



Yerçekimi mi Ağırlık mı?..

Nedir ağırlık? Ağırlıksızlık? Bir yapay uydu içinde dolaşan, deney yapan, su içen astronotların ağırlıkları var mı, yok mu? Dünya onları çekiyor mu, çekmiyor mu? Daha genel olarak, kütle, yerçekimi, ağırlık ve bunların ilişkileri hakkında bilimiz yeterli mi? Yoksa, çoğumuzun yaptığı gibi, birini ötekiyle, diğerini başkalarıyla karıştırıp, kendimiz de işin içinden çıkamıyor muyuz? Eğer bu sorulara kendinizi inandırabilecek açıklamalarınız yoksa yalnız değilsiniz.

BÜTÜN yaşamımız Dünya üzerinde. Ona yerçekimi ile o kadar bağlı ve bağımlıyız ki, ağırlıksız olmayı bazen gerçek dışı, bazen heyecan verici, hatta korkutucu bir durum gibi algılamaktan kendimizi alamayız. Lunaparklarda rağbet gören oyunlar, insana kendini boşluktaymiş gibi hissettirir. Tramlenden suya atarken, arabayla bir tümseği hızla aşarken içimizde bir şeylerin eksildiğini, yok olduğunu duyar, ürpeririz. Bindiğimiz asansörün halatı kopsa ne hissedeceğimiz hakkında iyi kötü bir fikrimiz vardır.

İnsanoğlu, mekanik denilen hareket bilimini ve onun sıcaklığa uzantısı olan termodinamiği ancak son zamanlarda geliştirip, anlamaya başladı. Hâlâ çoğumuz, kütleyi ağırlıkla, kuvveti güçle, gücü enerjiyle, ısıyı sıcaklıkla karıştırır dururuz. Ağırlıksızlık uzayı çağırıştırdığı, uzay da atmosferin ötesinde olduğu için, atmosferin dışına çıkar çıkmaz ağırlığımızın yok olacağını düşünürüz. Bütün bu karışıklık ve yanlış anlamaların altında, bazı temel kavramlar ve bunların birbirleri ile

ilişkilerini doğru ve sindirerek bilmememiz yatıyor. Gelin, önce bu temel kavramları gözden geçirelim.

Önce Kütleli Tanıyalım

Terazide bir şey tartarken kullanılan, "bir kilo" denilen demir parçası bazen başka işlere de yarar: Çivi çakmak, ceviz kırmak gibi. İster tartmada ister öteki işlerde olsun faydalanılan şey, o demir parçasının sanki adı gibi değişmez bir özelliğidir: Kütle. Zaten "Bir kilo" diye anılmasının nedeni, kütlelerinin 1 kilogram yani 1000 gram olması (1 kg=1000 g). Dünya üzerinde nerede, hatta hangi uydu veya gezegende bulunursak bulunalım, neyin etrafında dönüyor, ne kadar hızlı veya yavaş gidiyor olursak olalım, yanımızda taşıdığımız "bir kilo" nun kütleleri daima 1 kg olarak kalacak ve çivi çakmak gibi kinetik enerjisinin kullanıldığı işlerde daima aynı derecede işimize yarayacaktır.

Kütle, bir maddenin değişmez kimliğidir. Maddenin korunumu kütlelenin değişmemesi ile eşdeğerdir. (Bu arada, bizim de bir madde olarak kütleminin

değişmemesi, örneğin 72 kg değerini koruması beklenir. Ancak canlıların, canlı kalabilmek için gerekli olan çevreyle besin ve atık alışverişi yüzünden kütleleri değişir. Büyüme, zayıflama, "kilo" alma vb. bu değişimlere verdığımız isimlerdir.) Her maddenin, küçük veya büyük olsun, kendine özel bir kütle vardır. Bu yüzden madde yerine kütle de diyebiliriz.

Kütleyi tanıdıktan sonra, onunla en çok karıştırılan ağırlık kavramına geçmemiz beklenirdi. Her ne kadar ağırlık yerçekimi olmadan da tanımlanabilecek bir olgu ise de, hemen her zaman yerçekimi ile ilişkili olarak algılandığı için, önce şu yerçekimi, daha genel adıyla kütle çekim üzerinde durmak yerinde olur.

Nedir Kütle Çekim?

Maddeler (kütleler) birbirini çeker. Yani bir madde bir başkasına, onu kendisine doğru gelmeye zorlayan bir kuvvet uygular; bunu aralarında yay, ip, hava gibi hiçbir bağlayıcı ortama gerek olmadan yapar. Öteki madde de aynı şekilde birincisini, onu kendine



Dünya'nın çeşitli bölgelerinde standart ağırlık birimi olarak kullanılmış bazı örnekler.

doğru gitmeye zorlayıcı, aynı büyüklükte (tabii ki ters yönde) bir kuvvetle çeker. Mesela, Dünya bir tenis topunu aşağı doğru bir kuvvetle çekerken, tenis topu da Dünya'yı yukarı doğru aynı büyüklükte bir kuvvetle çeker. Bu birbirine denk çekme kuvveti, iki maddenin de kütleleri ile doğru orantılıdır. Yine bu kuvvet iki kütleli sanki birbirlerini "gördükleri" sanal büyüklükte de orantılıdır. Örneğin, 1 m uzaktaki tenis topu 2 m uzağa gidince sanki eskisinin dörtte biri kadarmış gibi gözükür. 100 m uzakta, yani onbinde bir küçüklükte ise topu görmekte güçlük çekeriz. Çekim kuvveti de o oranda, yani uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değişir. Yani 1 m uzakta ki tenis topunu, kütlelerimizden dolayı çektiğimiz kuvvet, 100 m uzakta onbinde bire düşer. Fakat bizimle top arasındaki bu kuvvet çok yakında bile o kadar küçüktür ki, top hiç de bize doğru yaklaşmaya tenezzül etmez sanki. Ancak, kütlelerden hiç değilse biri çok büyükse çekim kuvveti önemli bir büyüklüğe ulaşır. Örneğin, bizim yerimize Dünya'yı alırsak, onun çekim kuvveti (yani topa etki eden yerçekimi) bizimkinden o kadar büyüktür ki, elimizden bıraktığımız top bize yaklaşmaktansa Dünya'ya yaklaşmayı (düşmeyi) tercih eder.

Çekim kuvvetini belirleyen uzaklık, iki cismin kütle merkezleri arasındaki uzaklıktır. Dünya ve üzerindeki topu alırsak bu uzaklık Dünya'nın ortalama yarıçapından çok az farklıdır (6371 km). Onun için, deniz seviyesinde veya yükseklerde, ekvator da veya kutuplarda olmak pek fazla değiştirmez Dünya'nın bize uyguladığı çekim kuvvetini. Yaklaşık olarak 1 kg kütleyle bu ortalama uzaklıkta 9,83 N (Newton) etki eder. Benim kütleme göre İstanbul'da, diyelim 700 N kuvvetle çekiliyorsam, Antarktika kıyılarında ancak 5 N daha fazla, Everest zirvesinde 2 N daha az bir çekim kuvvetine maruz kalacağım. Peki daha uzaklarda? Yer'den 240 km yüksekte (herhangi bir uydusu uzaklığında) 650 N, 36 000 km de (yer istasyonu uzaklığında) 22 N, Ay uzaklığında 0,19 N; yani uzaklığın karesiyle azalan bir kuvvet, ama yine de sıfır değil. Dünya yerine başka büyük kütleleri alırsak, örneğin Ay yüzeyinde 115 N, yani Dünya'dakinin 1/6'sı, Merih'te (Mars) 0,4, مشتری'de

(Jüpiter) 2,7, Güneş'te 28 katı. Tipik bir nötron yıldızı üzerinde ise, Dünya'dakinin 10^{32} katı kuvvetle çekiliyor olacaktım; çünkü Güneş kadar büyük bir kütleyle, nötron yıldızının ancak birkaç kilometre olan yarıçapı kadar yaklaşmış bulunacaktım. Yalnız, yaklaşırken başımla ayaklarım arasındaki çekim kuvveti farkı o kadar büyüyecek ki, daha yıldızla erişmeden çok önce, pişmaniye haline gelmiş olacaktım.

Bereket versin, Dünya'dan pek fazla ayrılmadıkça bu büyük kütlelerin çekimi ihmal edilecek kadar az. Örneğin, Ay beni şimdi ancak 0,0023 N, Güneş ise 0,41 N kadar çekebiliyor. Yine de bu küçük kuvvetler gel-git olaylarının başlıca nedeni.

Dikkat ederseniz, yerçekiminden söz ederken ağırlığa hiç başvurmadık. Çekim kuvveti ile statik ağırlık arasında önemli ve nazik bir ilişki var; ileride göreceğiz. Ağırlığa geçmeden önce son bir söz: Kütle çekim kuvveti de, cisimler arasındaki uzaklık aynı kaldığı sürece değişmeyen bir büyüklük. Yani 240 km yüksekte bulunduğum sürece, bana etki eden yerçekimi kuvveti daima 650 N olarak kalacaktır; ister orada duruyor olayım, ister dairesel bir yörüngede hareket ediyor olayım, hep 650 N ile çekiliyor olacaktım.

Ve Ağırlık...

Ağırlık ve kütle, çoğu zaman birbiri ile karıştırılan veya alışkanlıkla birbiri yerine kullanılan iki farklı kavram. Ağırlık aslında kuvvet birimi ile ölçülür. Pratikte, terazi denilen bir karşılaştırma aracı ile "tartma" sonucu elde edilen bir büyüklük olarak bilinirse de, bu yanlış. Aslında basit, eşit kollu terazide iki kefeye konan kütleler karşılaştırılır. Eğer kol yatay durumda dengede durabiliyorsa etki eden ağırlık kuvvetleri dengededir. Bunun için de kütlelerin eşit olması gerekir. O halde "bir kilo" ile dengede olan patatesin kütlesi de 1 kg'dır. Ya ağırlığı? Bu tür terazilerle ağırlık tayin edilemez. Kütle ile ağırlık arasındaki ilk karışıklık ta bundan doğar. Tartma sonucunu "patatesin ağırlığı bir kilo" diyerek açıklarız. Halbuki "patatesin ağırlığı bir kilonun ağırlığına eşit" dememiz gerekirdi ki, ikisini de henüz bilmiyoruz. Bu yanlışlık günlük alışverişimize, banyo terazimize kadar girmiştir. Yakın bir



Hava direnci ihmal edildiğinde, bütün kütleler yer çekimi altında aynı ivme ile hızlanır.

geçmişe kadar kütle ve onun ağırlığı aynı skalada gösterilmeye çalışılmış; yine de, birine kg-kütle ötekine kg-kuvvet gibi isimler bile verilse, mekanik öğrenenlerin kâbusu olmaktan kurtulamamıştır. Hâlâ hiç kimse (fizikçiler dahil) size ağırlığından söz ederken "700 Newton çekiyorum" demez; "72 kiloyum" der. "Nedir bu 72 kilo?" sorusuna hiç kimseden "Kütle" cevabını alamazsınız, isterseniz deneyin.

Bu yanlışlıklar yalnızca dilimizde kaldığı, anlayışımızı etkilemediği sürece zarar yok. Zaten, Dünya üzerinden fazla ayrılmadıkça ağırlık da pek değişmiyor; ha kütle ha ağırlık. Fakat konu ağırlıksız olmaya dayanınca daha dikkatli olmak gerek. Çünkü ağırlıksız olduğu söylenen durum ve şartlarda artık neyin kütle, neyin çekim kuvveti veya ağırlık olduğunu açık seçik bilmekten başka çare yok.

Kütlelerin hiç değişmediğini, çekim kuvvetinin ise, kütleler arası uzaklık aynı kaldığı sürece değişmediğini gördük. Ayrıca, uzaklık arttıkça çekim

kuvvetinin hızla küçüldüğünü, fakat asla sıfır olmadığını da biliyoruz. Deneyimlere dayanarak bildiğimiz başka şeyler de var. "Ağırlıksız" denilen şartlarda, örneğin bir yapay uydu kapsülünde (veya halatı kopmuş asansör kabini) hiçbir yere dayanmadan, dokunmadan kapsüle göre durumumuzu koruyabiliyoruz; kullandığımız aleti elimizden bırakınca sanki bıraktığımız yerde boşlukta kalıyor. Dikkatle düşünelim "ağırlıksız" olmak, etkisinden hiçbir şekilde kurtulamayacağımızı bildiğimiz yerçekimi kuvveti hariç, başka hiçbir kuvvete maruz olmamak gibi bir durum. Yani sadece ve sadece, kütleli çekim kuvvetinin altında isek, ister duruyor (herhangi bir anda) ister hareket ediyor olalım, ağırlığımız olmayacak. Mesela trampolenden havuza atarken, ayaklarımız trampeleni terkettiği andan suya ilk dokduğumuz ana kadar, (hava ile sürtünmeyi ihmal ederseniz) hiçbir yerden destek almadan sadece yerçekimi altındayızdır. Önce yükselir, bir noktada bir an durur, sonra aşağı doğru gittikçe hızlanarak düşeriz. Bu sırada bir ağırlığımız olduğunu bize hissettirecek başka hiçbir kuvvet yoktur. Halbuki, ayakta dururken (veya otururken) her bir parçamız, yerçekiminden dolayı düşmesini önleyecek belli bir kuvvetle yukarı itilerek dengelenir. Bu kuvvetleri ise biz toptan ağırlığımız olarak algılarız: En çok ayaklarımızla, en az başımızla (tepe üstü durduğumuz zaman da tersine en çok başımız, en az ayaklarımızla).

Asansörle çıkıyor veya iniyorsak ağırlığımız değişir. Kabine girip çıkış düğmesine basınca kadar hareket etmeyiz. Yerçekimi, döşemeden ayaklarımızı yukarı iten kuvvetle (hemen hemen) dengededir ve bu itme kuvvetini biz normal ağırlığımız olarak algılarız. Düğmeye basınca, döşeme bizi daha büyük bir kuvvetle yukarı iterek hızlandırır, bunun için de kendimizi daha ağır hissederiz. Kabin hızı sabit değerini alınca ağırlığımız yine normale döner. Duracağımız kata yaklaşırken kabin yavaşlar, döşeme kuvveti azalır, kendimizi daha hafif hissederiz (biraz boşlukta gibi). Durduktan sonra her şey normal değerine döner. İşte olay ters yönde tekrarlanır: Önce hafifleme, sonra normal, sonra ağırlaşma ve nihayet normale dönüş. Çabuk hızlanan veya halatı kopan bir kabinde neler



hissedeceğimiz belli artık. Birincide daha çok ağırlık, ikincide neredeyse sıfır ağırlık.

Mekik-uydu içindeki durumu da analiz etmek mümkün. Mekik, personel, deney aletleri ve Dr. Nurcan Baç'ın zeolitleri (bk. *Bilim ve Teknik* 345, s. 8-11), her şey hemen hemen aynı yörünge üzerinde, isterlerse birbirlerine hiç dokunmadan, yani sadece yerçekimi altında hareket etmektedir. Başka kuvvet gerekmediği için ağırlıkları yoktur; hem de çok uzun bir süre. Böylece zeolit kristalleri en özgür ortam içinde büyüyebilir. Dünya üzerinde ise ancak bir düşme kulesinde, kabini yukarı fırlatıp tekrar dibe düşünceye kadar, birkaç saniyelik bir ağırlıksız durum yaratabilecektik.



18. yüzyılda yapılmış, Newton'un yerçekimi teorisine ilişkin bir karikatür.

Yerçekimi İvmesi

Newton'un meşhur ikinci (hareket) kanunu, bir kütleyle bir kuvvet etki ettiğinde onun bu kuvvet doğrultusunda kuvvetin büyüklüğü ile orantılı, fakat kendi kütlesi ile ters orantılı şekilde hızlanacağını (yani mevcut hızına, zamanla o oranda artan hız katacağını) söyler. Kütlelerin, "atâlet" (tembellik) diye adlandırılan bir özelliğin ölçüsü olması, bu ters orantı yüzündendir. Bir el arabasını kolaylıkla hızlandırabilirsiniz. Ama aynı kuvvetle bunu arabanızda sağlamak uzun zaman alır; çünkü arabanız çok daha "atıl" yani kütlelidir. Hızlanma mekanik dilinde "ivme"dir. Tenis topunu elimizden bıraktıktan sonra, hava direncini ihmal ederseniz, yerçekimi ona etki eden tek kuvvettir ve aşağı doğrudur. Bıraktığımız anda sıfır olan hızı, her saniye başına saniyede 9,8 m gibi artar ve top hızlanarak yere düşer. Hava direnci gerçekten yoksa (örneğin havası tamamen boşaltılmış bir odada) tenis topu, kuş tüyü ve değirmen taşı hep aynı ivmeyle hızlanır; çünkü birim kütleyle etki eden kuvvet olan ivme aynı kalır, bütün cisimler için. İşte bu birim kütleyle etki eden yerçekimi kuvvetine *yerçekimi ivmesi* denir. Uygulanma yeri çoğunlukla Dünya yüzeyi olduğu ve orada kaldığı sürece değeri pek fazla değişmediği için sabit bir ortalama değeri olduğu kabul edilebilir. $g_0 = 9,83 \text{ N/1 kg} = 9,83 \text{ (m/s)/s} = 9,83 \text{ m/s}^2$.

Öte yandan, bir cismin hareketi incelenirken, çoklukla bu hareketin Dünya'ya göre tanımlanması istenir. Böyle olunca da mutlak hareketi (yani uzayda sabit kabul edilebilecek bir referansa göre hareketi) düzenleyen yerçekimi ivmesi değil, Dünya'ya göre hareketi verecek olan ağırlık ivmesi daha uygun bir büyüklük olur. Onun da standart değeri $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ 'dir. Bundan farklılıklar doğuran yükseklik ve enlemin etkileri çoğu zaman ihmal edilir. Dünya'nın simetrik olmaması, zamanla şeklinin değişmesi gibi nedenlerden gelebilecek düzeltmeler ise çok daha küçüktür.

"g"ye Gelince...

Hızlı hareketler, kısa sürede hızlanmayı, yani yüksek ivmeyi gerektirir. Atmosfer içi ve ötesi hareket program-

larında yüksek ivmeler, m/s^2 birimi ile olduğu kadar g değerini birim kabul ederek de ifade edilir. Mesela, bir uydunun fırlatılmasında, uçak manevralarında 2-3 g 'lik ivmeler ağırlığın 2-3 katına çıkacağını müjdelirken, 8-10 g gibi ivmeler insanın dayanma sınırına erişir. Çarpışmalar genellikle çok daha yüksek g 'lerle ölçülür. Mesela, teniste, topun rakette buluşma süresi 1/100 saniye ve topun çıkış hızı 50 m/s ise ortalama ivme nerdeyse 500 g olacaktır.

Ağırlıksız durumlarda ağırlığı temel alan ivme de sıfır olmalı, yani 0 g . O halde neden *mikrogravite*? Ağırlığın etkilediği (ve bu yüzden ağırlıksız ortama ihtiyaç gösteren) doğal konveksiyon, tabakalaşma gibi olaylar içeren işlemlerde, çok küçük de olsa, ağırlık, yüzey gerilimi, elektrostatik kuvvetler gibi faktörler ayrıntılı olarak bilinmelidir. Bir uzay istasyonunda yer çekiminin kabinin "altında" ve "üstünde" farklı değerlerde olması, personelin hareketi, istasyonun dönmesi veya teorik yörüngeyi tamı tamına izlememesi yüzünden g değeri sıfırdan farklıdır ve sınırlarının bilinmesi gerekir. Erişilebilecek küçük değerler, bir düşme kulesinde $10^{-3} g$, balistik yörüngede uçan bir uçakta $10^{-2} g$, uzay mekiğinde $10^{-6} g$ (personel uykuda) ile $10^{-1} g$ (çalışırken) arasında olabilir.

Gelelim Ölçmelere...

Önce kütleyle ele alalım. Değeri kütlesi ile ölçülen her şeyde ağırlık veya yerçekimi değil, kütle önemlidir. Bilinmeyen bir kütleyle, mesela 1 kg 'lık standart bir kütle ile karşılaştırarak tayin edebiliriz. Kollu terazi, kantar, vs bu iş içindir. Aslında, karşılaştırma bilinen ve bilinmeyen kütlelere etki eden ağırlık kuvvetleri arasında olduğu için ölçmeyi, ağırlığın teraziye çalıştıracak kadar büyük olduğu her yerde yapmak mümkün: Kutuplarda, Everest'te, çıkan veya inen asansörde. Fakat uyduda ağırlık olmayacağı, daha doğrusu yeterince büyük olmayacağı için başka yollara başvurmamız gerekir.



Mesela, bilmediğimiz kütleli bildiğimiz bir yaya bağlayıp titreştirerek ve periyodunu bilinen bir kütlenin vereceği periyotla karşılaştırarak.

Kütle ölçümünde kullandığımız kollu terazi, ağırlık ölçmede hiçbir işe yaramaz. Fakat, hilesiz olmak şartıyla, yaylı bir terazi güvenle kullanılabilir. Yayın elastik uzama özellikleri her yerde aynı olduğu için, 1 kg 'lık standart kütleyle teraziye asıp, ağırlığının Singapur'da 9,78 N, Ankara'da 9,80 N, Kuzey Kutbu'nda 9,83 N olduğunu, asansörde daha da ağır veya hafif olabileceğini, yörüngedeki bir uyduda ağırlığının kaybolacağını ölçebiliriz.

Geriyeye dönüp ağırlığı nasıl tanımladığımızı hatırlayalım. Aslında yaylı teraziyle tartma sırasında kütleyle, yerçekimi dışında, yayın uzamasıyla ilgili bir ek

kuvvet uyguluyoruz ve ağırlık olarak tanımladığımız bu kuvveti de yayın uzama miktarı ile eşleştirip terazi skalasından okuyoruz. Yani her şey tutarlı. (Belki terazinin tek kusuru Newton yerine kilo vermesi, ama bunu 9,81 N/kg ile çarparak Newton'a çevirmek kolay.)

Peki, yerçekimi kuvvetini nasıl ölçeceğiz? Klasik teraziden yine fayda yok. Yaylı teraziye ise, astığımız kütle ile birlikte, yerçekimini ölçeceğimiz noktada sabit tutmamız gerekir. Dünya'dan uzaklığı sabit dahi olsa, bir yörüngede dönüyor veya herhangi başka bir hareket yapıyor olmasına izin yok. Çünkü bu hareketlerin gerektirdiği kuvvetler yüzünden ölçülen yay kuvveti sadece yerçekimini veremez. Bir yerde gerçekten durarak ölçmek ise hemen hemen olanaksız. Bir istisna, belki kutupta (Güneş çevresinde hareketi dışında) Dünya'nın dönmesinden doğan bir hareket olmadığı için, ölçme yerçekimini verecektir. Halbuki ekvatorunda, Dünya ile birlikte dönen bir cisme, düz bir doğru boyunca gitmektenense, onu her an Dünya'ya doğru saptırarak üzerinde kalmasını sağlayan bir kuvvet etki etmek zorundadır. İşte bu kuvvet yerçekimi ile ağırlık arasındaki farktır. O halde yerçekimini, kolayca ölçebileceğimiz ağırlığa bu kuvveti ekleyerek bulabiliriz. Farkın küçük olması bir yandan onu ihmal edebilme kolaylığı sağlar. Diğer yandan, ağırlığı yerçekimi ile özdeşleştirme yanlışlığının yaygınlaşmasını destekler. Çok kişiden duymuşuzdur, uzay laboratuvarında yerçekiminden kurtulduğunu.

Halbuki, biliyoruz orada bile, Dünya bizi 650 N ile çekmekte olduğu halde, ağırlıksız bir "uzay yürüyüşü" gerçekleştirebilirdik.

Aslında yerçekiminden gerçekten hemen hemen kurtulabileceğimiz yerler de yok değil. Örneğin, Dünya'dan Ay'a, aradaki uzaklık 1/9 olacak kadar yaklaşsanız (Ay'dan 42 600 km), ikisinin çekim kuvvetleri eşit ve zıt yönde olduğu için birbirini yok eder ve sizi sadece Güneş ve öteki gök cisimlerinin çekim kuvveti etkiler. Bütün çekim kuvvetlerinin birbirini yoketmesi ise olanaksızdır.



Şekildeki Roma terazisi (sağda), diğer bütün eşit kollu teraziler gibi, yalnızca kütle ölçümü için kullanılabilir. Ağırlık ölçümü için bir yaylı teraziye (solda) gereksinim vardır; çünkü yayın elastik uzama özellikleri her yerde aynıdır.

Yerçekimi Olmadan Ağırılık Olur mu?

Her ne kadar ağırlıkla yerçekimi arasında bazı ilişkiler bulduksa da, ağırlık yerçekimi olmadan da yaratılabilecek bir algılama şekli. Dünya ile Ay arasındaki yukarıda sözü edilen ölü noktada ivmelenen bir yolculuk yapıyorsanız, yerçekimi olmadığı halde, ivme ve kütle ile orantılı bir ağırlık algıyorsunuz. Düşey eksen etrafında hızla dönen bir silindirin içinde duvara yapışıp düşmeden durabilirsiniz. Başka örnekleri de siz verin artık.

Yeri gelmişken, son olarak şu santrifüj kuvvete de biraz değinelim. Nedenise, "Etki=Tepki (veya Aksiyon=Reaksiyon) prensibi" diye bilinen Newton'un üçüncü kanununa çok tutkunuz. O kadar ki, bunu sosyal ve daha karmaşık alanlarda bile kullanmaktan çekinmeyiz. Aslında yukarıda ifade ettiğimiz temel ikinci kanunun özel bir uygulaması olmasına rağmen, bu kanun çok daha yaygın bir çevrede bilinir. Buna göre, eğer ben ağırlığıma eşit bir kuvvetle yerden yukarı itiliyorsam, ben de yeri aşağı doğru aynı büyüklükte bir kuvvetle itmekteyim. Bir taşı elimle iterek fırlatırsam taş da elimi aynı kuvvetle geri iter. Dünya beni 700 N kuvvetle aşağı çekiyorsa, ben de Dünya'ya 700 N kuvvetle yukarı çekeirim. Etme bulma dünyası. Bunlar pek önemli değil. Ama dönme başlayınca işler karışıyor. İnce bir ipin ucuna bağlı bir yüzük düşünün. İpin öteki ucu sabit; yüzük ipi iyice gererek yatay bir daire üzerinde hızla dolanıyor. Gelin işi kolaylaştırmak için Dünya'ya, yerçekimini, ağırlığı, havayı unutalım. Önceki örneklerde pek görünmeyen etki ve tepki kuvvetleri şimdi gerilmiş iple sanki kişilik kazanıyor. Bundan sonrasını bir diyaloga sürdürelim.

Meraklı (M)- İpi bir kuvvet geriyor olmalı! Çokbilmiş (Ç)- Hayır iki kuvvet.
M- İki mi? Nerede Bunlar?
Ç- İpin iki ucunda.
M- Haa, anladım. Kuvvetler eşit olmalı; onun için bir kuvvet demiştim zaten.
Ç- Evet, eşit. Çünkü biri ötekinden büyük olsaydı ip büyük kuvvet yönüne doğru hızla kaçacaktı, halbuki (dönmekle beraber) yerinde duruyor.
M- Ne güzel, galiba Etki=Tepki'yi yakaladık.
Ç-!

M- Peki kuvvetleri kim uyguluyor?
Ç- Sabit uçta güvenilir bir çivi.
M- Ya öbür uçta?
Ç- Tabii ki yüzük; ipi gerdığıne göre çividen (daire merkezinden) dışarı doğru, onun için de adı merkezkaç (santrifüj) kuvvet.
M- Peki yüzük? Ona kim, ne uyguluyor?
Ç- İp.. Prensibe göre, yüzüğün kendisine uyguladığı merkezkaç kuvvete eşit ve zıt, onun için de merkezçil (santriped) kuvvet.
M- Başka?
Ç- Ne başkası, başka yok.
M- Öyle şey olur mu? Nerede bizim prensip?
Ç- Ne çabuk unuttun; o prensibi ikinci kanunun özel hal uygulaması diye tanıtmıştık.
M- Neymiş o özel durum peki?
Ç- Kütlelin olmadığı durum: Etki ile tepkinin birbirine "dokunduğu" veya "karşılaştığı" yeri etraftaki bütün cisimlerden izole edersek "boş" yani sıfır kütleli bir şey kalır elimizde. Yani hiçbir şey, Sıfır kütlelin orada durup kalabilmesi için ona sıfır



kuvvet etki etmeli, yoksa sonsuz ivmeyle kaçıp gider başka yerlere. Sıfır kuvvet ise, ancak senin prensiple, yani Etki-Tepki=0 ile bağdaşır.
M- Peki ip için ne diyeceksin? Etki ve tepkinin buluşma yeri ip; ama ip "hiçbir şey" değil.
Ç- Aslında haklısın ama, ip çok ince yani kütleli hemen hemen sıfır. Sen hiç o ipi boşa iken sağa sola hareket ettirmek için bir kuvvet uyguladığını hissettin mi? Bir zorluk?
M- Hayır, hissettim denemez... Şimdi anlıyorum, niye çivi ve yüzük uçları arasında Etki=Tepki diyebildiğimizi. Aslında "hemen hemen" diye eklemek gerekiyormuş.
Ç- Demek ki genel halde bir cisme ille de eşit ve ters iki kuvvet veya böyle karşılıklı kuvvetler etki etmesi gerekmez. O zaman da cisim harekete geçer. Yüzüğe de tek kuvvet, ipin çivi yönünde çekme kuvveti etki ediyor sadece.
M- Ama o zaman yüzük ikinci kanuna göre gitgide hızlanacaktı. Halbuki sabit hızda

keyifle dönüyor.
Ç- Yanlış değil, ama bu sefer de ikinci kanunu eksik anlamışsın. Hızlanma ve ivmelenme demek ille de yürüdüğü yolda hızını artırıyor olmak değil. Unutma ki, kuvvet ne yönde etki ederse, yeni hızlar da o yönde kazanılır. Top düz yolda yuvarlanıp giderken yandan bir rüzgâr esse ne olur?
M- Tabii ki topun yoldaki ilerleme hızı değişmez, ama top yolun kenarına doğru yaklaşıyor.
Ç- Yani yana doğru hız kazanır. İşte yüzük te sabit hızda dönmeye devam ediyor, çünkü ip onu yana (içe) doğru çekiyor sadece..
M- Anladım, ama o zaman da topun yana gitmesi gibi yüzük de çiviye doğru gitmeliydi?
Ç- Gitmiyor mu sence?
M- Tabii ki gitmiyor; baksana ipe; hep gergin.
Ç- Hayır, gidiyor. Gitmeseydi, yani ip onu çekmiyor olsaydı, ne yapacaktı yüzük?
M- Bilemiyorum.
Ç- İpi kesmeyi denedin mi?
M- Sahi, şu yeni lazer çakmağım ile ipi yakayım, bakalım ne olacak. (Dener, ip kopar, ve yüzük her şeyi bırakıp düz bir doğru boyunca fırlar gider.)
Ç- Ne oldu?
M- Uzaklaşıyor çividen ve hepimizden. Keşke yakmasaydım ipi. Meğer gitmiyor gözükse de, her an sanki çiviye hatırlayıp ona doğru bükülüyormuş.
Ç- İşte, uydularda da öyle.. Dünya çivinin rolünü üstlenmiş, uyduları da yüzüğün. Arada senin yakabileceğin, koparabileceğin ip, halat, nesne de yok artık. Onlar olmayınca, onları geren merkezkaç kuvvete de ihtiyaç yok tabii. Fakat merkezçil kuvvet, yani yerçekimi her yerde.
M- Ama ben, şu merkezkaç kuvvete çok inanıyorum. Bir şey dönerse santrifüj kuvvet olması beni rahatlatıyor.
Ç- Anlıyorum, ancak bunu her zaman yapabilirsin. Önce hareket için gerekli gerçek kuvveti bul (yerçekimi gibi), sonra onu tersine çevir ve ne isim verersen ver. Dönüyorsa merkezkaç, değilse başka bir şey. Zaten bunu D'Alembert usta da yapmış. Herhalde O da Etki=Tepki meraklısı idi. Gerçek kuvvete "kuvvet" ona eşit olan kütle ile ivmenin çarpımını ters çevirip (yani işaretini veya yönünü değiştirip) ona da "atalet kuvveti" adını verince, hareket kanununu Kuvvet+Atalet Kuvveti=0 gibi yorumlamak mümkün. Sanki statik kuvvet dengesi şartı gibi.
M- Gerekli mi bu?
Ç- Hayır, bu bir zevk, alışkanlık, görüş açısı meselesi. Önemli olan doğru uygulamak, sınırlarını bilmek. Her şeyde olduğu gibi.
M- Teşekkürler.
Ç- Yine gel.

Suha Selamoğlu
ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü