen $X'Y'Z'$ koordinat sisteminde ivmesidir. Son formülün her iki yanını A cisminin M kütlesiyle çarpıp ikinci Newton yasasını dikkate alırsak, cisme etkiyen kuvvetleri

$$F_s = F_r + 2m(W \times V_r) + mW \times (W \times r)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada F_s dönmeyen sabit XYZ koordinat sistemindeki, F_r 'de dönen $X'Y'Z'$ koordinat sistemindeki birer gözlemciye göre A cisminin etkiyen kuvvetleridir. Eşitliğin sağ yanında bulunan ikinci terim cisme etkiyen "Coriolis" kuvveti ve son terim de merkezkaç kuvveti olarak bilinir. Şekil'den görüldüğü gibi merkezkaç kuvveti, şiddeti $m \omega^2 r \cos \theta$



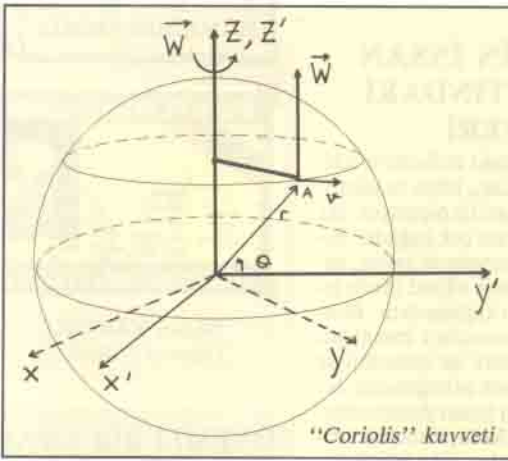
θ olan W 'ya dik ve dışa doğru yönelmiş bir kuvvettir. Burada θ , A cisminin enlemidir. A cisminin Dünya üzerinde hareketsiz ($V_r = 0$) olması halinde cisme çekim kuvvetinden başka sadece merkezkaç kuvveti etki eder.

Şimdi bir uygulama olarak Dünya'yı küre kabul edelim. Sabit koordinat sistemindeki bir gözlemciye göre Dünya yüzeyinde çekim ivmesi g_0 olsun. θ enleminde V_r hızına sahip olan bir A cisminin dönen koordinat sistemindeki bir gözlemciye göre ivmesi

$$a = g_0 - 2(W \times V_r) - W \times (W \times r)$$

şeklinde yazılabilir. A cisminin Dünya üzerinde sabit olması halinde ($V_r = 0$) "Coriolis" terimi sıfır olur ve bu durumda etkin çekim ivmesi $g = a$, Dünya'nın merkezine yönelen g_0 vektörüyle W 'ye dik ve dışa yönelen merkezkaç ivmesi vektörünün bileşkesi olduğundan, yön olarak merkez yönünden biraz sapar. Çekim doğrultusu g_0 doğrultusunda değil, fakat g doğrultusundadır ve bu doğrultu Dünya küre şeklinde olsa bile merkezinden geçmez. Dünya yüzeyinde duran sıvıların yüzey düzlemleri de g_0 'a değil, fakat g 'ye diktir. Dünya, kuzey kutbundan bakıldığında saat yönünün ters yönünde $W = 2\pi / (24 \times 3600) = 7.29 \times 10^{-5} \text{ rad sn}^{-1}$ açısal hızıyla döner. Bu hız enleme bağlı değildir. θ enlemindeki bir cismin, Dünya'nın dönmesi nedeniyle merkezkaç ivmesi $-W \times (W \times r)$ olduğuna göre, bunun şiddeti $W^2 r \cos \theta$ formülünden $3.34 \times 10^{-2} \cos \theta \text{ m sn}^{-2}$ olarak bulunur. Böylece merkezkaç ivmesinin ekvatorda en fazla $(3.34 \times 10^{-2} \text{ m sn}^{-2})$, kutuplarda da sıfır olduğunu görüyoruz. Bu durumda Dünya üzerindeki cisimlere uygulanan merkezkaç ivmesi çekim ivmesinin en fazla % 0.3'ü olmaktadır. g 'nin g_0 doğrultusundaki bileşeni $W^2 r \cos^2 \theta$ 'dir. Buna göre θ enleminde yaklaşık olarak $g = g_0 - W^2 r \cos^2 \theta$ bulunur. g 'nin değeri kutuplarda en fazla 9.83 m sn^{-2} dir. Yukarıdaki formüle göre ekvatorda $g = 9.80 \text{ m sn}^{-2}$ olması gerekir. Halbuki ölçülen değer 9.78 m sn^{-2} dir. Bu fark, Dünya'nın küre değil, fakat kutuplardan biraz basık olmasından kaynaklanır. Burada ayrıca g 'yi hesaplarken Dünya'nın Güneş etrafındaki

* Prof.Dr., Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü.



deneydir. Foucault sarkacının enleme bağı olan devirleme dönemi $P = 23^{\text{sa}} 56^{\text{dk}} 04^{\text{sn}} / \sin \theta$ olarak bulunur.

"Coriolis" etkisi doğal olarak atmosferik hareketlerde de kendini gösterir. Örneğin, alçak basınçın olduğu bölgeye dışardan dikine hareket eden yoğun hava "Coriolis" kuvveti etkisiyle kuzey enlemlerinde sağa sapma gösterdiğinden, alçak basınç bölgesine saat yönünün ters yönünde bir dönme hareketi verir. Bu nedenle kuzey enlemlerinde alçak basınç bölgeleri saat yönünün tersine dönerken, güney enlemlerinde bu bölgeler saat yönünde dönerler.

Benzer olay, ortasına delik delinmiş su dolu genişçe bir kaptaki da görülür. Prensipite çevreden deliğe doğru akan su "Coriolis" kuvveti etkisiyle sağa göstereceğinden, kaptaki suya kuzey enlemlerinde saat yönünün tersine bir yönde, güney enlemlerinde ise saat yönünde bir dönme verir. Yine prensipte, tam ekvator üzerinde "Coriolis" etkisi olmadığı için kaptaki su dönmeyecektir. Şimdi, önceden çıkarılan formüllere göre bu son durum irdelenirse, merkezdeki deliğe akan suyun "Coriolis" etkisi (Wt) gösterecek kadar akma zamanı bulamayacağı, ancak kabin yapısı, eğimi, sıvının viskozitesi ve merkeze fazla suyun birikimi nedenleriyle bir yönde dönme hareketi kazandığı görülür. Bu tür bir deneyde "Coriolis" kuvvetinin etkisi gözlenemez. □

hareketinden kaynaklanan merkezkaç kuvvetini boşladık. Çünkü Dünya'nın dönme ve dolanma hareketlerinden kaynaklanan merkezkaç kuvvetlerinin oranı:

$$\frac{(W^2 r)_{\text{dol}}}{(W^2 r)_{\text{dön}}} = \frac{(1/365)^2 150 \cdot 10^6}{1^2 3650} = (2.7 \cdot 10^{-3})^2 0.4 \cdot 10^5 \approx 0.3$$

Şimdi de A cisminin Dünya üzerinde sabit olma-yıp W_r hızıyla hareket ettiğini düşünelim. Bu durumda cisme etkiyen "Coriolis" kuvveti sıfır olmayacaktır. "Coriolis" kuvveti ($-2M \mathbf{W} \times \mathbf{V}_r$) hem w 'ya hem de V_r 'ye dik olacağından, kuzey yarım kürede V_r hızıyla giden cismi sağa, diğer yarım kürede de sola sürükleyecek yöndedir. "Coriolis" ivmesinin şiddeti daima $2 w v_r \approx 1.5 \cdot 10^{-4} v_r$ 'den daha küçüktür. Bu da $v_r = 10^5 \text{ cm/sn}$ için $15 \text{ cm/sn}^2 \approx 0.015 \text{ g}$ olur. "Coriolis" ivmesi bu kadar küçük olduğu halde oldukça önemlidir. Kuzey kutbundan ekvatora doğru uzun menzilli bir füze fırlatıldığını varsayalım. "Coriolis" ivmesinin şiddeti $2 w v$ olacak ve t zaman sonra menzilden doğrusal sapma $w t^2$ olacak, açısal sapma ise $\theta = w t^2 / v t = w t$ Dünya'nın t zamanında katettiği açısal dönmeye denk olacaktır. Bunun anlamı, füze doğrusal olarak hareketini sürdürürken altta Dünya döndüğü için $w t$ kadar menzilden sağ tarafa sürüklenmiş olacaktır. Uçuş süresi 100 saniye olsa, açısal sapma $W t \approx 7 \cdot 10^{-3} \text{ rad.} \approx 0.4$ açı derecesi olur.

"Coriolis" kuvveti serbest düşen cisimlere de etki eder ve kuzey yarım küresinde düşme yolu batıya doğru bükülür. Şimdi de "Coriolis" kuvvetinin salınan bir sarkaç etkisini düşünelim. Doğu-batı doğrultusunda salınan bir sarkaç Dünya dönmemiş olsa bu salınımını değiştirmeden devam ettirir; ancak Dünya'nın dönmesi nedeniyle sarkacın yolu kuzey enlemlerinde sağa, güney enlemlerinde sola bükülür ve sonuçta sarkaç düzlemi kuzey enlemlerinde saat yönünde, güney enlemlerinde ise saat yönünün ters yönünde döner. Sarkaç üzerinde "Coriolis" etkisi kutuplarda maksimum, ekvator da ise sıfırdır. Sarkaç üzerindeki bu etki ilk kez 1851'de Fransız fizikçi Jean Leon Foucault tarafından gösterilmiştir. Bu deney Dünya'nın döndüğünü gösteren çok güzel bir

ZEKÂSAYAR

(Geçen sayıda yayınlanan soruların cevapları.)

ÇOLDE KEŞİF: 4 gün ileri + 4 gün geri dönüş.

DOKUZ BİLİNMEYEN: $219/3 = 73$, $438/6 = 73$, $657/9 = 73$.

SATRAÇ: Soruda hangi tarafın beyaz, hangi tarafın siyah olduğu verilmiş (Normal olarak beyazlar yukarıya doğru oynar, ancak beyazlar yukarı doğru oynuyor olsaydı, pozisyon imkânsız olacaktı. Bu durumda hayal gücümüzü kullanarak şeklin ters verildiğini, beyazların yukarıdan aşağıya doğru oynadığını varsayıyoruz ve çözümü ulaşıyoruz).



Şekilde beyazların son hamlesinden bir önceki durum görülüyor. Siyah nokta siyahların herhangi bir taşına karşılık geliyor (Vezir, kale, fil veya at. Hangisinin olduğunu anlamaya imkan yok). Beyaz er bu siyah taşını alır ve kaleye terfi eder ("Neden vezire terfi etmedi" sorusunu soracak olanlara "amacımız en mantıklıyı bulmak değil, imkânsız olup olmadığını anlamak" şeklinde cevap veriyoruz).

KÜPÜ BOYAMAK: 3 değişik boya. Bir köşeye ait olan üç kenar değişik renkte olmalıdır (Bu kenarların tam karşı kenarları aynı renge boyanırsa problem çözülür).

MINİ TEST: 4.