

GALİLE DEĞİŞMEZLİĞİ

Gülşen ÖNENGÜT*

Daha önceki yazılarımızda Newton'un birinci ve ikinci yasalarının geçerli olduğu gözlem çerçevelerine eylemsiz gözlem çerçeveleri adı verildiğinden bahsetmiştik. Bu çerçeveler birbirlerine göre sabit hızlarla hareket ederler. Bir cismin konumu ve hızı, seçilen eylemsiz gözlem çerçevesine bağlıdır. Bir cismin, iki farklı eylemsiz gözlem çerçevesindeki konum ve hızlarını birbirine bağlayan dönüşümlere Galile dönüşümleri, denir. S ve S' iki farklı eylemsiz gözlem çerçevesi, v de S' çerçevesinin S çerçevesine göre bağlı hızı olsun. Her iki gözlem çerçevesinde, x eksenleri v bağlı hızına paralel olan dik koordinat sistemleri seçelim (Şekil 1). Bu iki sistemin orijinleri, O ve O'nun t = 0 da çakıştığını kabul edelim. Hareketli bir cisim, t saniye sonra P noktasında olsun. Bu anda S'nün O'rijini, S'nin x eksenini boyunca vt kadar ilerlemiştir. P noktasının iki sistemdeki koordinatları arasındaki ilişkiler aşağıdaki eşitliklerle verilir:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= t\end{aligned}$$

Bu eşitliklerin sonucusu iki gözlem çerçevesindeki zamanların aynı andan başlayarak ölçüldüğünü ve iki çerçevedeki saatlerin hep birbiri ile uyduğunu söylemektedir. Newton mekaniğinde tüm gözlemciler için aynı olan bu evrensel, mutlak zaman kavramı daha sonra Einstein'ın Özel Rölativite Teorisi ile değişmektedir.

Şimdi de iki ayrı çerçevede ölçülen hız bileşenleri arasındaki ilişkiyi bulalım. Cismin hızının x bileşenleri S ve S' çerçevelerinde şöyle tanımlanır:

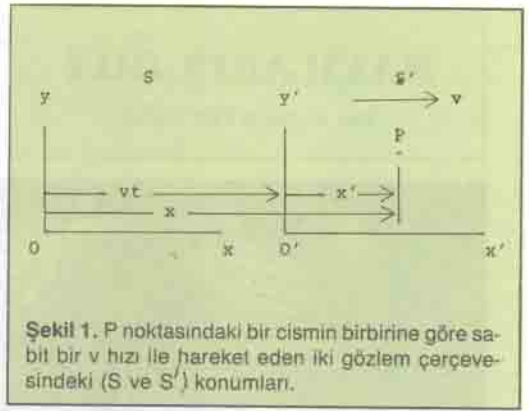
$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} \quad u_x = \frac{dx}{dt}$$

$x' = x - vt$, ve $dt' = dt$ bağıntılarını kullanarak bu eşitliklerden

$$u'_x = \frac{d}{dt} (x - vt) = u_x - v$$

bulunur. Hızın tüm bileşenlerinin dönüşümlerini şöyle yazabiliriz.

$$\begin{aligned}u'_x &= u_x - v \\u'_y &= u_y \\u'_z &= u_z\end{aligned}$$



Şekil 1. P noktasındaki bir cismin birbirine göre sabit bir v hızı ile hareket eden iki gözlem çerçevesindeki (S ve S') konumları.

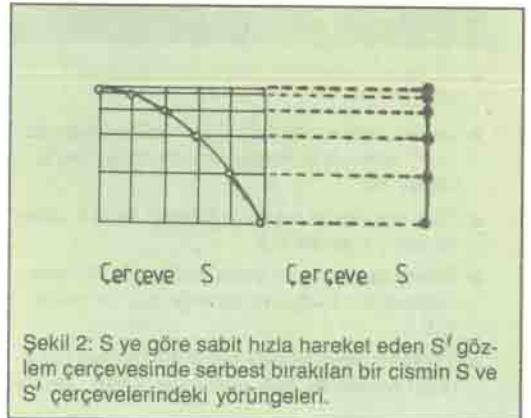
Birbirine göre sabit bir hızla hareket eden iki gözlem çerçevesi arasındaki hız dönüşümlerini veren bu eşitlikler, çocukluktan beri deneyimlerimizle oluşturduğumuz uzay ve zaman kavramlarımızla tutarlı ve günlük yaşamdaki gözlemlerimizi açıklamak için yeterlidir. Fakat bunlar elektromanyetik dalgalara veya ışık hızına yakın hızlarla hareket eden cisimlere uygulandığında doğru sonuçlar vermez. Bu durumlarda geçerli teori artık Newton Mekaniği değil, Einstein'ın özel Rölativite Teorisidir. Bu teoride bir cismin, birbirine göre sabit hızla hareket eden iki gözlem çerçevesindeki konum ve hızları arasındaki bağıntılar Galile dönüşümleri ile değil Lorentz dönüşümleri ile verilir. Bu dönüşümler daha sonraki sayılarda verilecektir. Galile dönüşümleri, Lorentz dönüşümlerinin düşük hızlardaki limitidir. Bir başka deyişle Einstein'ın özel Rölativite Teorisi düşük hızlarda Newton Rölativitesine indirgenir.

Galile hız dönüşümlerinde hız bileşenlerinin zamana göre türevlerini alarak (v = sabit) ivme bileşenleri arasındaki ilişkileri buluruz:

$$\frac{du'_x}{dt'} = \frac{du_x}{dt} \quad \frac{du'_y}{dt'} = \frac{du_y}{dt} \quad \frac{du'_z}{dt'} = \frac{du_z}{dt}$$

Yani cismin ivmesi her iki gözlem çerçevesinde de aynıdır:

$$a' = a$$



Şekil 2: S ye göre sabit hızla hareket eden S' gözlem çerçevesinde serbest bırakılan bir cismin S ve S' çerçevelerindeki yörüngeleri.

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

Bu özdeşlik herhangi iki eylemsiz gözlem çerçevesi için geçerli olduğundan, ivme klasik mekanikte gözlem çerçevesine bağlı olmayan, değişmez (envariyan) bir büyüklüktür. Bu, Newton Rölativitesinin temel sonucudur.

Bu kavramları daha iyi anlayabilmek için, yerçekiminin etkisi ile serbest düşme yapan bir cisim düşünelim. S ve S' çerçevelerinin orijinlerinin çakıştığı $t = 0$ anında S' çerçevesindeki bir gözlemci duran bir cisim serbest bıraksın. Bu cismin S ve S' çerçevelerindeki yörüngeleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Her iki çerçevede de cisim, düşey doğrultudaki bir g ivmesi altında hareket eden bir cismin beklenen yörüngelerini izlemektedir. S çerçevesinde cismin başlangıçta bir yatay hızı vardır. Dolayısı ile parabolik bir yörünge izler. S' çerçevesinde ise ilk hız sıfır olduğundan düşey doğrultuda bir doğru çizgi boyunca düşer. Bu iki farklı çerçevedeki gözlemciler gözledikleri yörüngelerin $F = ma$ eşitliğinin bir sonucu olduğunu düşüneceklerdir. Her ikisi de aynı kuvveti, yani yerçekimini hareketin nedeni olarak düşünecek ve aynı ivmeyi ölçeceklerdir. Gözlenen farklı yörüngelerin nedeni sadece farklı ilk hızlardır. Diğer bir deyişle bu iki gözlem çerçevesi, dinamik deneyleri açısından eşdeğerdir. Duran bir laboratuvar da yapılan bir deneyin sonuçları, sabit hızla hareket eden bir araçta yapılan deneyinkilerle uyudur. Mekanik yasaları bütün eylemsiz gözlem çerçevelerinde aynıdır. Örneğin, bir kıyıdan sabit hızla uzaklaşan bir gemiyi düşünelim. Bu gemideki bir bilardo masasındaki topların hareketlerini belirleyen yasalar, kıyıdaki bir bilardo masasındaki topların uyduğu yasalarla aynıdır. Gemide bu toplarla yapılacak hiçbir deney, geminin kıyıya göre hareket edip etmediğini veya hangi hızla hareket ettiğini bize söyleyemez. Geminin düzgün, doğrusal hareketindeki değişiklikler ise ayırt edilebilir. Gemi dalgalar nedeni ile sallanmaya başlar veya bir aysberge çarpıp yavaşlarsa, bilardo toplarının davranışındaki değişikliklerden geminin ivmelendiği belli olur. Diğer bir deyişle düzgün doğrusal hareket rölatiftir, yani bir gözlem çerçevesinin düzgün hareketi ancak başka bir gözlem çerçevesine göre ölçülebilir. İvmeli hareket ise mutlak, yani bir gözlem çerçevesinin ivmesi o gözlem çerçevesi içinde yapılacak deneylerle saptanabilir.

Aşağıdaki problemlerde Newton Rölativite ilkesinin bir sonucu olarak momentum korunumunun birbirine göre sabit bir hızla hareket eden iki gözlem çerçevesinde de geçerli olduğu görülecektir.

PROBLEM 1: 35 m/s lik bir hızla hareket eden

2000 kg lik bir otomobil durmakta olan 1500 kg lik bir araba ile çarpışır ve iki araba hareketlerine birlikte devam ederler. Ortak hızlarını yola göre sabit bir gözlem çerçevesinde bulduktan sonra hareketli otomobil ile aynı yönde 10 m/s lik bir hızla hareket eden bir gözlem çerçevesinde de momentumun korunduğunu gösteriniz (Şekil 3).

ÇÖZÜM: Yola göre hareketsiz bir gözlem çerçevesinde (S) momentumun korunumu ilkesini bu çarpışmaya uygulayalım:

$$2000 \times 35 = (2000 + 1500) u_{son}$$

Buradan çarpışmadan sonraki ortak hız

$$u_{son} = \frac{2000 \times 35}{3500} = 20 \text{ m/s}$$

olarak bulunur. Şimdi de bu çarpışmaya araba ile aynı yönde 10 m/s lik bir hızla hareket eden gözlem çerçevesinden (S') bakalım. Bu çerçevede ilk arabanın hızı Galile hız dönüşümleri kullanılarak bulunabilir:

$$u'^1_{ilk} = u_{1ilk} - v = 35 - 10 = 25 \text{ m/s}$$

İkinci arabanın S' çerçevesindeki hızı ise şöyledir:

$$u'^2_{ilk} = u_{2ilk} - v = 0 - 10 = -10 \text{ m/s}$$

Çarpışmadan sonraki ortak hız da aynı şekilde hesaplanır:

$$u'^{son} = u_{son} - v = 20 - 10 = 10 \text{ m/s}$$

Şimdi de çarpışmadan önceki ve sonraki momentumları hesaplayalım:

$$p_{ilk} = 2000 \times 25 + 1500 \times (-10) = 50\,000 - 15\,000 = 35\,000 \text{ kg m/s}$$

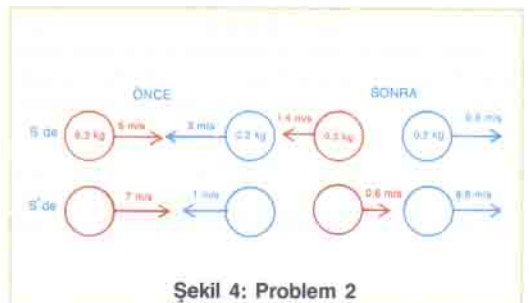
$$p_{son} = (2000 + 1500) \times u'^{son} = 3500 \times 10 = 35\,000 \text{ kg m/s}$$

Görülüyor ki, S ve S' gözlem çerçevelerinde ölçülen hızlar farklı olmakla beraber momentumun korunumu ilkesi her iki gözlem çerçevesinde de geçerlidir.

PROBLEM 2: 5 m/s lik bir hızla hareket eden 0,3 kg lik bir bilardo topu, ters yönde 3 m/s lik bir hızla hareket eden 0,2 kg lik bir diğer topa esnek olarak çarpışıyor. Çarpışmadan sonraki hızları hesaplay-



Şekil 3: Problem 1



Şekil 4: Problem 2

UÇAKLARA BOMBA KOYANLARIN İŞİ ZORLAŞIYOR

ABD'de patlayıcı uzmanları, uçakların bagajına konulan bombaları, parçalarının hızını yavaşlatarak, etkisiz duruma getiren ve bagajda tesis edilen takviyeli bir aygıt üzerinde çalışıyorlar. Bu gelişme, ABD yönetiminin iki Libyalı bir Pan-Am 103 yolcu uçağına bomba koymakla suçlamasına denk geliyor. 1988'de İsveç'in Lockerbie kasabasına düşen uçaktaki 259 ve yerdeki 11 kişinin ölümüne yol açan patlamaya uçağın bagajına konulan bomba neden olmuştu.

Olayı inceleyen uzmanlara göre, Pan-Am 103 uçağının havada parçalanmasına yarım kg dan daha az bir plastik patlayıcı neden olmuştu. Fakat Kaliforniya'daki Bilimsel Araştırmalar Merkezi'nde (SRI) çalışan uzmanlar yeni teknikle bu olayda meydana gelen patlamanın üç katı şiddette bir patlamanın bile önenebileceğine inanıyorlar.

Eğer bu battaniyeler yaygın bir kullanım alanı bulabilirse, uluslararası hava limanlarında patlayıcı kontrol operatörlerinin ağırlığı 1,5 kg dan az olan bombaları aramalarına gerek kalmayacaktır. SRI'dan Len Fillpu, "Doğal olarak bomba 1,5 kg dan daha hafif ise kontrolü % 100 güvenli olacağından çok daha rahat bir uçuş sağlanacaktır." demektedir.

Yine Fillpu "Patlamayla dağılan bomba parçaları, battaniye içinde tutulmaktadır. Bomba, sertleştirilmiş kutu battaniye içinde patlayınca,

battaniye biri balon gibi genişleyerek patlamayı etkisiz duruma getirir. Battaniyenin, herhangi bir dikliği olmadığı için çok güçlü bir engelleme mekanizması vardır. Sistem, patlayıcı parçaları tutmasının yanı sıra şok dalgalarını da yavaşlatmaktadır. Zaten patlayıcı özellik taşıyan da kargo duvarına çarpan bu şok dalgalarıdır. Battaniye şok dalgalarını aldıktan sonra dışarı yayar. Kontrollü olan bu sızdırma aynı zamanda sertleştirilmiş bagaj kutusunun dışındaki basıncı da azaltır."

SRI Poulter Laboratuvarlarında sistemin tasarımını yapan Mohsen Sanayi ve Gary Greenfield, bu battaniyeyi kevlar yünü gibi düşük yoğunlukta güçlü bir maddeden üretmişlerdir. Fillpu, "Biz şu anda sistemi geliştirme aşamasındayız, sistemin olumlu sonucunu elde ettik; ancak kesin sonuç için çalışmalarımızı sürdürüceğiz." demektedir.

SRI, başta Federal Havacılık Dairesi olmak üzere birtakım kurum ile sisteme gerekli maddi destek sağlamak için görüşmelerde bulunmaktadır. Fillpu şöyle diyor: "SRI, şimdiye kadar söz konusu battaniyeyi 150 gr ağırlığındaki bombalar üzerinde başarıyla denemiştir."

New Scientist 30 Kasım 1991'den çev.:
Mehmet GENÇ

niz ve ikinci topla aynı yönde 2 m/s lik bir hızla hareket eden bir gözlem çerçevesinde de momentum korunduğunu gösteriniz (Şekil 4).

ÇÖZÜM: Bilorda masasının gözlem çerçevesinde momentumun korunumunu uygulayalım:

$$5 \times 0,3 - 3 \times 0,2 = 0,3 u_1 + 0,2 u_2$$

Çarpışma esnek olduğundan kinetik enerji de korunacaktır:

$$\frac{1}{2} 0,3 \times 5^2 + \frac{1}{2} 0,2 \times 3^2 = \frac{1}{2} 0,3 u_1^2 + \frac{1}{2} 0,2 u_2^2$$

Bu iki denklemi u_1 ve u_2 için çözersek çarpışmadan sonraki hızları buluruz:

$$u_1 = -1,4 \text{ m/s}$$
$$u_2 = 6,6 \text{ m/s}$$

Şimdi de ikinci topla aynı yönde 2 m/s lik bir hızla hareket eden bir gözlem çerçevesinde (S') çarpışmadan önceki ve sonraki hızları ve momentumları bulalım:

$$u'_1 \text{ ilk} = u_1 \text{ ilk} - v = 5 - (-2) = 7 \text{ m/s}$$

$$u'_2 \text{ ilk} = u_2 \text{ ilk} - v = -3 - (-2) = -1 \text{ m/s}$$

$$u'_1 \text{ son} = u_1 \text{ son} - v = -1,4 - (-2) = 0,6 \text{ m/s}$$

$$u'_2 \text{ son} = u_2 \text{ son} - v = 6,6 - (-2) = 8,6 \text{ m/s}$$

$$p_{\text{ilk}} = 0,3 \times 7 + 0,2 \times (-1) = 2,1 - 0,2 = 1,9 \text{ kg m/s}$$

$$p_{\text{son}} = 0,3 \times 0,6 + 0,2 \times (8,6) = 0,18 + 1,72 = 1,9 \text{ kg m/s}$$

DİPNOT: Bu köşedeki yazılarla ilgili çok sayıda okuyucu mektubu gelmektedir. Bu mektuplarda sorular sınıflandırılarak ileriki yazılarda yanıtlanacaktır.

(Devam edecek.)

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

Hiçbir zaman çıktığın kapıyı hızla çarpma; geri dönmek isteyebilirsin.

Don Herold